

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

REDISEÑO DEL ÓVALO DE NARANJAL

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el Bachiller:

Jesús Arturo Guzmán Balcazar

ASESOR: **Juan Carlos Dextre Quijandría**

Lima, Abril de 2015

RESUMEN

El gran incremento de la flota vehicular hace que el tránsito en Lima cada vez sea más caótico, sobre todo en los Conos que es donde habita la mayor población. Un ejemplo claro es lo que ocurre en el óvalo Naranjal, donde las inmensas colas son pan de cada día. Por ello, este proyecto de tesis trata de buscar la solución más simple y económica para esta intersección en especial.

El primer objetivo es la de rediseñar geométricamente el óvalo, por ello se tuvo que buscar la información teórica necesaria para poder cumplir con ello. Sin embargo, debido a que en el Perú los conocimientos de óvalos son pobres, se tuvo que buscar información en distintas fuentes extranjeras, sobre todo en norteamericanas e inglesas.

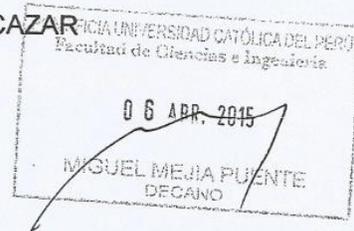
El presente estudio hizo un análisis de campo en el cual se pudo obtener los flujos vehiculares y peatonales, las colas y el tiempo aproximado para cruzar la intersección. Además, se pudo analizar las posibles causas del congestionamiento en el óvalo y con ello sus posibles soluciones. Una vez obtenido todos los datos necesarios en campo, se analizaron distintas opciones de solución, ya sean con softwares determinísticos o a través de micro-simulación. En los primeros se comparaba el funcionamiento a través de los niveles de servicio que daban como resultado cada aproximación y la intersección después de ejecutar los posibles cambios de mejora. Para el segundo se utilizaron los parámetros mencionados, colas y demoras, con los cuales se pudo ir regulando y obtener el ciclo óptimo para un correcto funcionamiento después de varias corridas del programa.

Por último, se opta por la solución más viable y que de resultados con mejoras en el funcionamiento de la intersección.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Rediseño del óvalo de Naranjal"
 Área : Movilidad y Transporte – Investigación
 Asesor : Juan Carlos Dextre Quijandría
 Alumno : JESÚS ARTURO GUZMÁN BALCAZAR
 Código : 20082297
 Tema N° : 43
 Fecha : 01 de abril del 2015



ANTECEDENTES

Países europeos vienen desarrollando con éxito distintos tipos de rotondas para aliviar el tráfico en zonas urbanas, las cuales son muy útiles en casos de tener muchos giros a la izquierda. Por ello, se busca aplicar estos conocimientos en el óvalo Naranjal, que desde hace algunos años vienen presentando problemas de congestión vehicular.

Si el porcentaje de giros a la izquierda es bajo el uso de un óvalo deja de ser atractivo y el uso de semáforos puede tener un comportamiento más eficaz.

Para el caso en estudio se analizarán las dos alternativas, la ventaja de uno sobre el otro estará dado por los flujos de tráfico que se recolectarán directamente del campo.

OBJETIVOS:

Objetivo general

Dar la mejor solución para el funcionamiento del óvalo de Naranjal, ya sea mediante un rediseño geométrico del actual óvalo o cambiando el tipo de intersección si es que fuese necesario

Objetivos específicos

- Contribuir con el conocimiento de diseños de óvalos en el Perú.
- Aprender a utilizar los softwares de diseño Sidra, Synchro y Vissim
- Reducir el tiempo de espera o demora actual para cruzar el óvalo.
- Reducir las colas generadas al llegar a la intersección.

PLAN DE TRABAJO

La presente tesis abordará los siguientes temas:

- Hipótesis de la investigación
- Tipos de óvalos y consideraciones de diseño
- Aplicación de los programas probabilísticos Sidra Intersection 5.1 y Synchro 8.0.
- Aplicación del programa de micro-simulación PTV Vissim 6.0
- Comparación entre la situación actual y los resultados de la aplicación de los programas.
- Conclusiones y recomendaciones.

REVISIONES

Primera revisión

- Objetivo general y específicos.
- Marco teórico (tipos de óvalos y consideraciones para su diseño).
- Hipótesis de la investigación

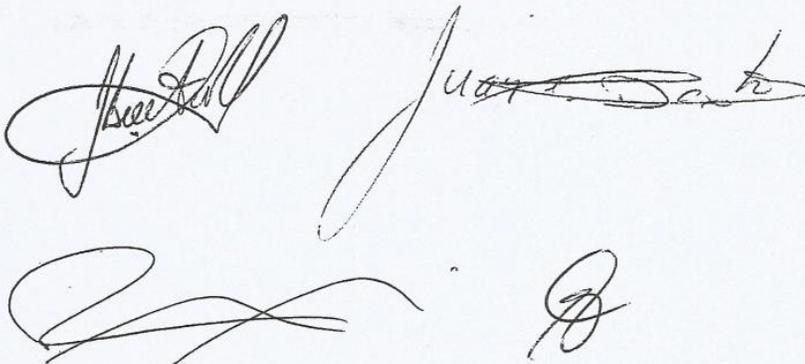
Segunda revisión

- Toma de datos en campo.
- Problemática actual.

Tercera revisión

- Aplicación de Sidra Intersection 5.1 y Synchro 8.0.
- Aplicación de PTV Vissim 6.0.
- Conclusiones y recomendaciones

NOTA: Extensión máxima: 100 páginas



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	III
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	VI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS.....	3
a. Objetivo general.....	3
b. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS.....	8
CAPÍTULO 4: MARCO TEÓRICO DE ÓVALOS (ROTONDAS).....	9
a. Disposiciones generales.....	9
Tamaño, posición y alineación de aproximación.....	9
b. Rotondas de un solo carril.....	11
Ancho de entrada.....	12
Ancho de calzada circulatoria.....	12
Isla central.....	12
Diseño de entrada.....	13
Diseño de salida.....	14
Consideraciones para el vehículo de diseño.....	14
Bordillos transitables para vehículos pesados.....	15
c. Mini-óvalos.....	16
Criterio de diseño.....	16
Islas separadoras.....	18
Consideraciones para peatones.....	18
Consideraciones para ciclistas.....	18
Consideraciones para mini-rotondas con 3 brazos.....	19
d. Óvalos de varios carriles.....	20
Disposición y número de carriles.....	20
Ancho de entrada.....	20
Ancho de calzada circulatorial.....	22
Geometría de entrada y alineación de aproximaciones.....	23
Islas divisorias.....	25
Curvas de salida.....	26
Consideraciones para el vehículo de diseño.....	27
Otro diseño práctico.....	29
e. Pruebas de rendimiento.....	29
Camino más rápido.....	29
Visibilidad.....	31
f. Detalles de diseño.....	35
Consideraciones de diseño para los peatones.....	35
Consideraciones a tener en cuenta para la ubicación de los paraderos..	37
Consideraciones para entradas con altas velocidades.....	37
Giros libres a la derecha.....	38
Consideraciones verticales.....	40

CAPÍTULO 5: PROBLEMÁTICA.....	41
a. Situación actual del óvalo.....	41
Calzada mal señalizada.....	41
Tramos de calzada circulatoria casi rectos	43
Paraderos mal ubicados	45
Pistas en mal estado	46
b. Recopilación de información	50
CAPÍTULO 6: APLICACIÓN	55
a. Adaptación de nuevo diseño geométrico.....	56
b. Cambio de tipo de intersección	61
Intersección simple	62
Intersección con 3 ciclos de semáforo	64
Intersección con 3 ciclos de semáforo y giro libre a la derecha.....	65
Intersección con 2 ciclos de semáforo y restricción de giros a la izquierda	66
c. Micro-simulación	68
Prueba 1	72
Prueba 2.....	75
Prueba 3.....	78
Primer artificio - Reducción de velocidad	78
Segundo artificio - Cruce peatonal.....	80
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
a. Conclusiones	84
b. Recomendaciones	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Diámetros de circunferencia inscrita según tipo de rotonda y vehículo de diseño.....	9
Tabla N° 2 Ubicación de aproximaciones respecto al centro del óvalo	10
Tabla N° 3 Ángulos entre aproximaciones al óvalo	11
Tabla N° 4 Tipos de giro a la izquierda	17
Tabla N° 5 Problemas y posibles soluciones en óvalos con 3 ramales	19
Tabla N° 6 Velocidades máximas de entrada recomendadas según tipo de óvalo	29
Tabla N° 7 Distancias visuales de parada.....	32
Tabla N° 8 Otros tipos de distancias visuales	32
Tabla N° 9 Tipos de giros libres a la derecha	39
Tabla N° 10 Flujos vehiculares en 15 minutos	51
Tabla N° 11 Flujos vehiculares en 15 minutos en av. Panamericana Norte de día y de noche.....	52
Tabla N° 12 Flujo vehicular de Metro con el factor “f”	53
Tabla N° 13 Flujos vehiculares finales en una hora	54
Tabla N° 14 Utilización de programas.....	55
Tabla N° 15 Resumen de valores teóricos para un óvalo de varios carriles.....	56
Tabla N° 16 Longitud promedio de vehículos pesados	56
Tabla N° 17 Valores a utilizar en Sidra Intersection	61
Tabla N° 18 Flujos vehiculares sin giros a la izquierda	67
Tabla N° 19 Giros a la derecha en porcentajes.....	69
Tabla N° 20 Reducción de velocidad en los dos primeros carriles	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Partes de un óvalo	4
Gráfico N° 2 Superposición en trayectoria de vehículos	6
Gráfico N° 3 Diseño de entrada	13
Gráfico N° 4 Diseño de salida	14
Gráfico N° 5 Bordillos transitables	16
Gráfico N° 6 Adición de un carril al ingreso del óvalo.....	21
Gráfico N° 7 Incremento gradual del ancho de entrada al óvalo	21
Gráfico N° 8 Adición de un carril en la calzada circulatoria	22
Gráfico N° 9 Superposición de vehículos al ingreso al óvalo	23
Gráfico N° 10 Alineación de trayectoria	24
Gráfico N° 11 Combinación de radios en aproximaciones	24
Gráfico N° 12 Aproximación ubicada a la izquierda del centro de la isla central	25
Gráfico N° 13 Conflicto entre grandes separaciones de ramales	26
Gráfico N° 14 Alineamiento entre ramales	27
Gráfico N° 15 Espacios libres para vehículos largos.....	28
Gráfico N° 16 Distancias de la trayectoria de los vehículos	30
Gráfico N° 17 Triángulo de visibilidad	34
Gráfico N° 18 Diseño 1 de veredas alrededor del óvalo.....	35
Gráfico N° 19 Diseño 2 de veredas alrededor del óvalo.....	36
Gráfico N° 20 Curvas en aproximaciones	38
Gráfico N° 21 Mala señalización de calzada en avenida Naranjal.....	42
Gráfico N° 22 Letreros de señalización en mal estado.....	43
Gráfico N° 23 Tramos rectos en el óvalo	44
Gráfico N° 24 Vista aérea del óvalo y sus tramos casi rectos	44
Gráfico N° 25 Paradero Caseta en dirección hacia el centro	45
Gráfico N° 26 Pistas en mal estado	46
Gráfico N° 27 Calzada circulatoria en mal estado.....	47
Gráfico N° 28 Vehículos invadiendo bermas.....	48
Gráfico N° 29 Vista aérea de las colas de la avenida Panamericana Norte	49
Gráfico N° 30 Ubicación 1 de filmación.....	50
Gráfico N° 31 Ubicación 2 de filmación.....	51
Gráfico N° 32 Flujos vehiculares finales.....	53
Gráfico N° 33 Periodo de flujos vehiculares	57
Gráfico N° 34 Diseño y datos de carriles	58
Gráfico N° 35 Ingreso de flujos vehiculares	59
Gráfico N° 36 Longitudes de tipos de vehículos.....	59
Gráfico N° 37 Niveles de servicio de los ramales.....	60
Gráfico N° 38 Ingreso de flujos vehiculares	62
Gráfico N° 39 Tiempo de verde para la avenida Naranjal	63
Gráfico N° 40 Tiempo de verde para la avenida Panamericana Norte	63
Gráfico N° 41 Niveles de servicio de los ramales.....	63
Gráfico N° 42 Flujos vehiculares con carril extra para giros a la izquierda	64
Gráfico N° 43 Tiempos de verde para avenida Naranjal y para giro libre a la izquierda	64
Gráfico N° 44 Tiempo de verde de la avenida Panamericana Norte	64
Gráfico N° 45 Niveles de servicio de los ramales con giro a la izquierda	65
Gráfico N° 46 Niveles de servicio de los ramales con giro libre a la derecha	65
Gráfico N° 47 Tiempos de verde para avenida Naranjal y giro libre a la izquierda ..	66
Gráfico N° 48 Tiempo de verde para avenida Panamericana Norte.....	66

Gráfico N° 49 Tiempo de verde para avenida Naranjal	67
Gráfico N° 50 Tiempo de verde para avenida Panamericana Norte	67
Gráfico N° 51 Niveles de servicio de los ramales con restricción de giro a la izquierda	68
Gráfico N° 52 Flujo vehicular en Vissim 6	69
Gráfico N° 53 Porcentaje de vehículos que giran a la derecha – Pro	70
Gráfico N° 54 Porcentaje de vehículos que giran a la derecha – Metro	70
Gráfico N° 55 Porcentaje de vehículos que giran a la derecha – Túpac	70
Gráfico N° 56 Porcentaje de vehículos que giran a la derecha – Universitaria	70
Gráfico N° 57 Ciclo del semáforo	70
Gráfico N° 58 Cola generada por semáforo – prueba 1	73
Gráfico N° 59 Último vehículo de la cola en el último segundo de rojo	74
Gráfico N° 60 Último vehículo de la cola en último segundo de verde	74
Gráfico N° 61 Cola generada por semáforo – prueba 2	76
Gráfico N° 62 Flujo peatonal	80
Gráfico N° 63 Funcionamiento de la intersección con peatones	81



1. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país pobre en conocimientos de transporte, aquí se piensa que mientras se construya más infraestructura, el transporte urbano mejorará. Sin embargo, esta idea no es necesariamente cierta, ayuda en ciertos aspectos pero no es la solución a los problemas que aflige la ciudad; en ciertos casos, la propia gente se contradice al quejarse a diario del tráfico infernal que se vive en las avenidas principales de Lima debido a las obras hechas supuestamente para aliviarlo.

Debido a la compra indiscriminada de vehículos particulares, la aprobación de importación y futura superpoblación de camionetas rurales (combis) en el Gobierno de Alberto Fujimori, la gran cantidad de transporte público informal y a la mala información de los ciudadanos resulta muy difícil disminuir el tráfico en Lima, pero no imposible.

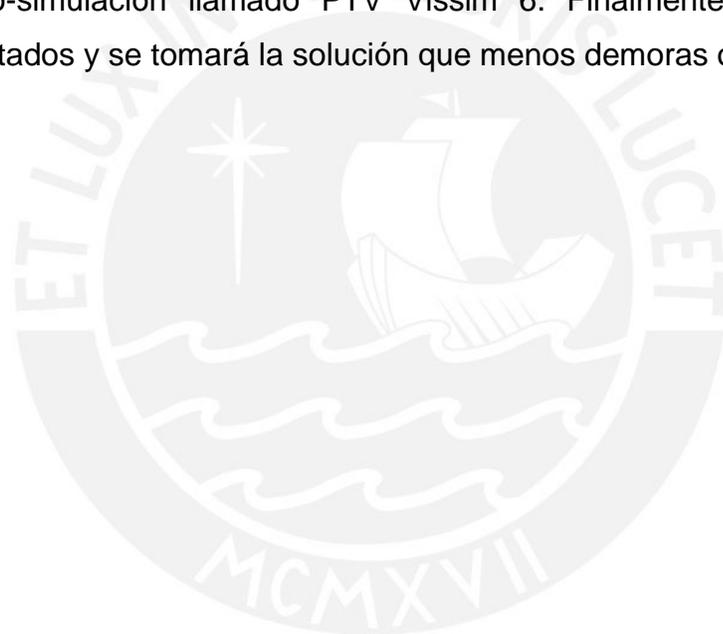
Para poder contribuir en la disminución del tráfico limeño, se debe trabajar en varios aspectos; por ejemplo, las obras de infraestructura deberían ser enfocadas al transporte público y no al privado. Otro aspecto es que se debe mejorar o corregir las obras que en vez de hacer un tránsito fluido, generan caos y lo empeora.

En Lima, existen varias intersecciones que están mal diseñadas a pesar de su reciente restructuración, tales son los casos de los intercambios viales de Tomas Valle y Eduardo de Habich, los cuales colapsan en hora punta. De esta manera se demuestra que construir infraestructura de gran envergadura no mejora la fluidez de los vehículos.

Ciertas intersecciones pueden corregirse, tal es el caso del óvalo de Naranjal, en el que se dispone de un gran espacio que puede ser utilizado para rediseñar su geometría o proponer otro tipo de intersección para un mejor funcionamiento.

El Perú tiene conocimientos casi nulos de óvalos o rotondas, prueba de esto es que en la página web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se puede ver la poca información que se dispone para este tipo de intersecciones.

En las siguientes páginas se mostrará suficiente información de “óvalos”, los parámetros a usar para un diseño óptimo y la aplicación de estos en la intersección señalada. Esto se verificará mediante programas determinísticos, como el Synchro 8 y Sidra Intersection; luego, de acuerdo a los resultados, se probará un cambio de intersección con el programa de micro-simulación llamado PTV Vissim 6. Finalmente, se analizarán los resultados y se tomará la solución que menos demoras obtenga.



2. OBJETIVOS

a) Objetivo general

La presente tesis tiene por objetivo principal dar la mejor solución para el funcionamiento del óvalo de Naranjal, ya sea mediante un rediseño geométrico o cambiando el tipo de intersección si es que fuese necesario. Para ello, se hará un estudio de la situación actual del óvalo; luego, se utilizarán algunos programas para buscar soluciones, y, por último, se elegirá a la que permita que la intersección trabaje de la mejor manera.

Para empezar, se tratará de aplicar la primera opción que es la de rediseñar el óvalo, para ello se tiene que estudiar extensivamente los parámetros necesarios para un correcto funcionamiento del tipo de intersección.

b) Objetivos específicos

Existen algunos objetivos específicos que son aplicables para el diseño de todo tipo de rotonda¹ que son los siguientes:

- Baja velocidad de entrada y velocidad constante durante el transcurso en la rotonda.
- Analizar qué cantidad de carriles es la adecuada para el volumen y balance en cada uno de estos.
- Generar una canalización que pueda ser intuitiva para los conductores.
- Generar comodidad para los vehículos de diseño.
- Diseñar para satisfacer las comodidades de los peatones².
- Proporcionar la distancia visual para que el conductor reconozca la intersección (rotonda). (NCHRP 672,2010, p. 6-8)³

¹ Rotonda es el término usado en otros países para referirse al óvalo (Perú).

² Los peatones actualmente hacen uso de los puentes para cruzar.

³ Objetivos tomados del reporte 672 del NCHRP 2010 y que aplican para todo tipo de óvalo.

Muchas veces, al favorecer un aspecto del diseño hace que otro se vea afectado negativamente en su funcionamiento, por ello se debe considerar los aspectos de manera conjunta.

Todos los principios mencionados tienen como objetivo principal la seguridad y tránsito fluido de los vehículos que atraviesan el óvalo.

Los objetivos mencionados se irán describiendo en las siguientes líneas, pero para ello se debe conocer los nombres de las partes que conforman una rotonda u óvalo. A continuación se muestra una imagen con todas aquellas que se necesitan saber:

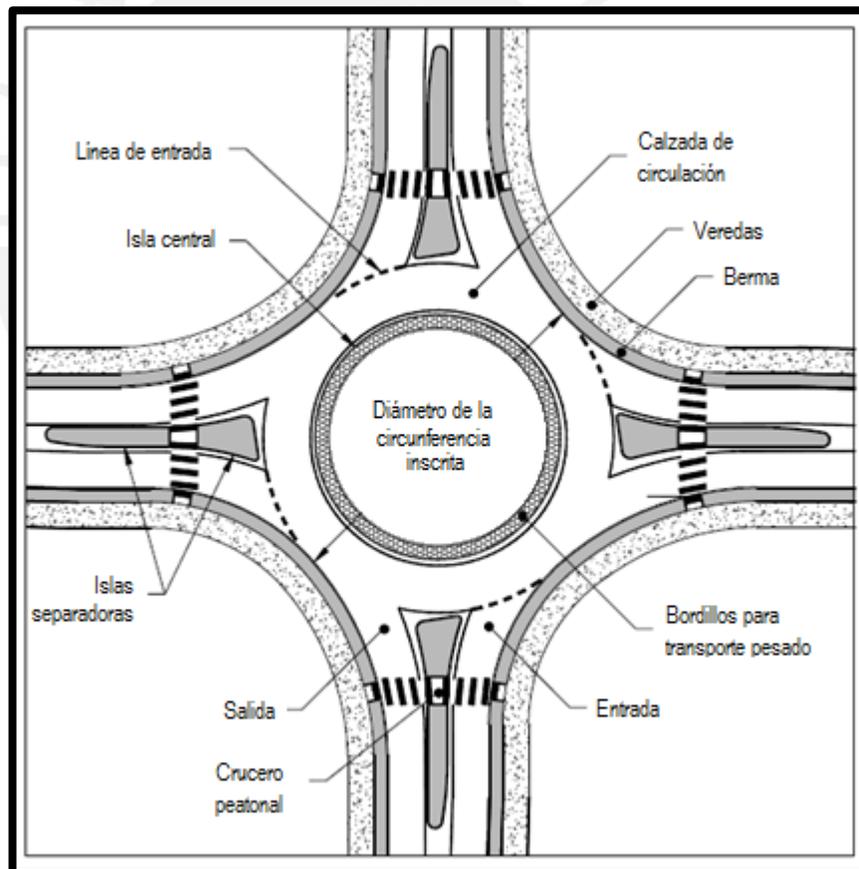


Gráfico N° 1

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

A partir de los objetivos mencionados para un correcto diseño, se requiere tener en cuenta ciertas consideraciones que se mencionarán a continuación:

- **Manejo de velocidad:** Obtener la velocidad adecuada es uno de los aspectos más importantes para la seguridad y correcto funcionamiento de la rotonda. La cantidad de choques está relacionada con el volumen, pero la gravedad de los choques se relaciona con la velocidad con la que los vehículos circulan (NCHRP 672,2010, p. 6-9). Se recomienda una velocidad de 32 a 40 km/h en rotondas de un solo carril, en aquellas de dos se recomienda de 40 a 48 km/h asumiendo que no se respeten las líneas de separación de los carriles. La velocidad de diseño es la combinación del manejo de velocidades en la rotonda y el manejo de velocidades en las vías que se aproximan. Una forma de disminuir la velocidad o llegar a la deseada es también reducir el radio de entrada a la rotonda, sin embargo, esto puede generar más fricción entre los vehículos que circulan y, posteriormente, gran cantidad de accidentes entre sí.
- **Disposición de los carriles:** Los movimientos permitidos de cada carril de entrada son muy importantes para el diseño general y continuidad del carril. Los primeros años puede que los carriles sean muchos para la demanda de flujo vehicular, por lo que se tiene que ensanchar los carriles de entrada y circulatorio; pasado un par de años aproximadamente se ajustan los anchos de los carriles para mejorar el flujo, pero esto debe ser configurado en la parte de diseño preliminar.

⁴De 20 a 25 mph para un carril y de 25 a 30 mph para varios carriles (NCHRP).

- *Adecuada alineación de la trayectoria:* La trayectoria natural de cada carril no deben interferirse entre sí, puesto que, de ser así, la rotonda no operaría de forma segura ni eficaz. Los radios de salida también afectan la trayectoria de cada carril; un buen diseño de las salidas hace que los vehículos se mantengan en su propio carril. La superposición de carriles genera accidentes y choques entre los vehículos como se muestra en la siguiente figura, en ella se puede ver que los radios de entrada y salida no son los adecuados, pues no canalizan la trayectoria de una forma correcta.

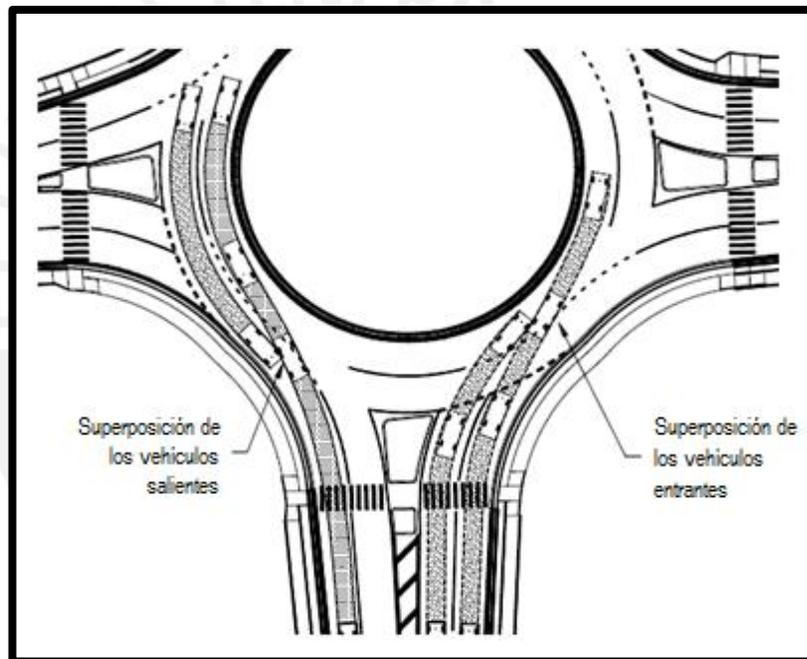


Gráfico N° 2

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

- *Vehículo de diseño:* Se tiene que usar como vehículo de diseño al más grande y a partir de este se obtendrán las dimensiones del óvalo. Como lo que se quiere es reducir la velocidad en el óvalo, se trata de ajustar los anchos de carril y los radios de giro, sin embargo esto produce problemas a los vehículos grandes, por ello se deberá determinar el diseño del vehículo antes de dimensionar el óvalo. Por lo general, se diseña con los vehículos más grandes que son los WB-

67; en el caso del óvalo de Naranjal, se tomará dicho vehículo, pues sí transita la zona.

- *Usuarios no motorizados:* En este caso, ningún tipo de usuario que no posea vehículo motorizado afecta el funcionamiento del ovalo Naranjal, ya que no existen cruces peatonales a ras de pista ni tampoco ciclovías, sino que se hace uso de puentes peatonales.
- *Visibilidad y distancia de visión:* Se requieren dos tipos de distancia, la distancia de visibilidad de frenado y distancia de visibilidad de la intersección. El primero debe ser analizado para que se tenga una visibilidad prudente al ingreso, circulación y salida del ovalo. La segunda se debe analizar para que los conductores puedan darse cuenta con anticipación de los conflictos que pudieran haber en la rotonda, sin embargo, esta no puede ser muy grande ya que haría que los conductores eleven sus velocidades. (NCHRP 672,2010, p. 6-15)⁵

Todos los objetivos mencionados líneas arriba aplican en el caso de que el óvalo pueda ser mejorado en su diseño y funcionamiento; sin embargo, existe la posibilidad de que el tipo de intersección cambie debido a distintas circunstancias que se encontrarán en el estudio de campo.

Para ello, el principal objetivo es que las colas antes del semáforo (demoras) sean reducidas y que, en términos prácticos, el último vehículo de la cola pueda pasar la intersección sin necesidad de esperar dos ciclos de semáforo.

⁵ Consideraciones tomadas de la NCHRP para los objetivos mencionados anteriormente.

3. HIPÓTESIS

A medida que pasan los días, el tránsito vehicular en el óvalo Naranjal se torna más pesado por lo que aplicar un cambio es necesario y cuanto antes.

La geometría que el óvalo tiene actualmente es ineficiente, pues genera el aumento de las distancias de cruce de los peatones, no acomoda a los vehículos de manera correcta, se generan entrampamientos cuando los flujos se aproximan perpendicularmente, entre otros. Esto hace que siempre sea necesaria la presencia de efectivos policiales para que puedan aligerar el paso de los vehículos.

A partir de esta problemática se pueden formular las siguientes preguntas: ¿Bastará con solo cambiar la geometría del óvalo? ¿Será necesario cambiar el tipo de intersección? ¿Sería una solución cambiar el tipo de intersección? En base a estos cuestionamientos se puede plantear la siguiente hipótesis: “El diseño del óvalo es ineficiente y necesita ser cambiado, ya sea geoméricamente o en el tipo de intersección, siempre buscando la más económica”

De acuerdo a esta hipótesis, se espera que el funcionamiento del óvalo mejore con un nuevo diseño. El funcionamiento de las intersecciones se mide con el nivel de servicio, por lo tanto a lo que se apunta es a un grado “C” que aproximadamente indica que un vehículo tardará entre 20 y 35 segundos en cruzar el óvalo.

De no funcionar el rediseño geométrico, se probará con el cambio de intersección a una simple o en cruz, para la cual se necesitará semaforizar y analizar si es que es una solución viable.

4. MARCO TEÓRICO DE ÓVALOS (ROTONDAS)

El presente capítulo sirve para poder lograr el primer objetivo que es la de tratar de rediseñar geoméricamente el óvalo. Para ello, en los siguientes párrafos se explica la teoría y consideraciones básicas que se necesitan saber para un correcto rediseño.⁶

a. Disposiciones Generales

Tamaño, posición y alineación de aproximación

Para poder alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, se deben optimizar estos 3 aspectos para equilibrar los principios de diseño.

Diámetro de círculo inscrito: Para el vehículo de diseño que se eligió, el diámetro más pequeño es de 40 m. Generalmente, para rotondas de varios carriles, el diámetro varía desde 45 a 100 m. Para rotondas de 2 carriles, pueden ser desde 49 hasta 55 m., para rotondas de 3 o 4 carriles, se puede obtener diámetros desde 60 a 100 m.

Tabla N° 1

Configuración de rotonda	Típico vehículo de diseño	Rango de diámetro de circunferencia inscrita	
Mini-rotonda	SU-30	45-90 ft	14-27 m.
De un solo carril	B-40	90-150 ft	27-46 m.
	WB-50	105-150 ft	32-46 m.
	WB-67	130-180 ft	40-55 m.
De varios carriles (2 carriles)	WB-50	150-220 ft	46-67 m.
	WB-67	165-220 ft	50-67 m.
De varios carriles (3 carriles)	WB-50	200-250 ft	61-76 m.
	WB-67	220-300 ft	67-91 m.

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

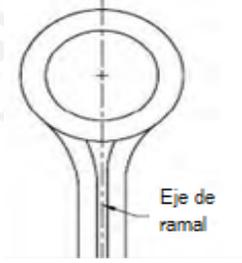
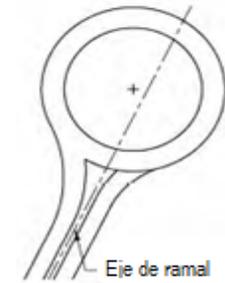
⁶La mayoría del marco teórico es un resumen y adaptación de los reportes 572 y 672 de la NCHRP y de Design Manual for Roads and Bridges (The Highways Agency – 2007).

Si se escogiera el menor diámetro del rango mostrado en una zona urbana, ayudaría a un mejor funcionamiento debido a las limitaciones de derecho de paso que la rotonda exige, pero a la vez no podría permitir un mismo ángulo de deflexión y control de velocidad como sí lo haría un diámetro mayor (The Highways Agency, 2007, p. 7/2).

Alineación de los ramales: 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.

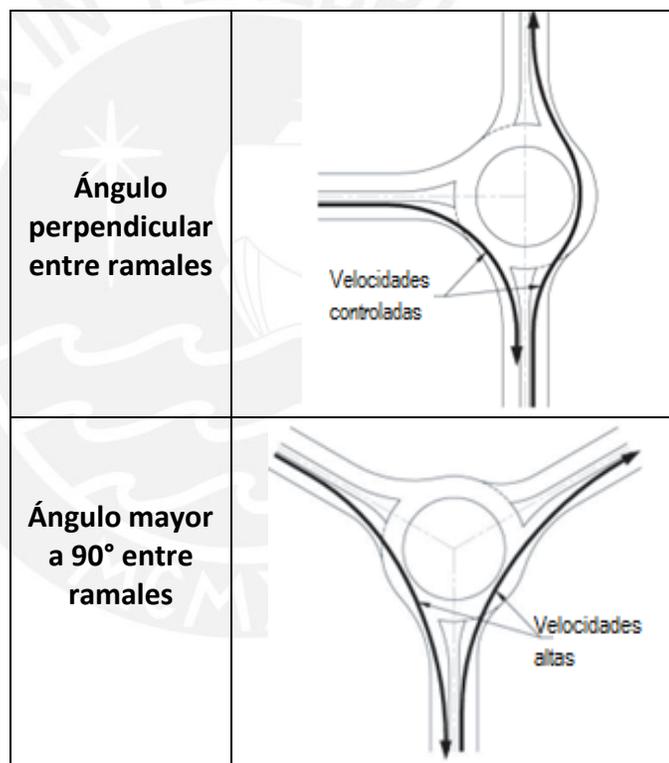
Tabla N° 2

<p>Eje al lado izquierdo del centro del óvalo</p>		<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>
<p>Eje alineado con el centro del óvalo</p>		<p>Permite que las curvaturas de salida puedan llevar a los conductores a reducir la velocidad. Normalmente usado para radios grandes.</p>
<p>Eje al lado derecho del centro del óvalo</p>		<p>En estas es más complicado obtener velocidades deseadas (entrada y salida), por ello no son normalmente usadas.</p>

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Ángulo entre los ramales de aproximación: En general, es preferible que las aproximaciones lleguen a la intersección con un ángulo aproximado de 90° ; 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° , los vehículos grandes dificultarían su giro (NCHRP, 2010, p. 6-20). 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.

Tabla N° 3



Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

b. Rotondas de un solo carril:

En este tipo de óvalos, el radio de salida es, por lo general, más grande que el de entrada para evitar la congestión vehicular, sobre todo si es que es transitada por tráileres como el vehículo de diseño WB-65.

A continuación se explica los parámetros y consideraciones que se debe tener para este tipo de rotondas.

Ancho de entrada: Para poder obtener el ancho adecuado se debe tener en cuenta el flujo peatonal⁷, el flujo vehicular, la velocidad vehicular y el vehículo de diseño. Por lo general estos anchos van desde 4.2 a 5.5 m., pues es adecuado para el libre ingreso del vehículo de diseño; sin embargo, si el valor es menor a este rango, se debe tener en cuenta que los vehículos que utilizarán la rotonda serán de menor tamaño, y si el valor es mayor, se debe tener cuidado porque se puede interpretar como si hubieran dos carriles.

Ancho de calzada circulatoria: El ancho de la calzada de circulación debe ser tan amplia como el ancho de entrada o hasta un 1.2 dicho valor, este debe permanecer constante a lo largo de todo el óvalo. El ancho varía entre 4.8 y 6 m., de la misma manera, se debe procurar tener valores dentro de ese rango, puesto que se puede generar dudas en la cantidad de carriles de la calzada (The Highways Agency, 2007, p. 7/2). Para zonas urbanas, se debe buscar el ancho para dar un flujo continuo de vehículos; si es que pasan camiones (a partir de WB-62), es necesario darle el ancho suficiente para que estos puedan girar y para ello se necesita colocar un espacio adicional para el lado de la isla central. Según la ASSHTO, la distancia mínima entre la parte posterior de las llantas y el borde de la pista debe ser 0.3 m., para fines de comodidad se usa 0.6 m.

Isla Central: Por lo general, se prefiere que las islas centrales sean elevadas y no deben ser transitables. Pueden tener un bordillo a lo largo de todo el perímetro, como se mencionó anteriormente, para ayudar al giro de vehículos grandes (NCHRP, 2010, p. 6-25).

⁷Actualmente no influye porque los peatones usan puentes para cruzar.

La forma de la isla influye mucho en el tránsito. Cuando el óvalo tiene una forma circular, esta permite que la velocidad sea constante durante el trayecto. Si la rotonda tiene forma ovoide, esta permitiría velocidades altas en la entrada y salida en su eje más largo, mientras que en el eje corto generaría velocidades lentas para cruzar la intersección. En el caso de óvalos de un solo carril, este aspecto no es un problema, ya que el diámetro y la distancia a recorrer son relativamente pequeños y se podría obtener una velocidad casi constante. El diámetro del óvalo en zonas rurales debe ser mayor que el de las zonas urbanas, ya que este debe ser más notorio para los vehículos que, por lo general, van a velocidades altas, de esta manera, se podría cruzar el óvalo a velocidad media. El mínimo radio debe ser de 4 m., ya que menor a este se puede considerar como un mini-óvalo (The Highways Agency, 2007, p. 7/2).

Diseño de entrada: La longitud de la entrada se mide desde la isla divisoria hacia la curva de giro a la derecha de forma perpendicular, a veces este se confunde con la proyección de la parte posterior de la calzada de circulación.

En la siguiente figura se muestra cuál es el ancho de entrada al óvalo.

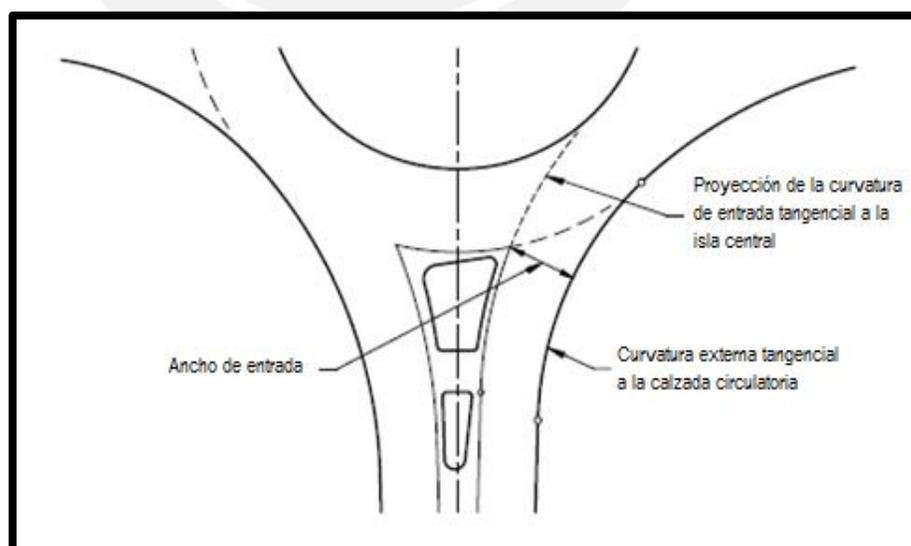


Gráfico N° 3

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

El radio de entrada debe tener la medida adecuada para evitar ingresar al óvalo con velocidades altas y ocasionar accidentes, por lo que se recomienda radios que varíen entre 15 y 30 m.

La visibilidad también es importante, para ello se juega con el ángulo de entrada que varían entre 20 y 40 grados para poder ver sin mucho esfuerzo a los vehículos que vienen a través de la calzada circulatoria.

Diseño de salida: Al igual que en la entrada, el ancho de salida se mide desde la isla separadora a la curva de salida perpendicularmente. Los radios de salida por lo general son mayores que los de entrada, ya que se requiere que no se congestione, pero esto se ve equilibrado con el paso peatonal en las salidas. Por lo general estos radios van de 30 a 60 m (NCHRP, 2010, p. 6-25).

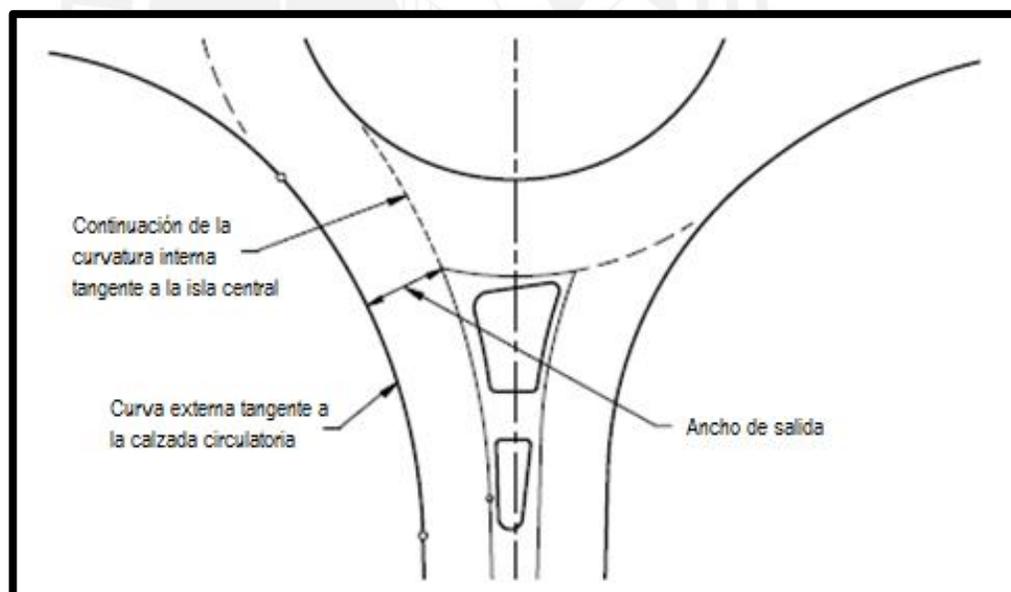


Gráfico N° 4

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Consideraciones para el vehículo de diseño: Dependiendo de los tipos de vehículos que circularán la rotonda, se debe tener en cuenta

ciertas consideraciones en el diseño. Por ejemplo, el uso de bordillos transitables alrededor de la isla central dan mayor comodidad a los vehículos pesados y largos; también, una pequeña deflexión en el terreno ayudaría a que los vehículos pequeños disminuyan su velocidad, pero para vehículos grandes significaría un problema.

El tipo de zona es una consideración importante, ya que dependiendo de este se verá qué tipo de vehículos se utilizará. Por ejemplo, para zonas agrícolas los tractores y camiones se pueden considerar como vehículos de diseño, ya que estos transitan cada minuto por dicha intersección.

Se puede diseñar óvalos para vehículos pequeños en las que también podrían transitar semirremolques; dicho óvalo permitiría que los autos se muevan libremente, podría girar hacia ambos lados sin dificultades, sin embargo, el tránsito para camiones sería en una sola dirección, ya que la rotonda diseñada es pensada para la libre movilidad de los vehículos menores.

Como se mencionó anteriormente, se debe tener cuidado en el ancho del carril, puesto que esto puede ocasionar que los usuarios interpreten una calzada con varios carriles. Para mejor comodidad de los vehículos pesados, se puede ampliar el diámetro de la isla central o simplemente se puede ampliar el ancho del carril.

Bordillos transitables para vehículos pesados: Este bordillo es de uso exclusivo para vehículos mayores, aquellos que necesitan de un espacio extra para poder desplazarse por el óvalo sin problemas. Este espacio debe estar diferenciado de la calzada regular para evitar que vehículos ligeros transiten sobre este, por ello se usa este espacio de

otro color (a veces se usa otro material como adoquines) y está elevado con 2 o 3 pulgadas por encima de la calzada circulatoria.



Gráfico N° 5
Fuente: WSDOT (2013)

c. Mini-óvalos

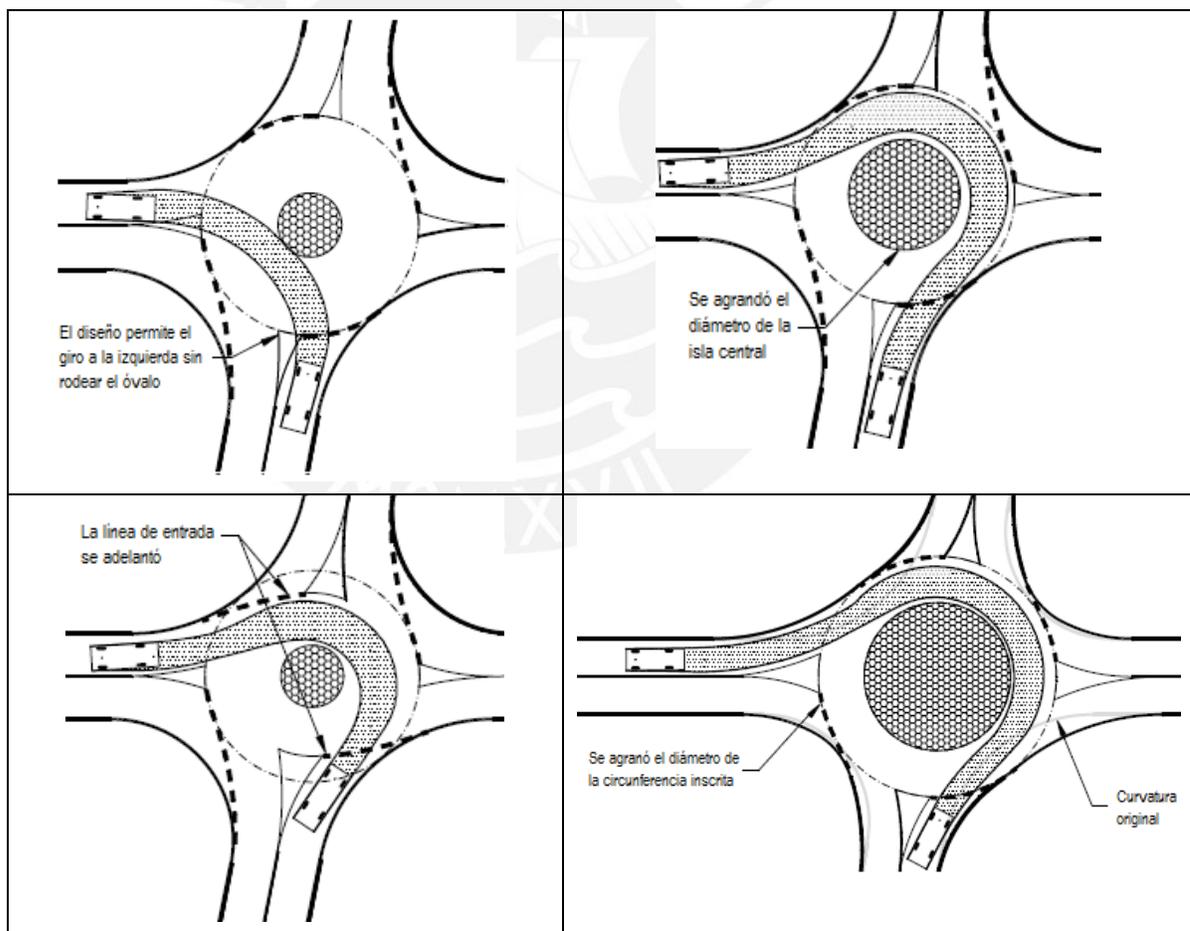
La gran diferencia con los demás tipos de óvalos, es que este tiene una isla central que puede ser transitable, sobre todo para los vehículos de gran tamaño. A continuación se muestran los aspectos básicos que debe tener este tipo de óvalo.

Criterio de diseño: El diámetro inscrito no debe ser superior a los 30 m., de ser mayor, la isla central deberá ser elevada y no transitable en la mayoría de casos. El mini-óvalo debe estar diseñado de tal manera que los autos sean capaces de transitarlo sin la necesidad de ir por la isla central sino por sus alrededores y que los tráileres o semirremolques sean capaces de pasar por encima de dicha isla.

Las islas centrales deben ser montables y con una altura de no más de 5^{m8} con respecto a la calzada circulatoria, de esta manera se hace más visible para los conductores. La isla central debe diferenciarse del resto, por ejemplo, en Estados Unidos se delinea el perímetro de color amarillo. Para evitar que los vehículos giren hacia la izquierda sin dar la vuelta a la rotonda, se debe delinear bien el perímetro del círculo inscrito; también se puede agrandar el diámetro de la isla central o del círculo inscrito.

A continuación se muestra las posibilidades para evitar que los vehículos giren a la izquierda sin rodear el óvalo.

Tabla N° 4



Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

⁸ No puede ser mayor a 5" porque podría causar daños en los vehículos.

Islas separadoras: Se pueden usar islas elevadas si es que la frecuencia con la que los peatones cruzan es moderada. También se puede usar islas divisorias al ras de la calzada si el tránsito vehicular es lento. Es posible que se tenga una combinación de ambos, se puede tener una isla elevada para refugiar peatones, pero al llegar a la salida, la prolongación de la isla puede ser solo pintada y estar al ras.

Consideraciones para peatones: Se recomienda que las rampas que permiten el ingreso y salida entre la vereda y la calzada se ubiquen 6 metros antes de la línea de entrada, ya que en dicha distancia puede entrar un vehículo. Cuando se tiene una isla divisoria elevada, se recomienda que la parte por donde cruzarán los peatones sea al ras de la calzada. Este refugio en las islas divisorias debe ser detectable para las personas con discapacidad de visión; por ejemplo, se pueden colocar bruñas transversales y deben estar marcadas 60 cm. a cada lado de los bordes.⁹

Consideraciones para ciclistas: La velocidad media de los ciclistas es aproximadamente 25 km/h, casi la misma velocidad con la que los vehículos cruzan la mini-rotonda, por lo que se recomienda que durante el transcurso a través del óvalo, ambos, ciclistas y vehículos, se tomen como si fueran de un mismo tipo. Para esto, las ciclovías deben desaparecer por lo menos 30 m. antes de ingresar al óvalo para luego unirse a este (NCHRP, 2010, p. 6-51).

⁹ Las bruñas permiten el reconocimiento de las personas con ceguera.

Consideraciones para mini-rotondas con 3 brazos: Este se debe usar cuando las velocidades de los vehículos son bajas. En la parte superior de la T, la calzada transversal es parte del círculo inscrito, lo que genera que los vehículos que se trasladan por dicha vía eleven sus velocidades.

El siguiente cuadro indica el problema y sus posibles soluciones.

Tabla N° 5

	<p>No hay deflexión en la vía, lo que permite altas velocidades.</p>
	<p>Se puede mover el óvalo al centro de las vías, generando una deflexión en la que fue recta.</p>
	<p>Se puede generar una pequeña deflexión en la vía de ingreso para disminuir las velocidades de ingreso</p>

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

d. **Óvalos de varios carriles**

Muchos principios usados para las rotondas de un solo carril también son aplicados para aquellas que tienen varios carriles, pero de una manera un poco más compleja (NCHRP, 2010, p. 6-33).

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.

En los siguientes párrafos se muestran los aspectos que se requieren para un correcto diseño.

Disposición y números de carriles: En este tipo de óvalos se debe tener claro qué tantos carriles se necesitan usar para la cantidad de vehículos que se trasladarán por dicha vía, de esta forma, no se excede la capacidad de cada uno de los carriles.

El principio primordial es que el diseño genere continuidad en la entrada, circulación y salida del óvalo de tal manera que no se necesite cambios de carril durante el recorrido. Se desea lograr una balanceada utilización de los carriles, con el fin de abarcar la capacidad demandada. Además se deben analizar otras variables que puedan influir en el tránsito del óvalo, como los cuellos de botella.

Ancho de entrada: El ancho de entrada varía, para 2 carriles va desde 7.3 a 9.1 m. mientras que para 3 carriles el rango va desde 11 a 13 m., cuyos anchos típicos varían desde 3.7 a 4.6 m. de cada uno (NCHRP, 2010, p. 6-35). Cuando se requiere adicionar un carril más en la entrada del óvalo, se tienen dos opciones; adicionar totalmente un carril antes de llegar a la rotonda, o agrandar gradualmente el ancho de entrada. Ambos se muestran en las siguientes imágenes.

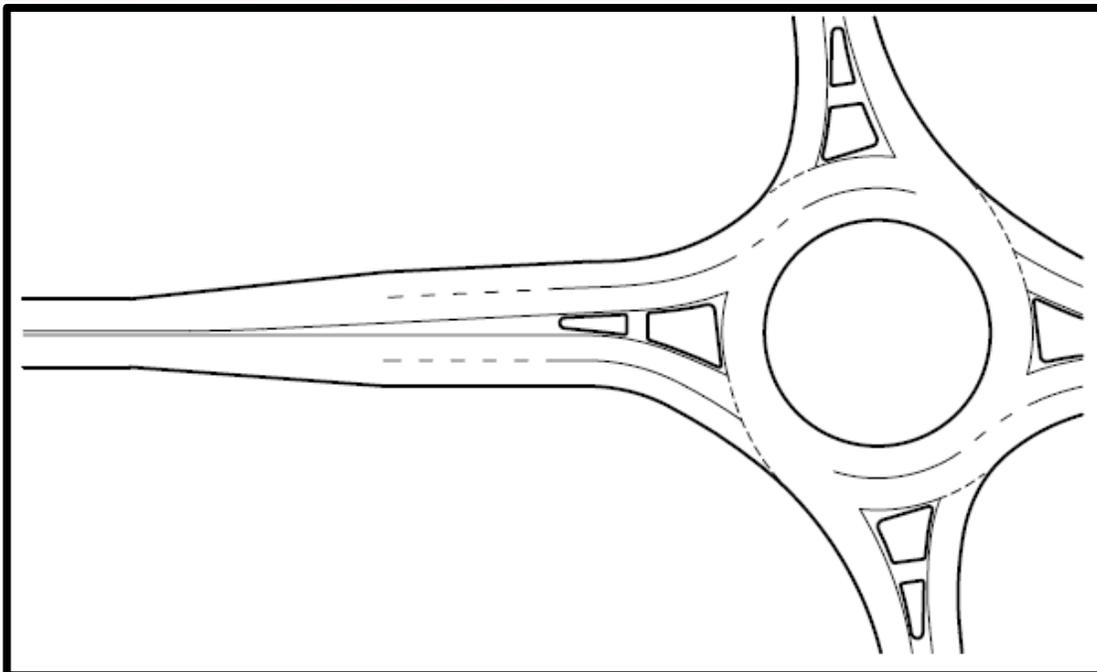


Gráfico N° 6
Fuente: NCHRP Report 672 (2010)

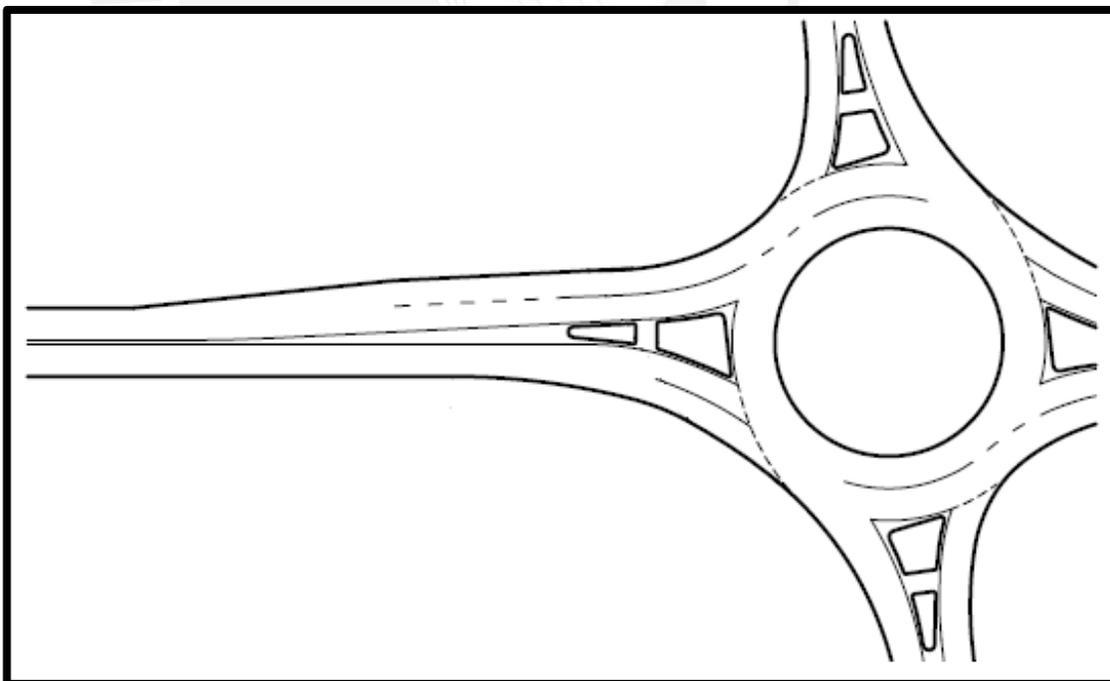


Gráfico N° 7
Fuente: NCHRP Report 672 (2010)

Ancho de calzada circulatoria: Si en el tráfico la cantidad de vehículos predominantes es de buses y de camiones tipo furgones y solo pocos semirremolques, entonces se podría diseñar dos carriles, uno para buses y otro para camiones. Si la cantidad de semirremolques es considerable¹⁰, se podría optar por diseñar 3 carriles, uno para cada uno. Los anchos de carriles en la parte circulatoria suelen ir de 4.3 a 4.9 m., por lo tanto, el ancho de calzada para dos carriles irían de 8.5 a 9.8 m., mientras que el ancho para tres carriles iría de 12.8 a 14.6 m. Si en alguno de los ramales se tiene poco flujo vehicular, es conveniente que el número de carriles sea reducido. También, si es que hay mucha demanda de giros hacia la izquierda en dos entradas consecutivas, se puede agregar un carril más en la calzada de circulación para evitar la congestión en el óvalo.

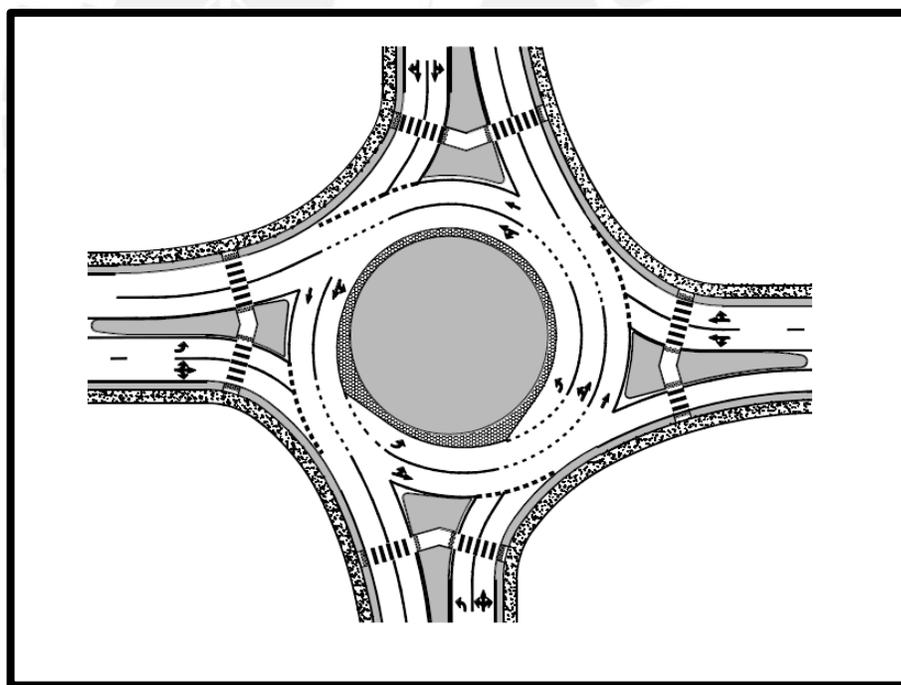


Gráfico N° 8
Fuente: NCHRP Report 672 (2010)

¹⁰ Mayores al 10% del flujo total.

Geometría de entrada y alineación de aproximaciones: Pequeños radios de entrada puede reducir la velocidad de entrada, pero genera superposición entre los vehículos en la entrada a la rotonda. Los radios de entrada deben exceder los 20m., si estos son más pequeños, puede generar congestión. Los radios de mayor trayectoria deben estar en el rango de 53 a 84m. para una velocidad promedio que va desde 40 a 50 km/h. La superposición de vehículos en el camino suele darse en las entradas, donde la geometría del carril derecho tiende a conducir a los vehículos hacia la izquierda, y en las salidas, donde la geometría del carril izquierdo tiende a conducir a los vehículos hacia la derecha.

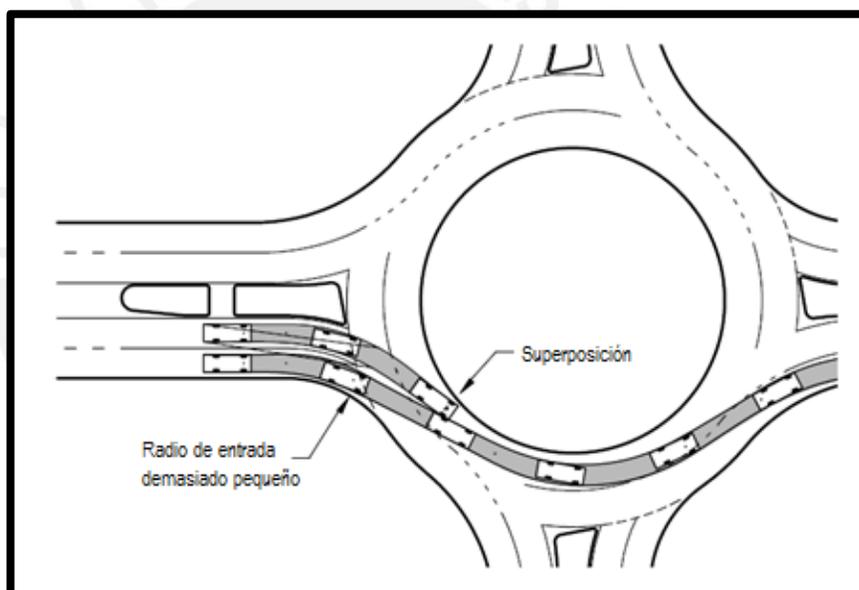


Gráfico N° 9

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Por ello, para evitar este tipo de problemas se debe buscar el equilibrio, de tal manera que los vehículos se desplacen de manera alineada a lo largo de la trayectoria de circulación. En la siguiente imagen, dicho equilibrio y trayectoria libre se logra agrandando el radio de entrada, siendo esta tangente a la circunferencia inscrita del óvalo.

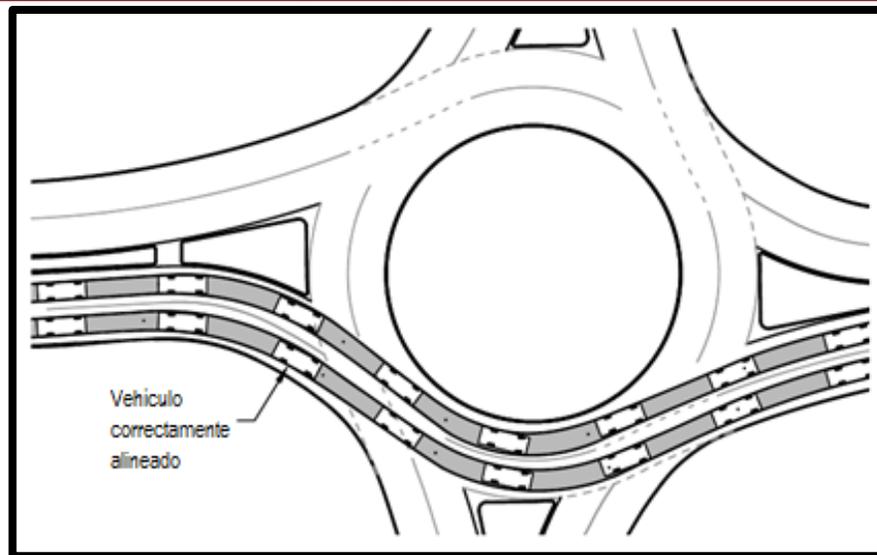


Gráfico N° 10

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Otra forma de lograr esto es haciendo una combinación de radios antes de llegar a la calzada de circulación. Primero, se toma un radio pequeño (20 a 35m.) y no debe estar a menos de 6m. del borde de la calzada de circulación, luego se toma un radio grande (> 45m.) tangente al borde la calzada de circulación.

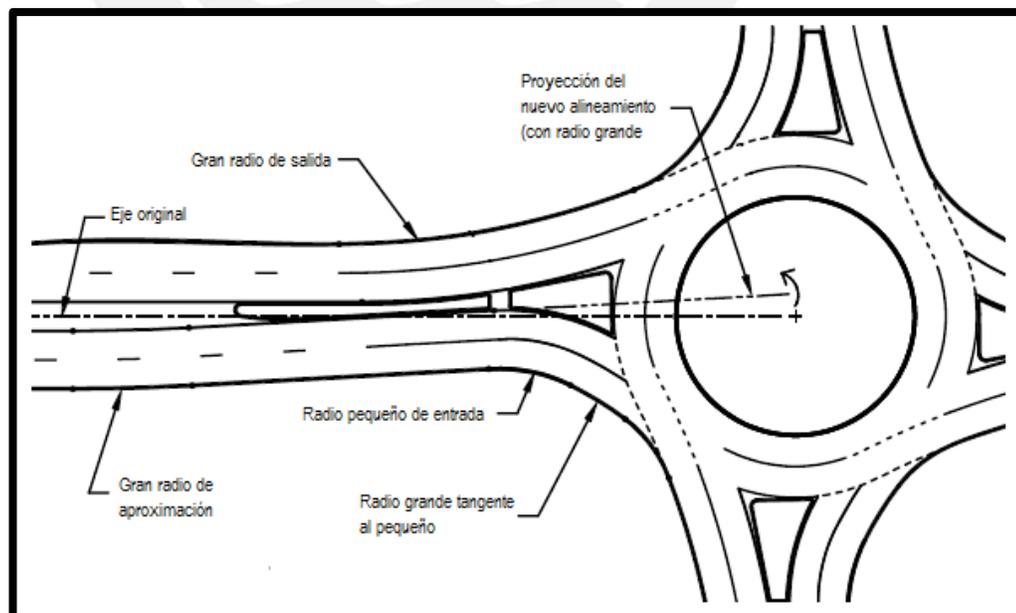


Gráfico N° 11

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Otro método es la de ubicar al eje de uno de los ramales hacia la izquierda del centro de la isla central, esto hace que la curvatura de entrada sea mayor, sin embargo, hace que en la salida sea todo lo contrario, además de los problemas ya mencionados en los párrafos anteriores¹¹.

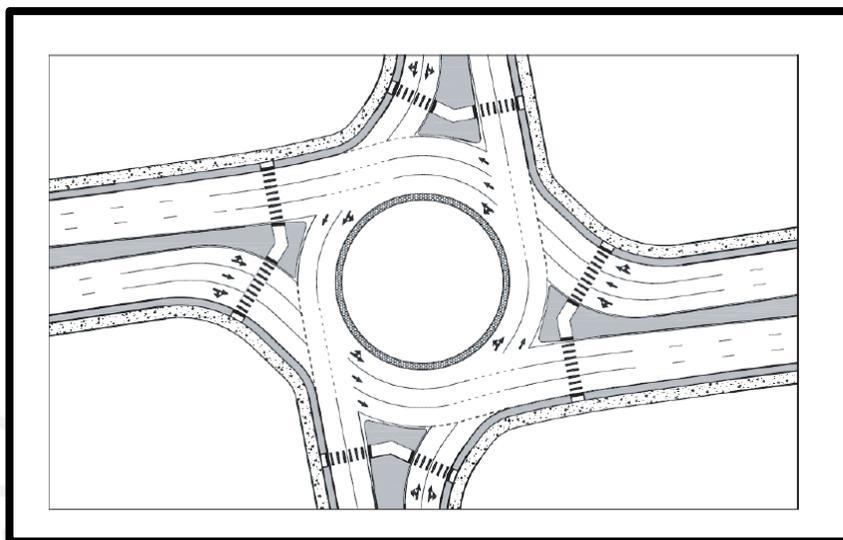


Gráfico N° 12

Fuente: NCHRP Report 672 (2010)

Los ángulos típicos de entrada varían entre los 20° y 40°.

Islas divisoras: Estas se utilizan para dar refugio a los peatones¹² y también para modificar la geometría de las entradas y salidas.

¹¹ Tramos de salida casi rectos que permiten altas velocidades.

¹² Para el diseño del óvalo los peatones seguirán usando puentes para cruzar.

Curvas de salida: Normalmente, los radios de las curvas de salida suelen ser mayores a los de entrada, esto para evitar congestión en dicha zona; además, un radio incorrecto puede generar superposición entre vehículos así como el mal diseño de entrada al óvalo. Un problema recurrente es tener grandes separaciones entre ramales consecutivos (entrada y salida), esto hace que los vehículos que ingresan a la circulación se unan a los que anteriormente ya estaban circulando y que pretenden ir por la próxima salida, generando un conflicto entre ambos.

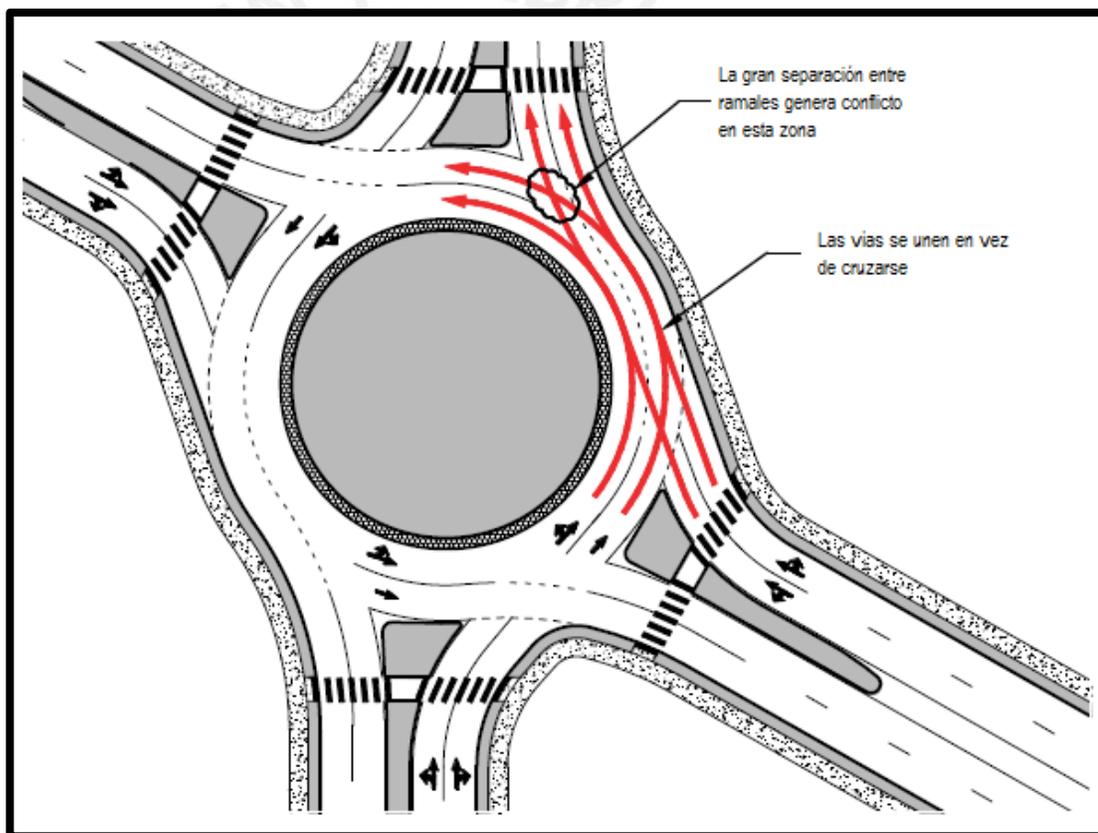


Gráfico N° 13

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Se debería buscar el realineamiento de los ramales, de manera que los vehículos que se aproximan al óvalo no se unan a aquellos que ya

vienen circulando por este, sino que se crucen entre sí para evitar el tipo de conflictos que se mostraron en el gráfico N° 13.

En la siguiente imagen se muestra los cambios hechos a los ramales para una solución a los conflictos.

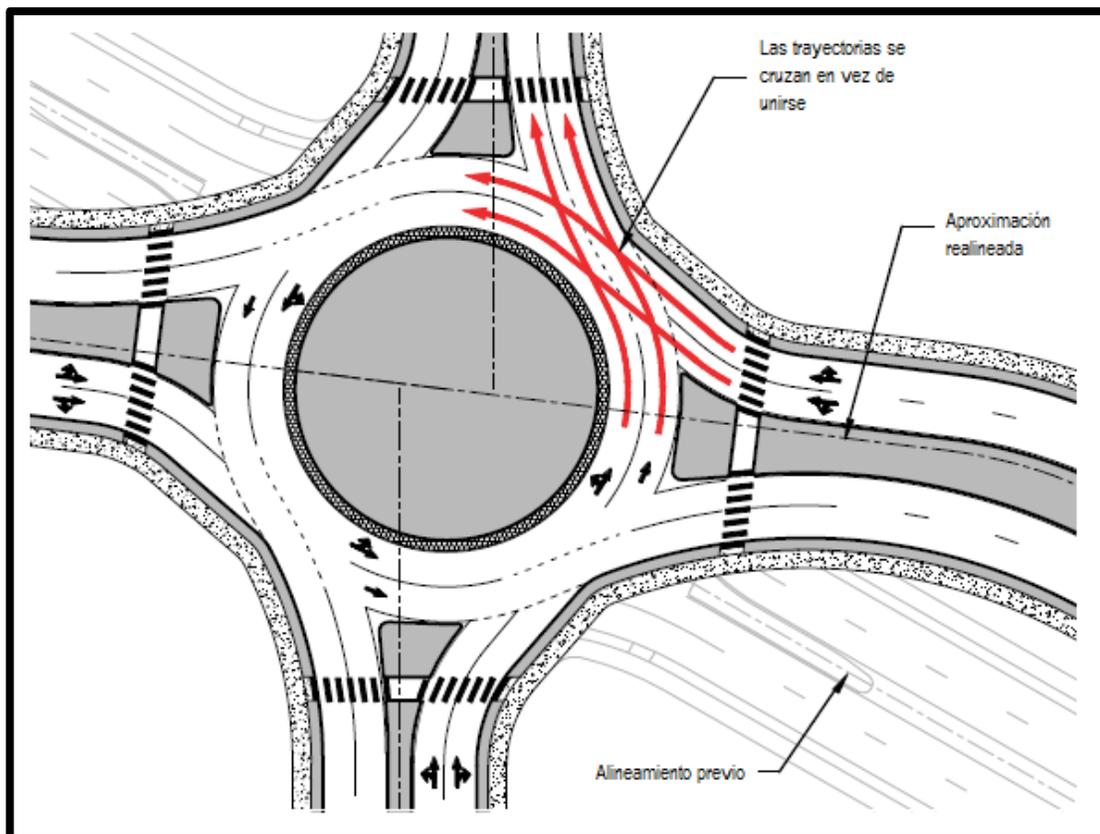


Gráfico N° 14

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Consideraciones para el vehículo de diseño: Como se viene diciendo desde párrafos anteriores, el vehículo de diseño utilizado normalmente es aquel que tiene las dimensiones más grandes y transita con frecuencia el óvalo. Por ello, se requiere que dicho vehículo pueda cruzar la intersección sin muchas dificultades y para ello se utilizan ciertas propuestas o consideraciones que se aplican para mayor comodidad del traslado. Una de ellas es colocar una especie de separación entre carriles, esta ayuda a que los vehículos

grandes¹³ tengan un espacio libre para girar al introducirse al óvalo. Dicho espacio puede tener hasta 1.8 m. de ancho, dependiendo del vehículo, y tiene que ser diferenciado¹⁴ para evitar confusiones.

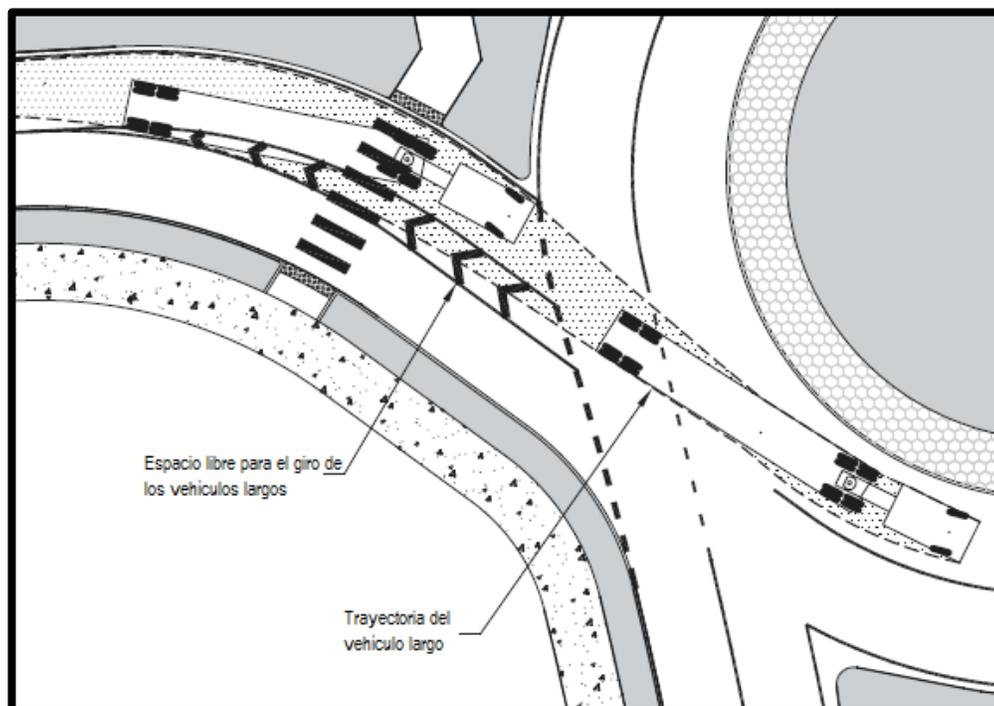


Gráfico N° 15

Fuente: Adaptado de New York State Department of Transportation

Otra forma para dar comodidad a los vehículos pesados y largos es la de ampliar el ancho del carril externo y disminuir el interno¹⁵, de esta forma dichos vehículos tienen más espacio para maniobrar sin necesidad de invadir el otro carril.

¹³ Vehículos largos como los semirremolques o los buses del Metropolitano.

¹⁴ Se le colocan rayas en forma de "V" que indican que se puede montar.

¹⁵ Para una rotonda de 2 carriles funciona lo mencionado, pero para más, se ensancha aquel que sea destinado para los vehículos pesados, que normalmente es el del medio.

Otro diseño práctico: El uso de turbo glorietas también puede ser una opción. Esta se caracteriza porque los vehículos que entran al óvalo tienen que ceder el paso a aquellos que ya vienen circulando (Bulla, Lenin. 2010. *Metodología para la evaluación técnica y operativa de Turboglorietas como alternativa de intersección vial en el ámbito urbano*. Tesis para maestría. Colombia. Universidad Nacional de Colombia). Usualmente, los carriles de la calzada circulatoria son marcados y tienen una ligera elevación para poder guiar al vehículo durante su trayectoria.

e. Pruebas de rendimiento

Estas sirven para verificar que el diseño efectivamente funcionó y cumplió con las expectativas que se tenían.

Lamentablemente, en los programas determinísticos no se puede aplicar las siguientes pruebas ni tampoco verificar si funcionarían.

Camino más rápido: Esta sirve para saber que los radios de curvatura de las partes del óvalo¹⁶ son las más óptimas y seguras para el trayecto del vehículo. Para determinar cuál es la ruta más rápida, se analiza la trayectoria del vehículo sin seguir las separaciones de los carriles ni el tráfico que pueda haber, con la cual se puede hallar una velocidad segura para el diseño. También se debe tener en cuenta el camino natural, este consiste en seguir la trayectoria en el mismo carril, ya que se asume que los demás carriles están llenos de vehículos. Para este caso, los radios de curvatura deben ser similares, pues de esa manera se mantiene una velocidad constante (NCHRP, 2010, p. 6-60). Se tiene que analizar también las velocidades para cada ruta que tomarán los vehículos en general¹⁷.

¹⁶ Curvaturas de ingreso, salida, circunferencia inscrita e isla central

¹⁷ Giros a la derecha, izquierda y de frente.

Tabla N° 6

TIPO DE ROTONDA	VELOCIDAD MÁXIMA DE DISEÑO DE ENTRADA RECOMENDADA	
Mini-rotonda	20 mph	30 km/hr
Un solo carril	25 mph	40 km/hr
Varios carriles	25-30 mph	40-50 km/hr

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Para obtener el camino más rápido se necesitan las siguientes consideraciones:

- Se debe saber la trayectoria de los vehículos. Para rotondas en general, la trayectoria en la que los vehículos se desplazan más rápido se referencia con las siguientes distancias:
 - 1.5 m. a las curvas de entrada y salida.
 - 1 m. a las islas separadoras.
 - 1.5 m. a los bordes de la isla central.

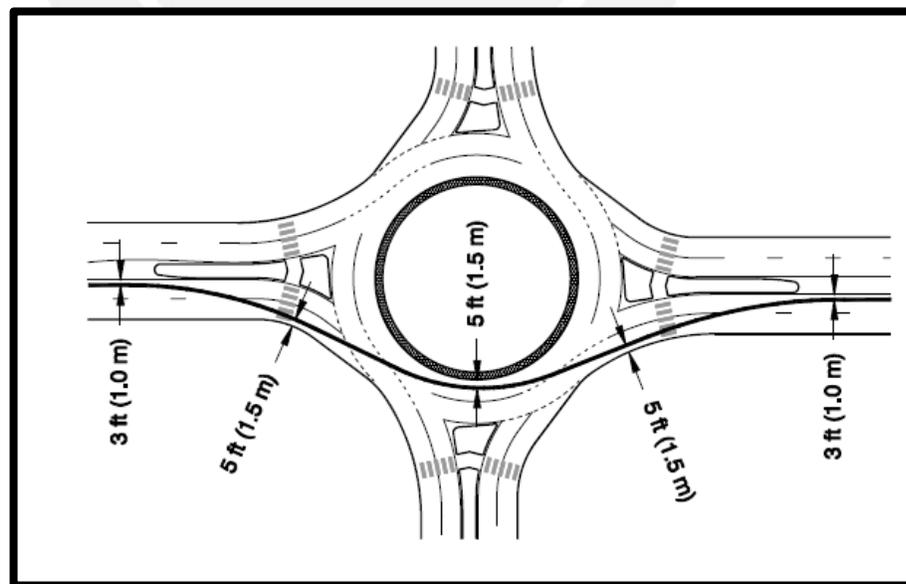


Gráfico N° 16

Fuente: NCHRP Report 672 (2010)

- Se debe saber la velocidad de los vehículos para cada movimiento que se pretenda hacer. Para ello, se utilizan los radios horizontales para cada una de las rutas a tomar en el óvalo¹⁸. Existe una relación entre el radio de curvatura horizontal y la velocidad de desplazamiento, dicha relación se muestra en la siguiente ecuación, donde se considera a “e” como la pendiente¹⁹.

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

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

Esta ecuación presentada es la más simple e ideal que se puede presentar, pues no se tiene en cuenta otros factores como las aceleraciones o desaceleraciones que se pueden tomar en el trayecto.

Visibilidad: Este es un aspecto muy importante y siempre se debe considerar, ya que gracias a este el conductor manejar de forma segura y puede prevenir accidentes.

Los siguientes puntos son los más importantes a tener en cuenta:

- Distancia visual de parada: Es la distancia necesaria para que un conductor se detenga desde que percibe el objeto, ya sea peatón o un vehículo detenido. Se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

d: Distancia visual de parada

t: tiempo de percepción, por lo general es 2.5 s

V: velocidad inicial mph

a: desaceleración, por lo general es 11 ft/s²

¹⁸ Radio generado por la curva al atravesar el óvalo, ya sea para ir de frente o girar hacia los costados.

¹⁹ 2% es el valor más común tomado para la pendiente transversal.

Con dicha fórmula se obtuvo los siguientes valores:

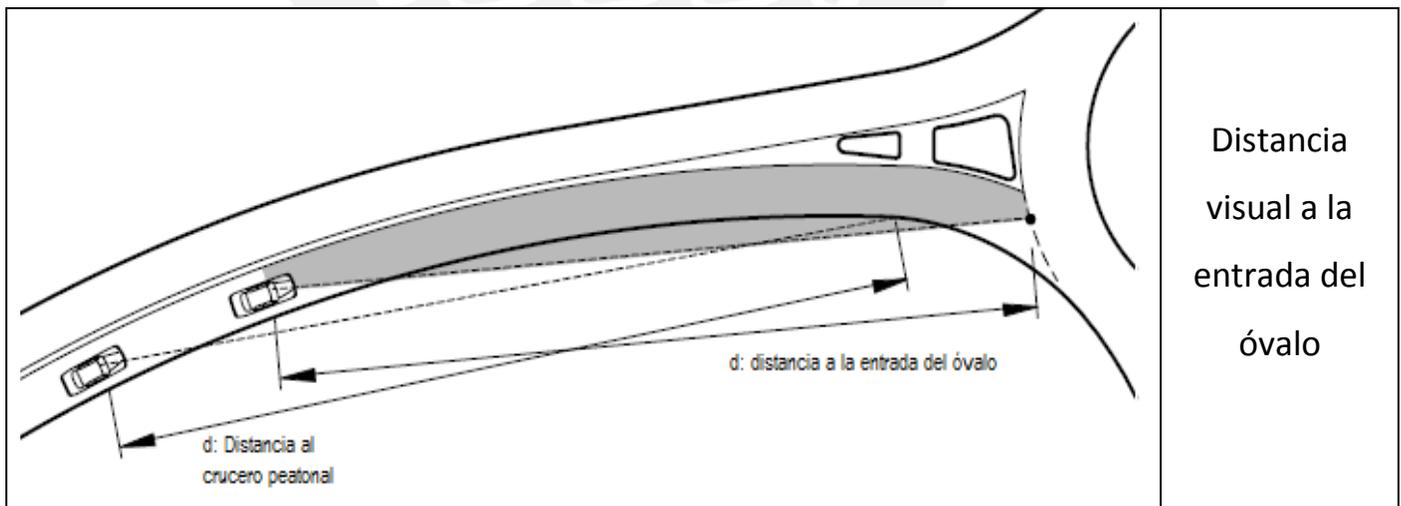
Tabla N° 7

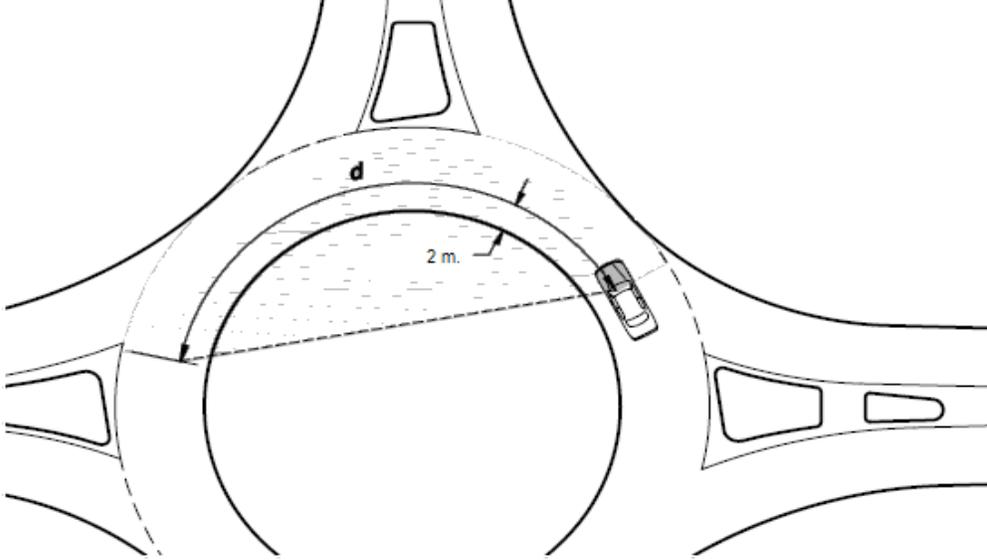
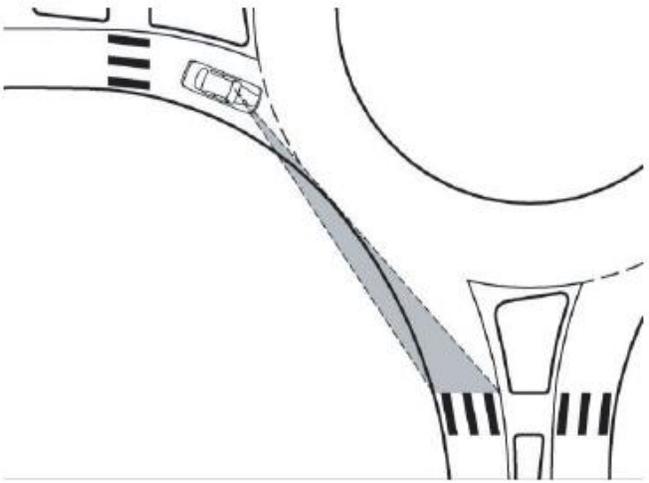
VELOCIDAD (km/hr)	DISTANCIA CALCULADA (m)	VELOCIDAD (mph)	DISTANCIA CALCULADA (ft.)
10	8.1	10	46.4
20	18.5	15	77
30	31.2	20	112.4
40	46.2	25	152.7
50	63.4	30	197.8
60	83	35	247.8
70	104.9	40	302.7
80	129	45	362.5
90	155.5	50	427.2
100	184.2	55	496.7

Fuente: Adaptada de NCHRP Report 672 (2010)

Además, de acuerdo a las velocidades usadas en el cuadro anterior, se debe verificar las distancias (d) que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 8



	<p>Distancia visual de la calzada circulatoria</p>
	<p>Distancia visual al cruceo peatonal en la salida</p>

Fuente: Adaptada de NCHRP Report 672 (2010)

- Distancia visual a la intersección: Es la distancia necesaria para percibir la presencia de la intersección. Los únicos lugares que debe mirar el conductor son los vehículos que se acercan de la entrada anterior y los vehículos que se aproximan por alrededor de la rotonda; estos dos puntos mencionados y el lugar del conductor forman un triángulo llamado “el triángulo de visibilidad” (NCHRP, 2010, p. 6-63). Dicha figura sirve para que el conductor pueda prevenir cualquier conflicto vehicular que pueda suceder al momento de llegar a la intersección.

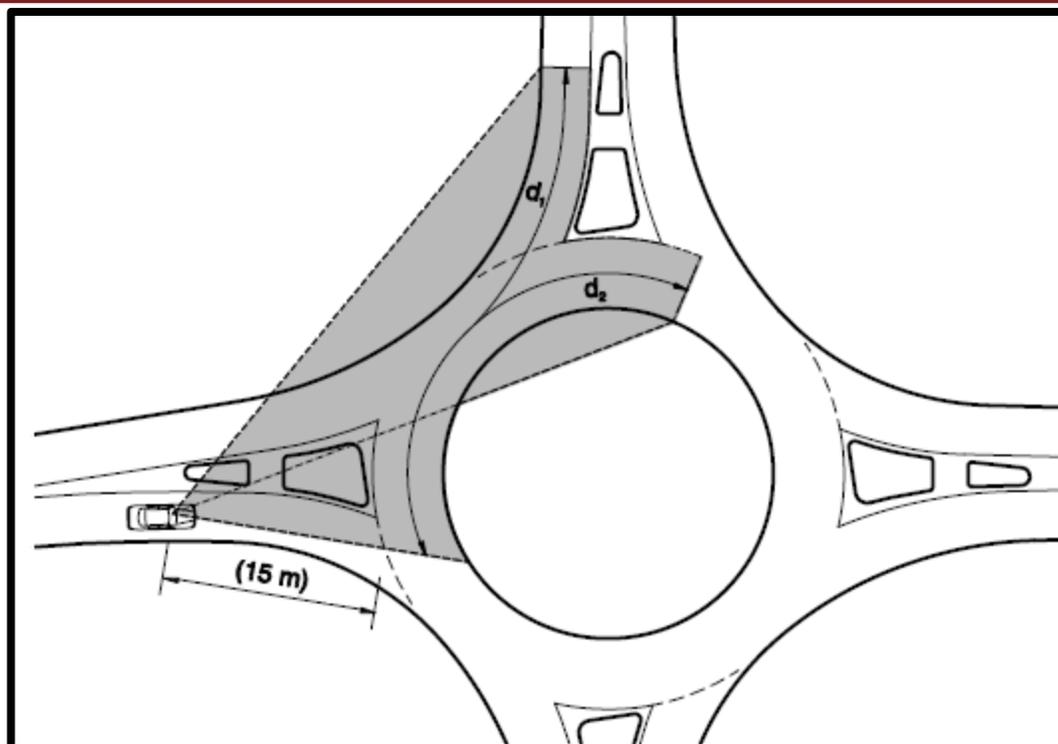


Gráfico N° 17

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Para que el triángulo de visión funcione de la mejor manera, la longitud desde el vehículo a la entrada del óvalo no debe exceder los 15 m., ya que el exceso de visión hace que los accidentes se incrementen; sabiendo esto, se pretende que los vehículos que ingresan reduzcan la velocidad y cedan el paso.

El ángulo de visibilidad entre dos vehículos que se aproximan al óvalo por dos ramales consecutivos no debe ser menor a 75° , ya que, de ser así, a aquel que está al lado derecho le va a ser muy difícil ver que otro vehículo también está ingresando al óvalo y tendría que sacar el cuerpo por la ventana o girar demasiado, perdiendo de vista el panorama frontal.

f. Detalles finales de diseño

Consideraciones de diseño para los peatones: El funcionamiento del óvalo no solo tiene que ver con que no haya congestión vehicular, sino que también que los peatones no se vean perjudicados al trasladarse a través o alrededor del óvalo.

- Veredas: Estas deben bordear exteriormente la calzada circulatoria²⁰, de esta manera se da más comodidad a los peatones, ya que en estos lugares podría haber bancas, áreas verdes y entretenimiento. Además, esto ayuda a que los peatones no puedan cruzar hacia la isla central y así guiar a las personas con discapacidad.

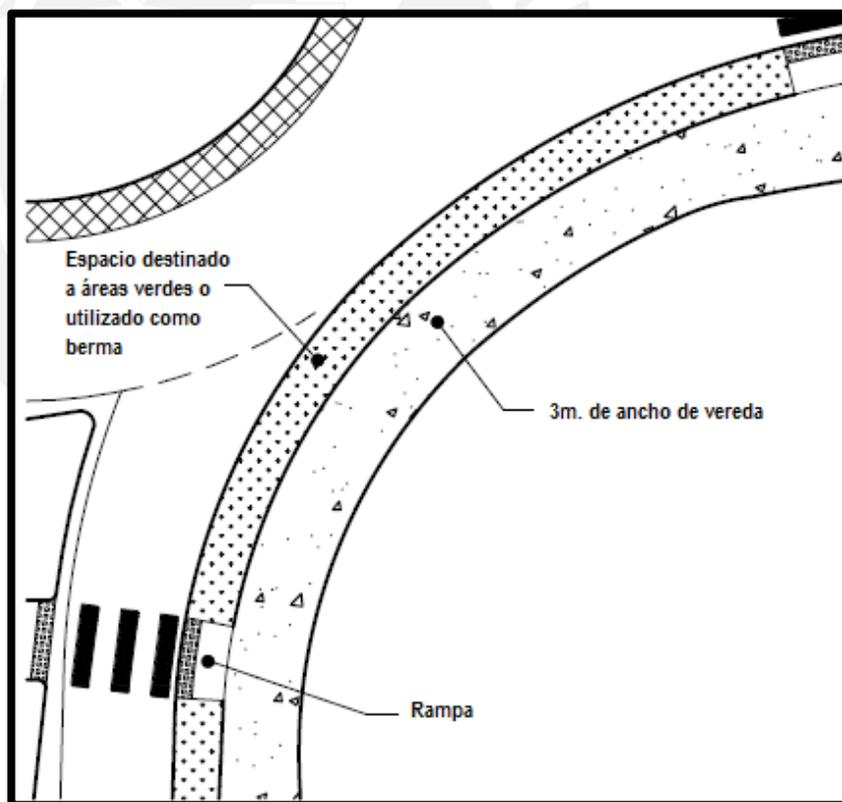


Gráfico N° 18

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

²⁰ Para el lado de las curvaturas de los ingresos y salidas de los ramales.

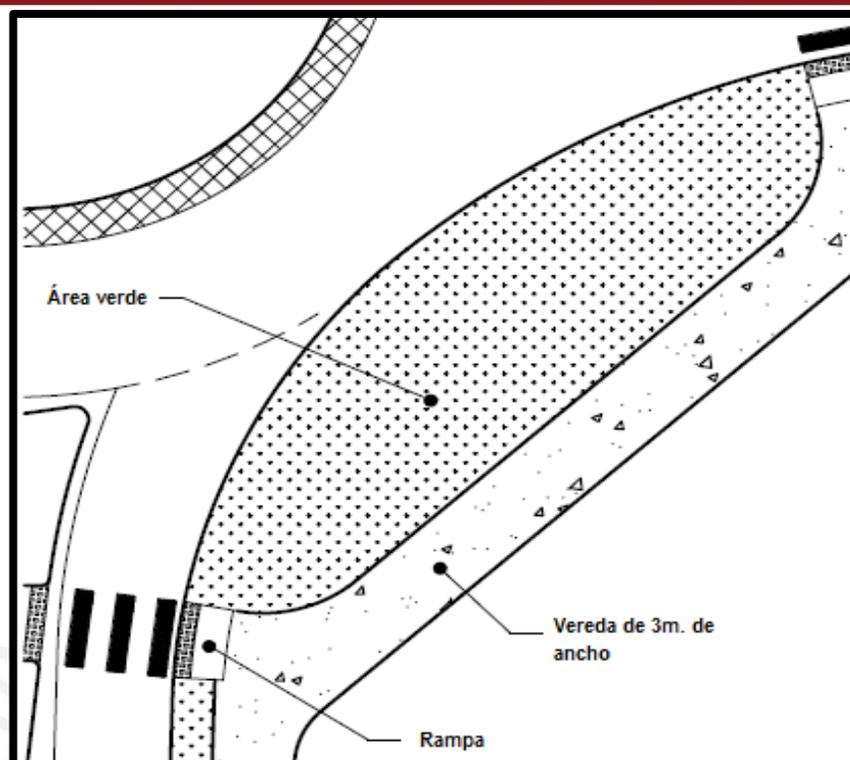


Gráfico N° 19

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

El ancho de vereda normalmente es 1.8 m., pero puede llegar a tener hasta 1.5 m. como mínimo, y si está junto a ciclovías, esta debe tener más de 3 m.

- **Cruceros peatonales:** En las islas separadoras, el ancho del cruceo peatonal debe ser mayor a 1.8 m. Dicho cruceo debería estar a no menos de 6 m. del borde de la calzada circulatoria, ya que en esa distancia puede entrar un vehículo. Los cruces peatonales deben ser perpendiculares a las veredas e isla divisorias, pues de esta manera se utiliza la ruta más corta. Si se genera una intersección muy angulada en la isla separadora por la unión de los cruceros peatonales, se debería optar por tomar el cruce de manera recta, de esta manera se ayuda a los discapacitados visuales a cruzar con mayor facilidad. Uno de los

cruces peatonales más seguros es el elevado, ya que hace que los vehículos reduzcan su velocidad, además las personas discapacitadas ya no tendrán que subir y bajar las rampas al momento de cruzar la calzada en ambos sentidos. Es importante mencionar que todo cruce peatonal debe estar debidamente señalizado para la prevención de los vehículos.

Consideraciones a tener en cuenta para la ubicación de los paraderos:

- Antes de la intersección: El paradero debe estar lo suficientemente pegado a la derecha para evitar problemas cuando otros vehículos deseen adelantar al que está parado. Para rotondas de un solo carril, es posible que el paradero se ubique en el cruce peatonal, ya que tiene visión total de todo el cruce, sin embargo, esto no aplica para rotondas de varios carriles, en este caso, los paraderos deben estar desde 15 m. antes del cruce peatonal.
- Después de la intersección: En este caso, el paradero debe estar después del cruce peatonal. Se pueden crear un espacio libre, muy aparte de los carriles, en la que los buses puedan detenerse, de esta manera se evitaría que las colas se prolonguen a la rotonda misma, aunque se puede generar un poco de congestión al salir de dicha retirada.

Consideraciones para entradas con altas velocidades: Esto normalmente se da en las zonas rurales, en la que el flujo vehicular no es muy alto y las velocidades altas.

A continuación se muestran las consideraciones a tener en cuenta para mejorar la seguridad de este tipo de óvalos.

- **Visibilidad:** Por lo general, la alineación geométrica de las entradas a la rotonda crece la visión del conductor al acercarse al óvalo. También se usan señales de tránsito para avisar que se acerca a dicha intersección.
- **Islas divisorias:** Se recomienda que estas se inicien 60 m. antes de llegar al óvalo.
- **Curvas de aproximación:** La geometría del óvalo tiene gran influencia en la reducción de velocidades, por lo tanto, también en la reducción de accidentes. Una manera de reducir las velocidades es colocando varias curvas antes de ingresar al óvalo, cada vez con radios menores conforme se va acercando a la intersección.

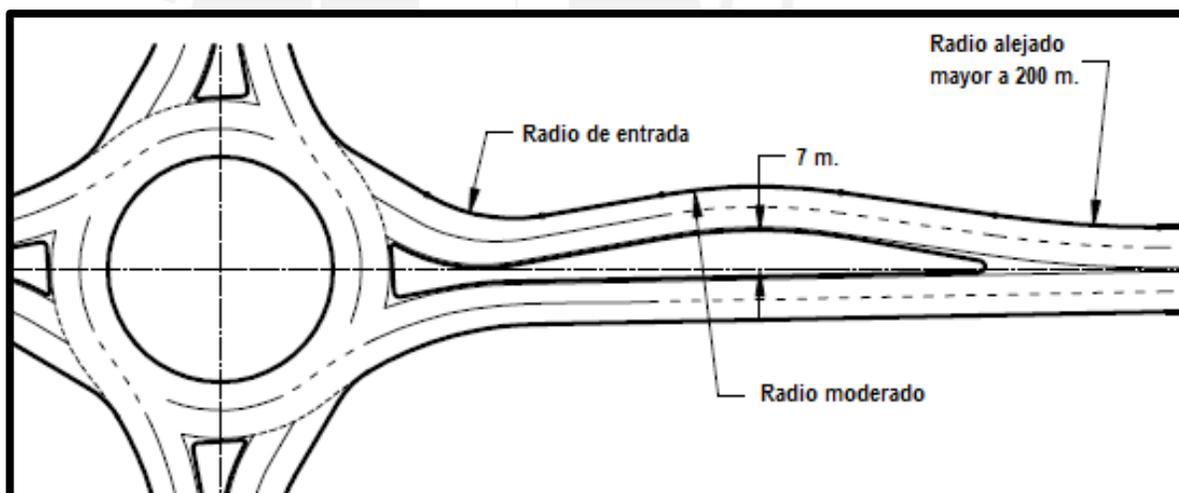


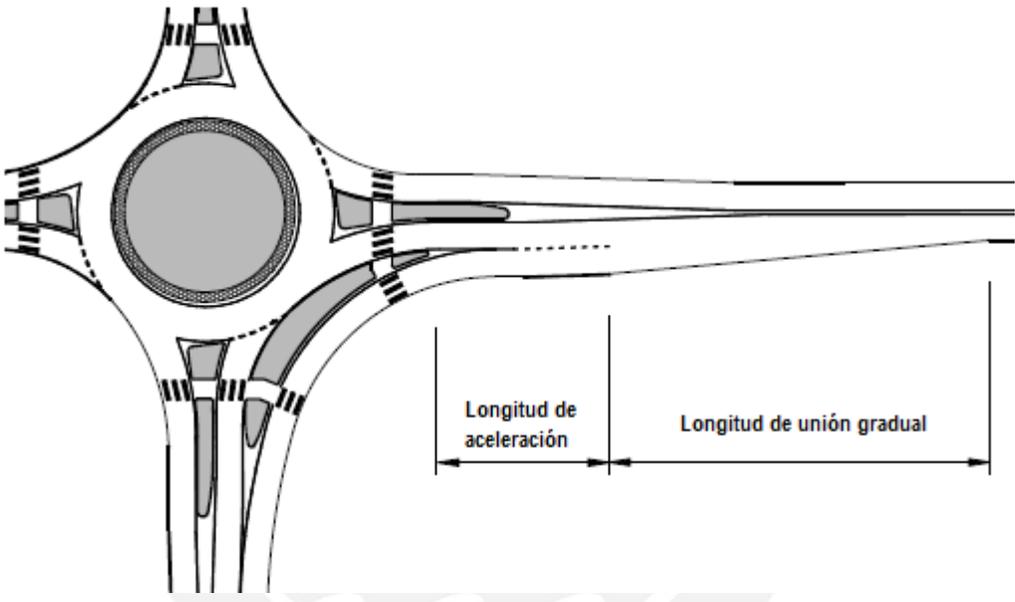
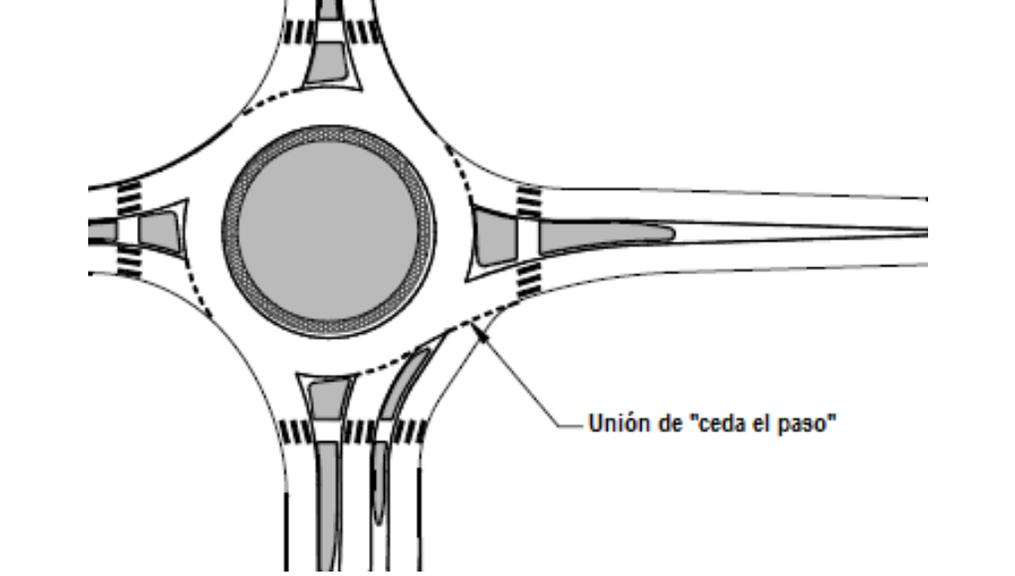
Gráfico N° 20

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Giros libres a la derecha: Cuando el flujo vehicular que desea girar hacia la derecha es alto, una buena solución es crear un carril exclusivo para dicho propósito. Otra causa por la que se opta por esto es que existe un alto flujo vehicular que circula alrededor del óvalo.

Hay dos opciones de solución, una es crear la vía libre con una salida paralela a la calzada con la que se unirá, pero tiende a que las velocidades de los vehículos no se reduzcan. La otra opción es que dicha vía tenga una salida que ceda el paso a los que salen por el ramal al que se unirá, pero es mejor cuando se tiene un alto flujo de peatones y ciclistas.

Tabla N° 9

	<p>Giro libre con unión gradual</p>
	<p>Giro libre con unión de "ceda el paso"</p>

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Consideraciones verticales:

Las calzadas alrededor del óvalo y en los ramales, ya sean salidas o entradas, deben tener una gradiente hacia afuera para que el agua superficial drene hacia los laterales. Dicha pendiente suele tener un 2%, pero se puede llegar hasta el 2.5% (The Highways Agency, 2007, p. 8/7). También es usado para evitar que los vehículos pesados puedan volcarse, ya que con velocidades considerables la parte trasera tiende a jalar al vehículo y con ello los accidentes.

Existen dos métodos principales para el diseño vertical de una rotonda de varios carriles (NCHRP, 2010, p. 6-84).

- **Inclinadas hacia afuera:** Es la más común, la calzada de circulación trabaja independientemente de las aproximaciones y admite pendientes entre 1.5% y 3%. Es mucho más aplicable en terrenos planos.
- **Vías circulatorias coronadas:** En esta, dos terceras partes del ancho de la calzada están inclinadas hacia la isla central, mientras que la otra tercera parte esta inclinada hacia afuera, aunque esta proporción puede ser igual (mitades de calzada). La pendiente máxima es de 2%.

5. PROBLEMÁTICA

a. Situación actual del óvalo:

El óvalo Naranjal actualmente atraviesa una crisis en su funcionamiento, sobre todo en las horas punta de las mañanas (entre las 6:30 am. hasta las 9 am.) y de las noches (entre las 6 pm. hasta las 9 pm.), y es que en estas horas es donde el tráfico se intensifica en gran dimensión. Estos intervalos de tiempo representan el congestionamiento vehicular en ambos sentidos de la avenida Panamericana Norte, es decir, en las mañanas se genera tráfico en la vía con sentido de Norte a Sur y por las noches en el sentido inverso; esto se debe a que, según lo consultado a los conductores y pasajeros, gran cantidad de pobladores de los distritos del Cono Norte (Puente Piedra, Los Olivos, Comas, Carabaylo, etc.) trabajan en lugares pasados al óvalo, ya sea el Centro de Lima o las zonas empresariales (San Isidro, Miraflores, San Borja, etc.) o inclusive en el propio Los Olivos. Mientras que en las horas mencionadas de la noche, los pobladores regresan a sus hogares de su lugar de trabajo. En el resto de horas el día, el óvalo trabaja con normalidad, ya que en esos momentos el flujo vehicular se reduce hasta un 50%. Sin embargo, este no es el único problema que presenta el óvalo, sino que también los que se mencionan a continuación:

Calzada mal señalizada: Casi todo el óvalo en general presenta una pésima señalización. Empezando por las aproximaciones, no tienen definidos la cantidad de carriles en la vía, esto genera confusión en el conductor, pues puede pensar que el ingreso al óvalo es con cuatro carriles, cuando inicialmente se había diseñado un ingreso con tres carriles. La calzada de circulación del óvalo también presenta el mismo problema, no se tiene claro cuántos carriles se posee, incluso cuando estos se intersectan con los ramales, no se tiene ningún tipo

de señalización en la forma en la que estos se juntarán. Se tiene entendido que en el óvalo se quiso dar una berma lateral a lo largo de todo el perímetro para ser utilizado como estacionamiento frente a cualquier problema o accidente vehicular que pueda ocurrir, sin embargo, esto solo se ve reflejado por tramos que inclusive tienen doble ancho y que para cualquiera genera confusión, normalmente los conductores no respetan este espacio y son usados para traspasar vehículos sobre todo en las horas punta para poder llegar más rápido al otro lado.



Gráfico N° 21

Fuente: Imagen propia



Gráfico N° 22

Fuente: Imagen propia

Tramos de la calzada circulatoria casi rectos: Como se ha venido explicando a lo largo de la teoría, lo que se busca principalmente en un óvalo es que este se atravesase sin mucha demora y con seguridad durante su trayecto. Sin embargo, actualmente el óvalo Naranjal busca que solo los vehículos de la avenida Panamericana Norte puedan cruzarlo en poco tiempo, ya que su camino es casi recto, tanto en el ingreso a la rotonda como en la salida, esto genera que los vehículos no disminuyan su velocidad en ningún momento, o en todo caso solo lo hacen de manera casi imperceptible. La relación entre los dos ejes es aproximadamente de 1 a 5 (1:5), quedando con menor dimensión la avenida Naranjal, y los vehículos que van en esa dirección no pueden cruzar el óvalo con facilidad debido a las altas velocidades en el sentido transversal, es decir, el problema ocurre dos veces, al ingresar y al salir de la intersección; de esta manera se generan largas colas que a la vez dificultan el tránsito del otro sentido

de la avenida Panamericana Norte, cuando esto no debería ocurrir sino que estos cruces se deberían acoplar casi con la misma velocidad.



Gráfico N° 23

Fuente: Imagen propia



Gráfico N° 24

Fuente: Google Maps

Paraderos mal ubicados: Este problema se presenta especialmente en la avenida Panamericana Norte. Los paraderos se encuentran mal ubicados para la demanda que se tiene, es decir, el paradero no tiene el espacio suficiente como para poder contener a todos los vehículos que se paran para dejar y recoger pasajeros, muchas veces los buses o combis tienen que coger un carril más para poder parar, lo que ocasiona embotellamiento para el flujo vehicular, pues se redujo el ancho de vía. También tiene que ver el tiempo de parada de los vehículos, ya sean taxis o el propio transporte público, los cuales muchas veces paran hasta 2 o 3 minutos, generando que los demás vehículos que se quieren detener tengan que optar por parar en un carril en el que la vía exige avanzar, y estos segundos de obstrucción del paso es perjudicial para una vía de la importancia de la Panamericana, así sea por unos pocos segundos.



Gráfico N° 25

Fuente:
Imagen
propia

“El Chino” dejando y recogiendo pasajeros en un carril que no pertenece al paradero

Pistas en mal estado: Por último, el problema, aparentemente, menos importante genera dificultad a los vehículos en el intento de atravesar el óvalo. Normalmente se producen grietas en la calzada, probablemente por la cantidad de vehículos pesados que pasan sobre ella, que luego se convertirán en huecos que se irán volviendo más grandes si es que no se repara. Esto ocasiona que los vehículos traten de evitarlos para no dañar su vehículo o porque simplemente no desean sentir movimientos bruscos, y al hacerlo cambian de carril aumentando el flujo en dicha vía. Prácticamente el carril que tiene la falla en el pavimento queda eliminado para ser transitado por unos metros, hasta que los vehículos puedan atravesarlo por los costados. Este es un problema que se da con frecuencia, lamentablemente las autoridades tardan en repararlo, y cuando lo hacen, lo reparan de forma precaria dado que después de unos meses la falla se volverá a dar.



Gráfico N° 26

Fuente: Google Maps



Gráfico N° 27

Fuente: Google Maps

En la actualidad, como se mencionó anteriormente, el tránsito para llegar al óvalo Naranjal es un caos, sobre todo las aproximaciones pertenecientes a la av. Panamericana Norte.

Haciendo un enfoque en la dirección de Norte a Sur que es la más crítica en las mañanas, se puede apreciar que las colas normalmente llegan hasta la av. Marañón; sin embargo, en las horas puntas (de 7 a 9 am.) las colas suelen llegar aproximadamente hasta un poco más allá de la calle Urubamba que, sacando distancias referenciales, equivale a más o menos 250 m. desde el ingreso al óvalo. Al formarse estas grandes colas, los vehículos que se vienen acercando tratan de tomar la vía auxiliar para poder ingresar nuevamente a la Panamericana y generar más congestión; otras veces, los conductores desesperados “crean un nuevo carril” al lado derecho de la vía principal para después volver a acoplarse.



Gráfico N° 28

Fuente: Elaboración propia

En la imagen se puede ver lo que se explicó en el párrafo anterior, los vehículos cogen la auxiliar para luego reingresar a la Panamericana, otras veces también transitan por la berma del lado derecho de la avenida en la que entran y salen continuamente debido a que hay anuncios u obstáculos del terreno.

Además, se ven las largas colas generadas por el tránsito en el óvalo, incluso no se puede lograr ver el último vehículo, pero por lo general se llega hasta donde indica la flecha de la siguiente imagen.

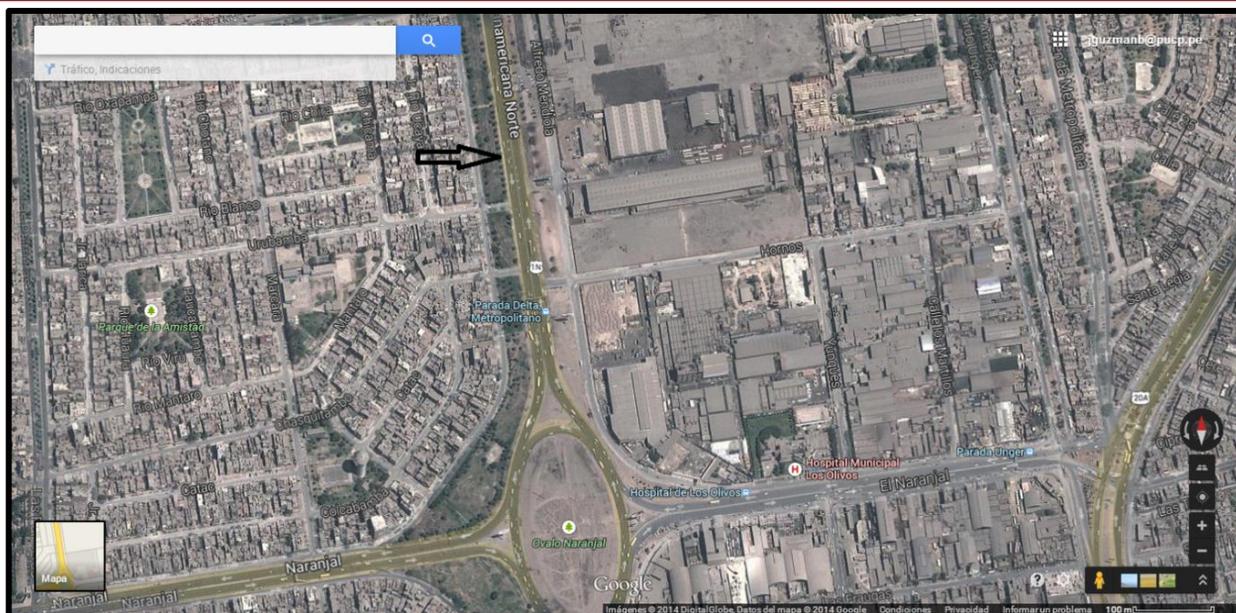


Gráfico 29

Fuente: Elaboración propia

En el otro sentido del tránsito (de Sur a Norte), el caos es similar o peor. Es normal que los conductores (aproximadamente de 6 a 10 pm.) tengan que esperar varios minutos para atravesar el óvalo. Las colas llegan, inclusive, hasta el puente del cruce con la avenida Izaguirre, o hasta el Centro Comercial Megaplaza en los peores casos.

Normalmente hay policías en el óvalo y en el cruce con la avenida Los Alisos, pero a pesar de su presencia, el tráfico no se ve aliviado que hasta algunas veces se les da el pase libre a los que transitan por la av. Los Alisos porque los vehículos de la Panamericana no avanzan ni un par de metros durante varios minutos.

b. Recopilación de información:

La toma de datos en un óvalo es bastante complicada, ya que se tiene que hacer seguimiento a cada vehículo que atraviesa la intersección, y en este caso es aún más debido a las grandes dimensiones.

Lo que se hizo en este caso fue de tomar los flujos vehiculares en cuatro tiempos con dos posiciones en cada uno. Con la ayuda de un par de cámaras filmadoras, se contaron los vehículos que ingresaban por las cuatro aproximaciones y las trayectorias que estos tomaban; para ello se colocó una cámara al ingreso del óvalo y otra unos metros antes de la salida en la misma dirección, de manera que se pueda visualizar si es que seguían en el mismo sentido o si es que giraban hacia la izquierda.



Gráfico N° 30

Fuente: Imagen propia



Gráfico N° 31

Fuente: Imagen propia

Y según el procedimiento indicado para la toma de flujos vehiculares, se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla N° 10

	DE TUPAC			DE UNIV			DE PRO			DE METRO		
	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA
AUTOS	62	152	45	26	72	30	87	646	14	56	470	23
MOTOS	2	7	0	0	2	0	3	14	0	0	11	0
BUSES	2	5	8	0	5	0	14	72	0	0	59	0
CAMIONES	7	16	10	2	9	2	6	30	1	5	79	2
TRAILERS	2	9	3	1	7	1	4	5	1	9	8	0
TOTAL	75	189	66	29	95	33	114	767	16	70	627	25
%VEH PES	14.67%	15.87%	31.82%	10.34%	22.11%	9.09%	21.05%	13.95%	12.50%	20.00%	23.29%	8.00%

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron los flujos vehiculares de las cuatro aproximaciones al óvalo en tiempo de 15 minutos, cada uno separado según el tipo de vehículo para poder calcular el porcentaje de vehículos pesados que serán utilizados en los softwares.

Los valores obtenidos son correspondientes en hora punta de la mañana, aproximadamente a las 7:30 am., sin embargo, como se mencionó, los flujos en ambos sentidos de la avenida Panamericana Norte varían según el horario, es por ello que se puede apreciar que el flujo vehicular proveniente “de Pro” es mayor al que viene “de Metro”.

Debido a esta diferencia de vehículos se tomaron flujos generales en el día y la noche, obteniendo los siguientes valores:

Tabla N° 11

DE PRO		DE METRO	
Total	Turno	Total	Turno
887	Día	719	Día
638	Noche	923	Noche

Fuente: Elaboración propia

Para la búsqueda de la mejor solución se tiene que utilizar el caso más crítico, por ello se procedió a hallar un factor “f” resultante de la división de la cantidad de vehículos que pasan en la noche entre los que pasan en el día como se muestra a continuación:

$$f = \frac{923}{719}$$

$$\Rightarrow f = 1.28$$

De manera general, se usó este factor para multiplicar cada valor del flujo en cada tipo de vehículo y obtener valores aproximados para el turno de la noche y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 12

	DE METRO		
	IZQ	FRENTE	DERECHA
AUTOS	72	604	30
MOTOS	0	15	0
BUSES	0	76	0
CAMIONES	7	102	3
TRAILERS	12	11	0
TOTAL	91	808	33

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los valores finales para el caso crítico, estos se deben multiplicar por 4, ya que estos fueron tomados para un tiempo de 15 minutos y lo que se requiere es que los flujos vehiculares sean utilizados para 1 hora. Finalmente, con dichos valores se obtuvo la siguiente tabla e imagen:

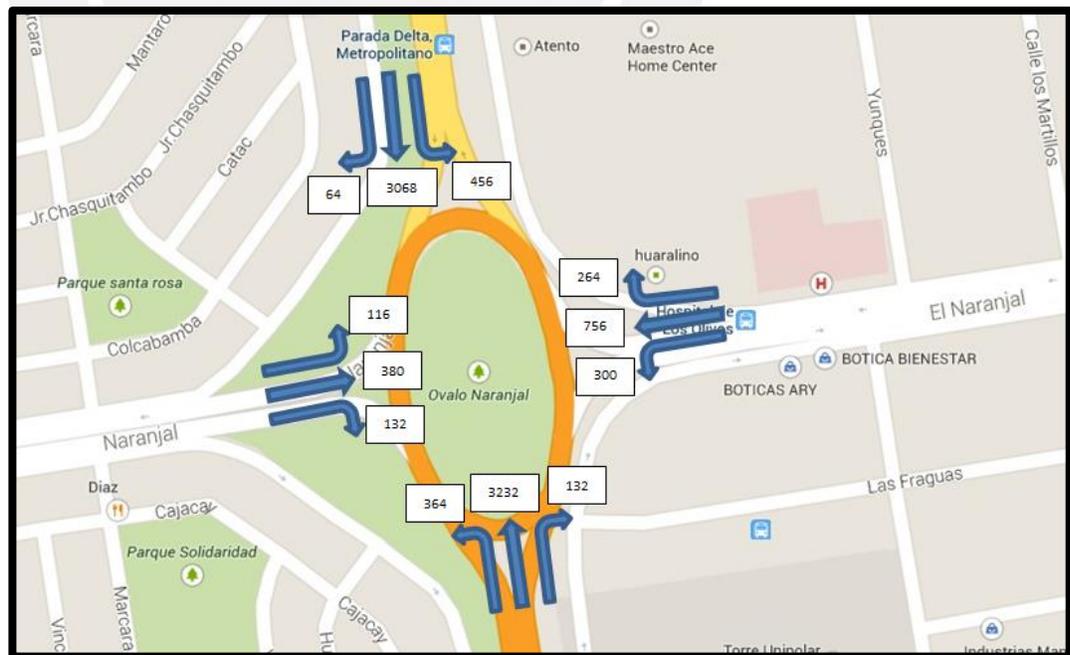


Gráfico N° 32

Fuente: Adaptación de Google Maps

Tabla N° 13

	DE TUPAC			DE UNIV			DE PRO			DE METRO		
	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA	IZQ	FRENTE	DERECHA
AUTOS	248	608	180	104	288	120	348	2584	56	288	2416	120
MOTOS	8	28	0	0	8	0	12	56	0	0	60	0
BUSES	8	20	32	0	20	0	56	288	0	0	304	0
CAMIONES	28	64	40	8	36	8	24	120	4	28	408	12
TRAILERS	8	36	12	4	28	4	16	20	4	48	44	0
TOTAL	300	756	264	116	380	132	456	3068	64	364	3232	132

Fuente: Elaboración propia

Con estos nuevos valores se pueden ver flujos globales más parecidos entre los provenientes de Pro y los de Metro.

Cabe mencionar, como se dijo en el Capítulo 5, que las colas formadas antes de cruzar el óvalo son de aproximadamente 250 m. y que el tiempo aproximado para cruzar la intersección²¹ va desde 7 a 10 minutos en las horas punta.

²¹ Dato obtenido por experiencia propia al transitar dicha zona casi a diario.

7. APLICACIÓN

En el presente capítulo se detallará los procesos a seguir para la obtención de un funcionamiento adecuado de la intersección. La aplicación de cada uno de los programas se presenta en cada uno de los casos a tomar en cuenta y se explican en el siguiente cuadro.

Tabla N° 14

APLICACIÓN	SOFTWARE	EXPLICACIÓN	ANÁLISIS
Nuevo diseño geométrico	Sidra Intersection 5.1	Se busca crear un nuevo diseño a partir de los datos recomendados en la teoría.	Niveles de servicio en cada entrada.
Cambio de tipo de intersección	Synchro 8	Se hace el cambio de intersección a una tipo cruz y se prueba con varias opciones de diseño.	Niveles de servicio en cada entrada.
Micro-simulación	PTV Vissim 6.0	Se continúa usando la intersección tipo cruz y se prueba con varias opciones de diseño.	El comportamiento de los vehículos y el funcionamiento de la intersección a través de varias iteraciones.

Fuente: Elaboración propia

a. **Adaptación de nuevo diseño geométrico:**

Siguiendo la teoría explicada anteriormente, se tienen rangos de valores aplicables para cada detalle en la geometría del óvalo. Se tomaron los valores promedios de dichos rangos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 15

CIRCUNFERENCIA INSCRITA	100	m.
ANCHO DE ENTRADA	4.1	m.
ANCHO DE CALZADA CIRCULATORIA	4.6	m.
RADIOS DE ENTRADA	68	m.
VELOCIDAD PROMEDIO	45	km/hr
ANGULO DE ENTRADA	30	°
LONGITUD PROMEDIO DE VEHÍCULO PESADO	14.3	m.
LONGITUD DE VEHÍCULO LIGERO	5.8	m.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la longitud del vehículo ligero y el promedio de los vehículos pesados, se tomó como referencia las longitudes que muestra la AASHTO para cada tipo. En la siguiente tabla se muestra la longitud promedio para los vehículos pesados.

Tabla N° 16

	CANTIDAD	LONG AASHTO	TOTAL
BUSES	728	12.2	8881.6
CAMIONES	780	13.87	10818.6
TRAILERS	224	22.41	5019.8
	1732		24720.0
		LONG PROM (m.)	14.3

Fuente: Elaboración propia

Primero, se sumaron los flujos vehiculares totales de cada tipo, ya sea bus, camión o tráiler. Al lado se colocó la longitud indicada por la AASHTO y luego se multiplicó la cantidad de cada tipo de vehículo con su respectiva longitud. Se sumaron los vehículos en general y también los valores de la multiplicación. Por último, la división de estos dos valores dio como resultado la longitud promedio de los vehículos pesados.

Con los valores mostrados en la primera tabla, se procede a utilizar el programa Sidra Intersection 5.1 ingresándolos en su respectiva casilla. Dado que los flujos son utilizados para una hora de tránsito en un tiempo crítico (horas punta), se utiliza esa opción representada en la siguiente figura.

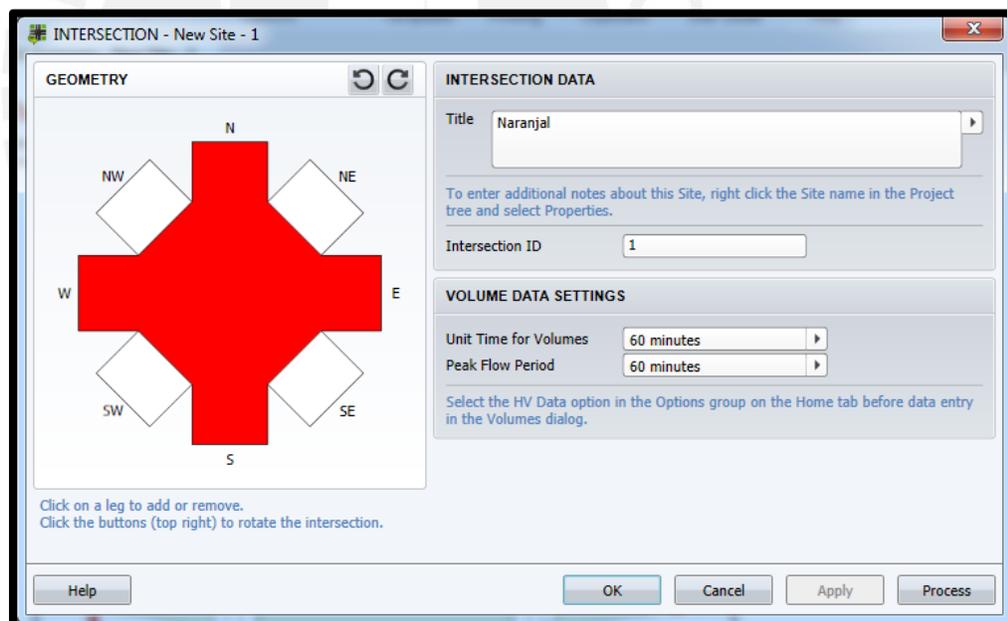


Gráfico N° 33

Fuente: Sidra Intersection 5.1

Aparte de los valores dados en la tabla, se tienen las siguientes consideraciones:

- Con el fin de aliviar el tráfico para los vehículos que giran hacia la derecha, se le generó un carril con giro libre, además que se puede aprovechar el gran espacio que la ubicación del óvalo ofrece, dándoseles una longitud de almacenamiento de 80m.
- Como se va a tratar de diseñar con 3 carriles, el ancho de calzada circulatoria es 3 veces el de cada carril, dando como resultado 13.8 m.
- El factor de ambiente, como el mismo programa lo dice, no afecta a las estimaciones de capacidad del óvalo según la HCM 2010, por lo tanto solo se colocará 1.
- El grado de saturación es otro valor por defecto dado por la HCM, el cual es 1900 veh/hr.
- No se considera ningún porcentaje de inclinación en las vías, sino que se toma como si todo estuviera en una zona plana.
- Se considera una mediana de 1m. entre los carriles, aunque este valor no afecta en los resultados.

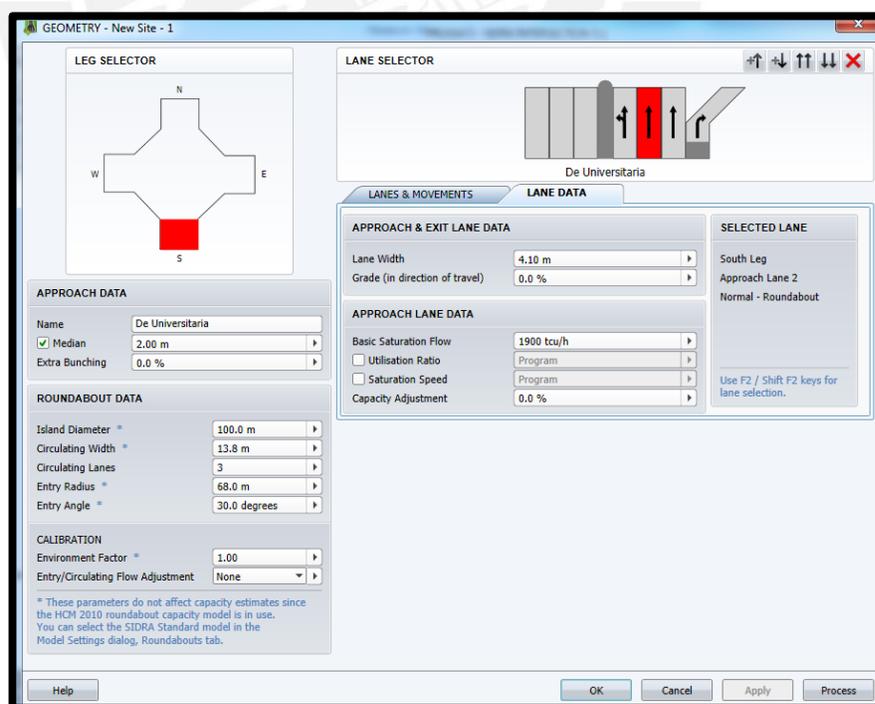


Gráfico N° 34

Fuente: Sidra Intersection 5.1

- El programa permite que, a la hora de colocar los flujos vehiculares en cada aproximación, se pueda diferenciar entre los vehículos pesados y los ligeros.
- El valor del factor de la hora pico (92%) se mantiene también por recomendación de la HCM.
- También se colocan las dimensiones de los vehículos calculados y se asume 1 m. como distancia de separación entre los vehículos.
- No se considera flujos peatonales ya que se seguirá considerando que ellos cruzarán las vías mediante los puentes peatonales existentes.

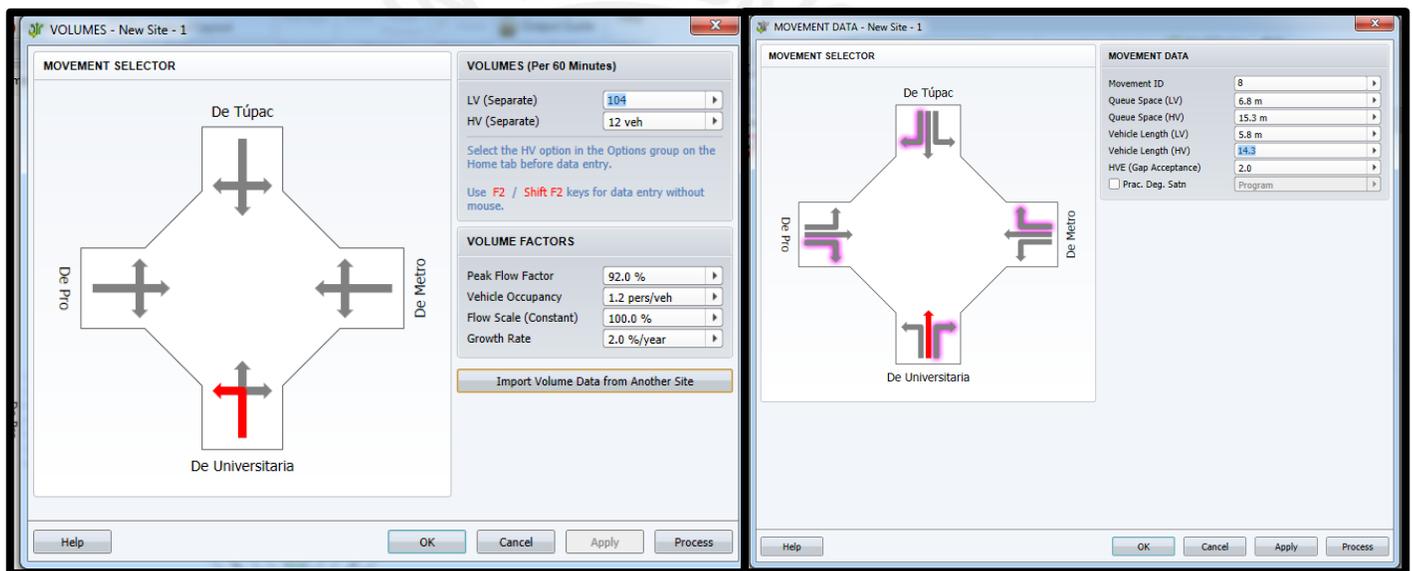


Gráfico N° 35 y 36

Fuente: Sidra Intersection 5.1

Una vez colocados todos los datos necesarios, se procede a correr el programa y analizar los niveles de servicio del diseño planteado.

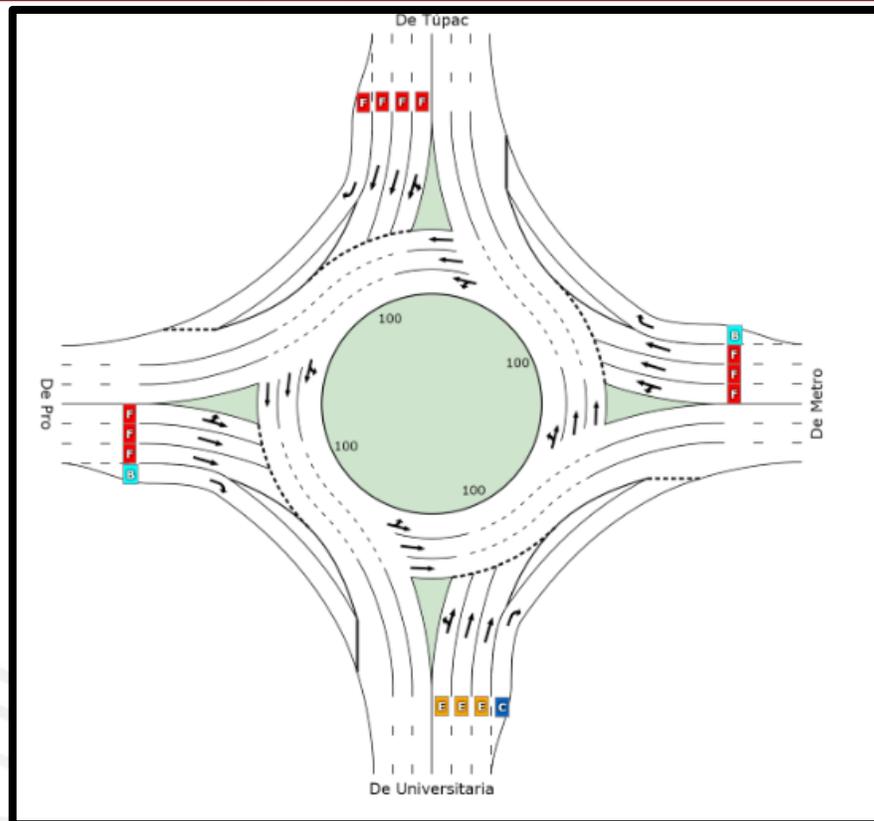


Gráfico N° 37

Fuente: Sidra Intersection 5.1

Se aprecia que todas las aproximaciones en general tienen niveles de servicio bajísimos (F y E), a excepción de las vías de giro libre hacia la derecha que tienen buena calificación por parte del programa, menos la vía procedente de Túpac.

Como bien se sabe, los óvalos son utilizados en las intersecciones cuando se tienen giros representativos, sobre todo los giros a la izquierda que son los que más tráfico generan. El hecho de que los giros no sean representativos influye en el funcionamiento del óvalo y da la opción de que se pueda diseñar como si fuera una intersección semaforizada. Se tiene que los giros a la izquierda con respecto a la cantidad de vehículos que pasan por las entradas de las aproximaciones son los siguientes:

- De Túpac: **23%** (representativo)
- De Universitaria: **18%** (representativo)
- De Pro: **13%** (poco representativo)
- De Metro: **10%** (poco representativo)

Además se observa que los mayores porcentajes de giros se dan de la Avenida Naranjal, que en el papel (según los flujos) es la menos importante. En la actualidad, para que los vehículos puedan girar tienen que esperar en el mismo óvalo en el tramo corto de la calzada circulatoria, haciendo que se generen largas colas que evitan que los vehículos que llegan transversalmente se puedan desplazar con normalidad. Esto da idea que se puede colocar un tiempo de verde con giros a la izquierda en la avenida Naranjal ante una probable semaforización de la intersección.

b. Cambio de tipo de intersección:

Dadas las circunstancias (lo expuesto en los párrafos anteriores), es una buena idea usar un programa para calcular el ciclo óptimo con los tiempo de semáforo que se utilizará en la intersección.

Se usarán algunos de los datos dados para el nuevo diseño del óvalo como los anchos de entrada y las velocidades de aproximación, además de otros que son utilizados por defecto.

Tabla N° 17

ANCHO DE ENTRADA	4.1	m.
VELOCIDAD PROMEDIO	45	km/hr
FLUJO DE SATURACION	1900	%
FACTOR DE HORA PICO	0.92	---
PENDIENTE	0	%
TIEMPO DE AMBAR	3.5	seg
TIEMPO DE TODO ROJO	0.5	seg

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma que se hizo para la simulación anterior, aquí se dejarán de lado los flujos peatonales y también los ciclistas. Se mantendrá la utilización de puentes para peatones.

Se barajaron varias opciones que se mostrarán a continuación:

- **Intersección simple:** Se utilizará 3 carriles en cada sentido que permiten giros a la izquierda y derecha, pero sin ninguna preferencia, es decir, sin ningún ciclo más en el semáforo ni una vía extra para este propósito.

Se colocaron los datos iniciales y los flujos vehiculares con sus respectivos porcentajes de vehículos pesados en cada vía.

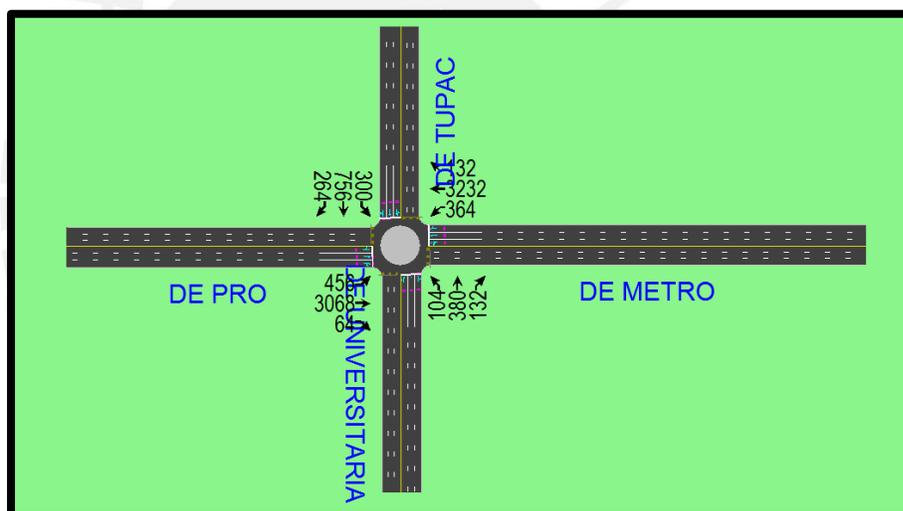


Gráfico N° 38

Fuente: Synchro 8

Se obtuvieron los siguientes tiempos de verde en para cada avenida:



Gráfico N° 39 y 40

Fuente: Synchro 8

Los tiempos obtenidos son relativamente adecuados para la cantidad de vehículos que atraviesan la intersección en cada sentido, pero los giros generan retraso y largas colas para poder llegar a su destino. Por ello, no se obtuvieron los niveles de servicio que se deseaba, en 3 casos se obtuvieron “F” y solo en la vía proveniente de la Universitaria obtuvo “D”.

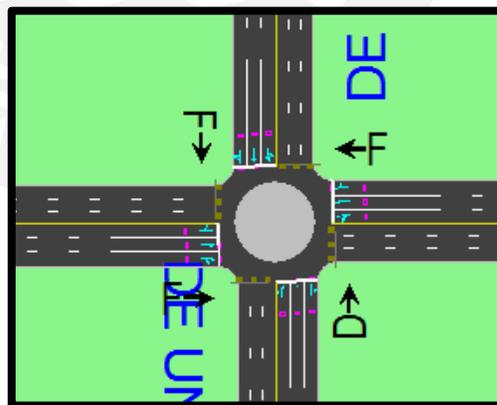


Gráfico N° 41

Fuente: Synchro 8

- **Intersección con 3 ciclos de semáforo:** Se siguen cumpliendo con los datos iniciales, los tiempos de rojo y ámbar se mantienen al igual que los anchos y velocidades.

La diferencia con el anterior es que a este se le agrega un ciclo más para los giros hacia la izquierda en la avenida Panamericana Norte y que para ello se agrega un espacio de almacenamiento con una longitud de 40 m. para que los vehículos que deseen girar esperen en dicha zona hasta que el semáforo se los permita.

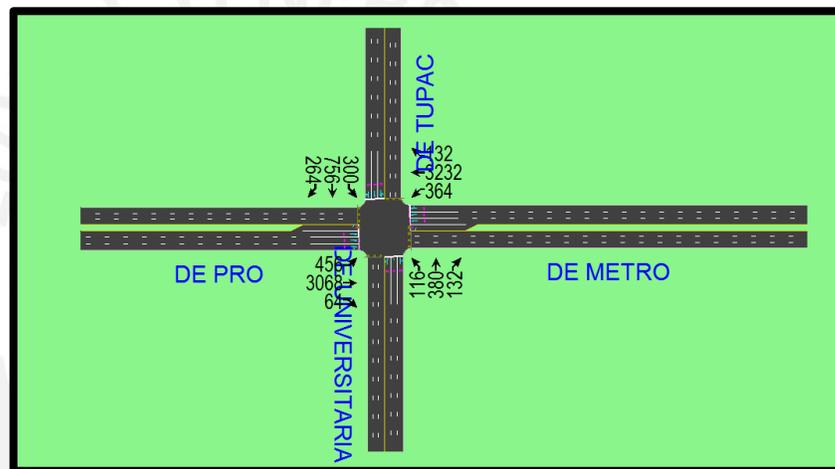


Gráfico N° 42

Fuente: Synchro 8

De esta manera se obtienen los tiempos de semáforo para los 3 ciclos.

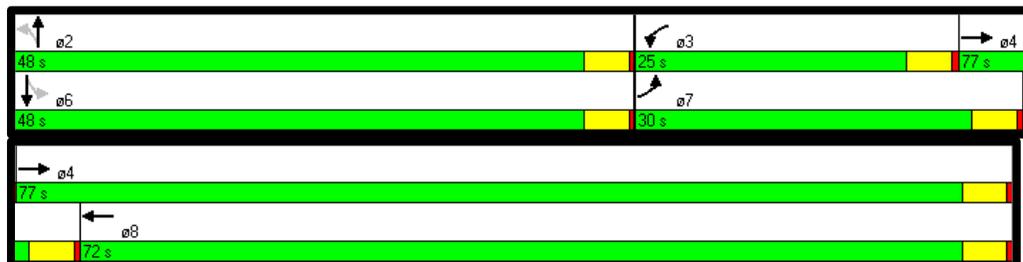


Gráfico N° 43 y 44

Fuente: Synchro 8

Se vuelve a dar el caso de que se da más tiempo en el ciclo para la avenida Panamericana, además de darle un pequeño ciclo para poder girar. Para este último caso, se tienen dos tiempos de verde distinto para cada sentido debido a que los flujos de giros son también distintos.

En los niveles de servicio se puede apreciar que incluso el carril para giros a la izquierda tiene “F”, dando como fracaso el intento de semaforización con 3 ciclos.

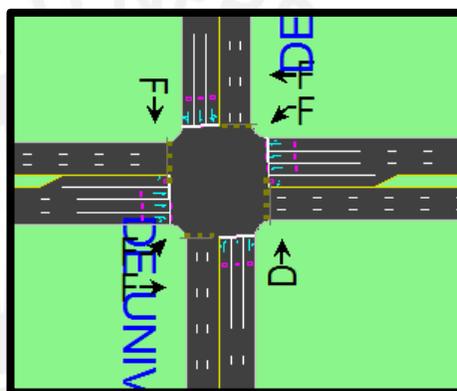


Gráfico N° 45

Fuente: Synchro 8

- **Intersección con 3 ciclos de semáforo y giros libre a la derecha:**
Esta es una variante de la opción anterior, la diferencia es que ahora se da la posibilidad a que los vehículos puedan girar a la derecha sin necesidad de llegar hasta el semáforo. Se obtuvieron los siguientes tiempos de cada ciclo y los niveles de servicio que lamentablemente resultan negativos a la expectativa.

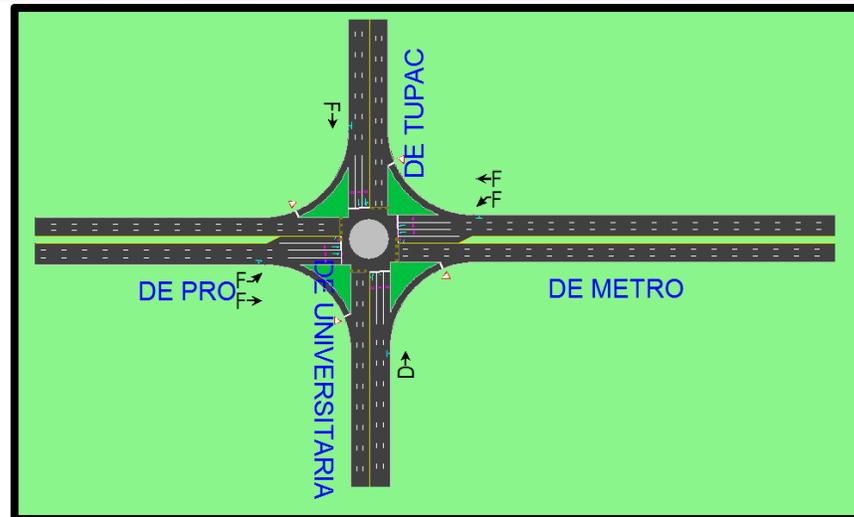


Gráfico N° 46

Fuente: Synchro 8

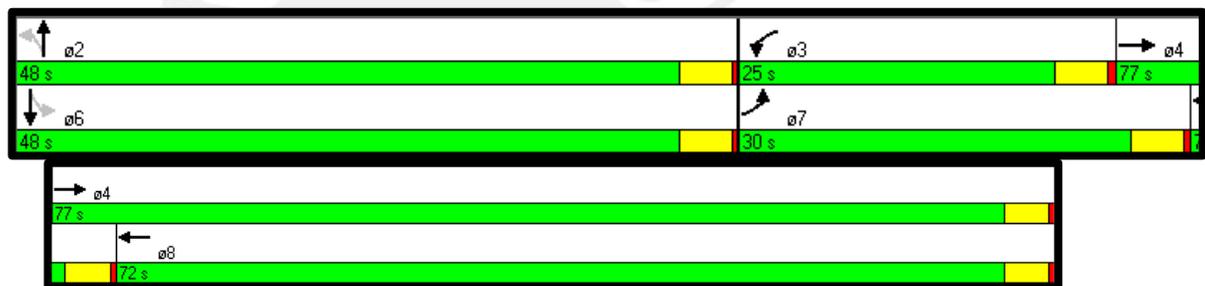


Gráfico N° 47 y 48

Fuente: Synchro 8

- **Intersección con 2 ciclos de semáforo y restricción de giro a la izquierda:** Debido a que la mayoría de variantes da como resultados niveles de servicios no aprobatorios, se opta por anular los giros a la izquierda y los que lo hacían anteriormente tendrán que cruzar de frente y luego girar en U para poder completar su trayectoria.

En la avenida principal, Panamericana Norte, no se tienen flujos vehiculares altos para vehículos pesados que quieran girar hacia la izquierda, por lo que al desviarlos a la derecha no generaría caos. Al momento que estos vehículos necesiten dar vuelta en U, se necesita

un radio mínimo de giro de 13.7 m. para el vehículo más grande y largo (Dirección General de Caminos, 2001, p. 41), espacio que existe en la avenida Naranjal y que puede ser aprovechado para tal propósito. Además, los flujos vehiculares de esta vía en ambos sentidos son bajos y no afectarían la continuidad del tránsito.

El cuadro que inicialmente se tenía con los flujos vehiculares se verá afectado y da como resultado la siguiente tabla:

Tabla N° 18

	DE TUPAC		DE UNIV		DE PRO		DE METRO	
	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA
AUTOS	1144	180	740	120	2584	404	2416	408
MOTOS	36	0	20	0	56	12	60	0
BUSES	28	32	76	0	288	56	304	0
CAMIONES	120	40	68	8	120	28	408	40
TRAILERS	92	12	48	4	20	20	44	48
TOTAL	1420	264	952	132	3068	520	3232	496
%VEH PES	16.90%	31.82%	20.17%	9.09%	13.95%	20.00%	23.39%	17.74%

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos estos nuevos valores de las cantidades de vehículos, se procede a introducirlos al software y obtener los tiempos de los ciclos de semáforo en cada dirección.

Con estos tiempos, el nivel de servicio de los ramales se vio afectado con mejoras, tal vez no en gran magnitud para las de la Av. Panamericana Norte, pero para los de la Av. Naranjal se ve cierta mejora que hasta es aceptable en la dirección procedente de la Av. Universitaria, pues esta obtiene un nivel de servicio de D, que por lo general es el objetivo para intersecciones muy conflictivas y críticas.



Gráfico N° 49 y 50

Fuente: Synchro 8

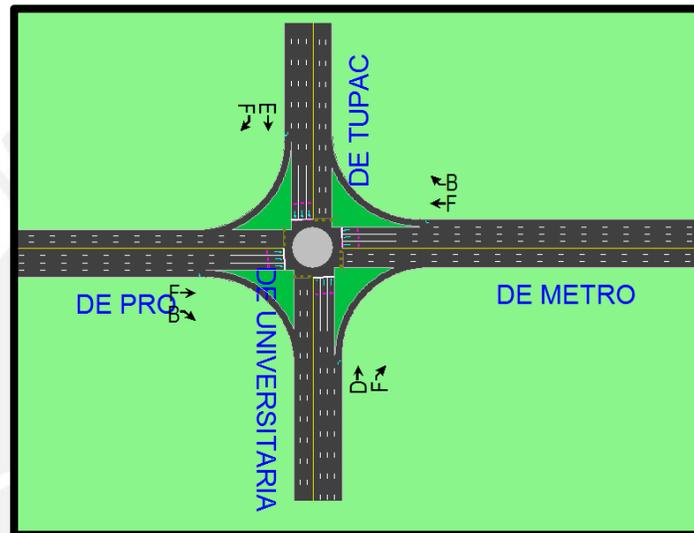


Gráfico N° 51

Fuente: Synchro 8

c. Micro-simulación:

En vista de que al usar softwares determinísticos no se obtiene ningún resultado favorable para la intersección, a pesar de que esta se cambió por una simple (con semáforo), se procede a usar uno que consiga resultados más reales y que se pueda ir analizando paso por paso.

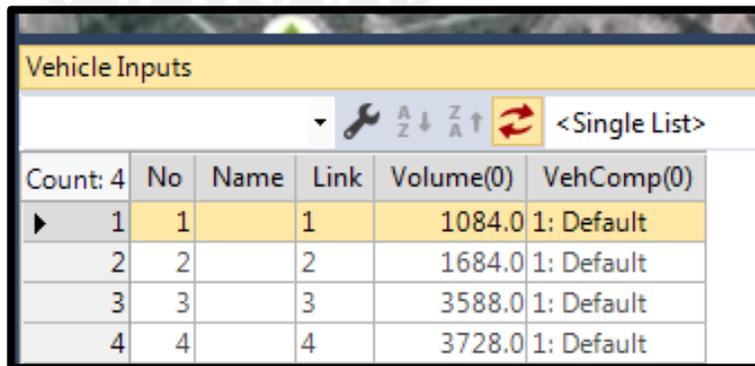
Para ello se hará uso del programa PTV Vissim 6.0, el cual está basado en la micro-simulación, es decir, dará una idea de cómo se comportarán los vehículos antes, durante y después de cruzar la

intersección. Además, en esta se puede analizar a más detalle todo lo que se requiere para llegar a obtener un resultado que mejore el funcionamiento del cruce de las avenidas Naranjal y Panamericana Norte.

Como se mencionó anteriormente, se pueden analizar distintos casos en distintas pruebas, de modo que en cada una que se haga se obtengan ciertos resultados que se tendrán en cuenta para la siguiente. Por ello, se hizo varias simulaciones que se detallarán más adelante.

Antes de pasar con las pruebas, se debe tener en cuenta a los datos obtenidos en campo de la intersección, los cuales fueron ingresados al programa. En el caso de los tiempos de semáforo, se llegó a este ciclo después de varios intentos simples, de tal forma que se obtenga uno que dé mejores resultados. De este modo, el tiempo del ciclo de semáforo resultó de 80 segundos, considerando 1 segundo de rojo para ambos sentidos a la vez, 3 segundos de ámbar y 52 segundos de verde para la avenida Panamericana Norte.

- Flujo Vehicular



Vehicle Inputs					
Count: 4	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
▶ 1	1		1	1084.0	1: Default
2	2		2	1684.0	1: Default
3	3		3	3588.0	1: Default
4	4		4	3728.0	1: Default

Gráfico N° 52

Fuente: PTV Vissim 6

- Giros a la derecha en porcentajes

Tabla N° 19

	DE TUPAC		DE UNIV		DE PRO		DE METRO	
	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA	FRENTE	DERECHA
TOTAL	1420	264	952	132	3068	520	3232	496
% GIROS	84.32%	15.68%	87.82%	12.18%	85.51%	14.49%	86.70%	13.30%

Fuente: Elaboración propia

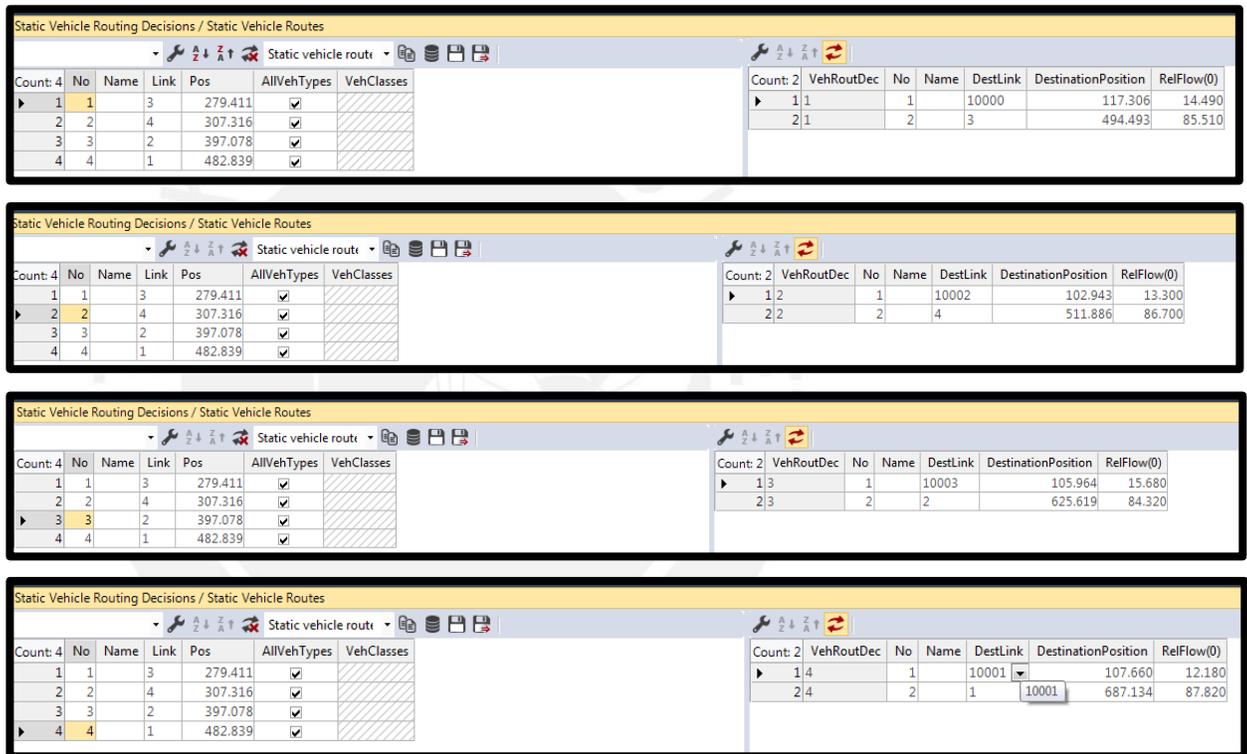


Gráfico N° 53, 54, 55 y 56

Fuente: PTV Vissim 6

- **Prueba 1:**

Esta es la más simple, pues se consideraron la mayoría de parámetros de las aproximaciones que se tiene en la actualidad (3 carriles en ambos sentidos para las 2 avenidas de 3.5 metros cada una). Los vehículos que atraviesan la intersección van con una velocidad promedio de 50 km/h, indiferentemente del tipo que puedan ser (autos, buses, camiones, etc.).

También se consideró el giro libre hacia la derecha, es decir, que no requiere de ningún regulador (semáforo) para poder ir en esa dirección. Además, los vehículos que anteriormente giraban hacia la izquierda, ahora necesariamente tendrían que doblar hacia la derecha (en la avenida perpendicular) para luego girar en “U” y lograr ingresar al destino deseado. Por ejemplo, si una combi se aproxima por la avenida Panamericana Norte de Norte a Sur (hacia Metro) y quiere dirigirse hacia la Túpac Amaru, entonces primero deberá girar hacia la derecha por la avenida Naranjal en dirección a la Universitaria, luego tendrá que girar en U y cambiar de sentido, por último tendrá que seguir de frente para llegar al destino.

Se suprimió los giros a la izquierda porque la avenida Panamericana Norte es muy transitada, y el solo hecho de destinar un carril para este propósito, haría que el tránsito se vea afectado y sin fluidez. A pesar de que se podría agregar un carril más especialmente para los giros, por la cantidad y el tamaño de vehículos que desean girar, las vías se verían obstruidas; por ello, solo se optó por enviar a los vehículos por la derecha y permitir los 3 carriles para aquellos que van de frente.

En cuanto a los giros a la derecha, se debe tener en cuenta las preferencias de paso, por lo que se coloca una señal de “ceder el

paso” en la intersección de la vía libre con aquella a la que se unirá. Por ejemplo, tiene preferencia el vehículo que viene de la avenida Túpac hacia la Universitaria y cruza la intersección sobre aquel que se aproxima de la Panamericana Norte y gira hacia la derecha y se une a la avenida Naranjal; al llegar a la unión de ambas vías, este debe esperar a que el vehículo que viene de la Túpac Amaru pase.

Por último, se consideró que los peatones cruzan las vías mediante puentes peatonales y no a través de cruceros tipo cebra (los normalmente usados). De esta forma, los peatones no generan demoras para los vehículos que desean cruzar, sobre todo a los que tienen la vía libre (aquellos que giran a la derecha). Además, el programa no permite simular este tipo de aspectos, sino que requiere de otro con el cual se obtenga un informe más detallado del comportamiento de ellos y lo que genera. Más, adelante se utilizarán artificios para tratar de simular a los peatones que cruzan las vías, pero que sin embargo no afectan el paso de los vehículos.

Una vez dadas estas consideraciones, se procede a simular dicha intersección con el software mencionado, se compara con la situación actual y se obtienen los siguientes resultados:

- Se obtuvo la siguiente captura de imagen correspondiente al video producto de la simulación. En ella se aprecia el último segundo de tiempo de rojo del ciclo de semáforo para la avenida Panamericana Norte.

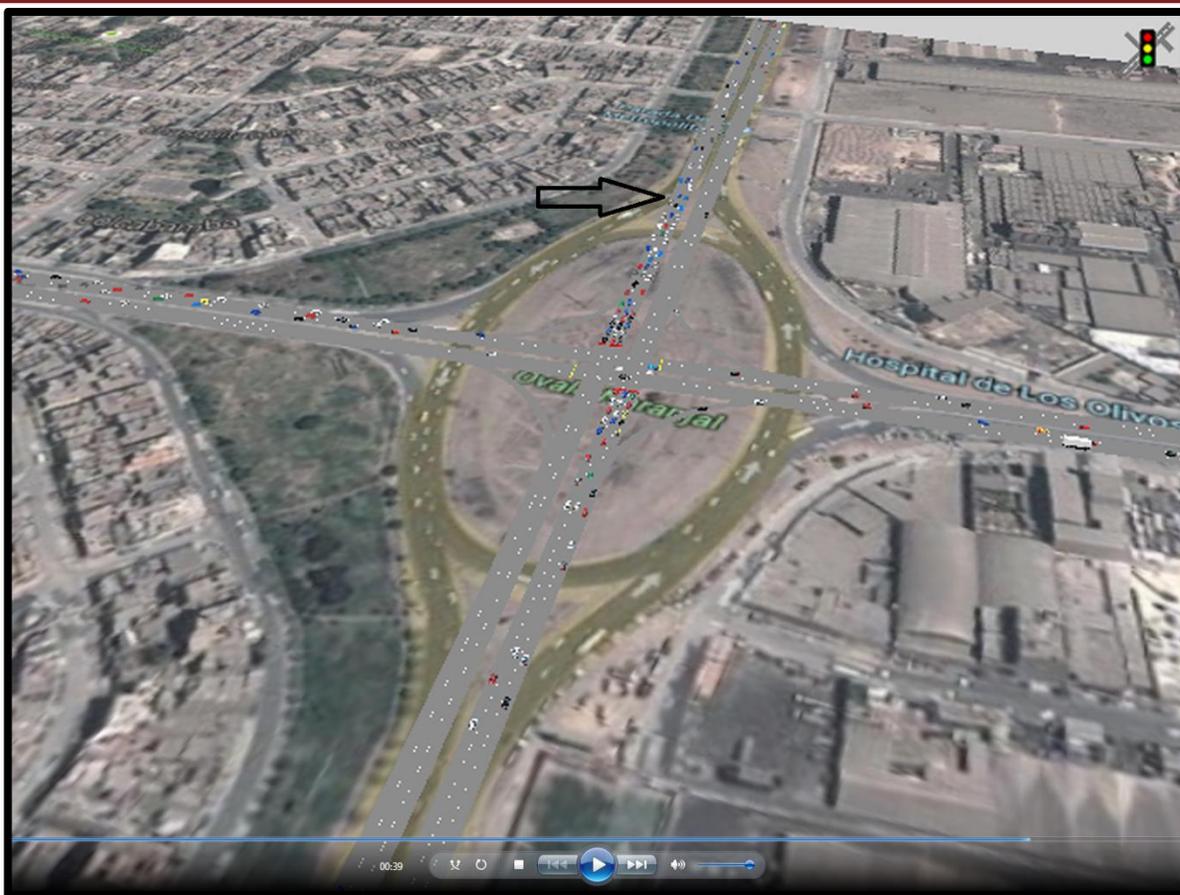


Gráfico N° 58

Fuente: PTV Vissim 6

La flecha indica hasta donde llega la cola de vehículos generado por la espera del cambio de luz del semáforo.

Aplicando una escala simple con la ayuda de Google Maps, se puede obtener un aproximado de 120 metros de longitud hasta el lugar indicado por la flecha. Comparada con la situación actual, se tiene una mejora de hasta el 100% con la reducción de las colas para pasar la intersección.

- Otro aspecto que se puede apreciar es que todos los vehículos logran pasar la intersección con el tiempo de semáforo que se tiene, es decir, el último vehículo de la cola generada por la luz

roja, logra cruzar sin necesidad de esperar en 2 o más ciclos. En las siguientes imágenes se demuestra lo que se acaba de explicar.

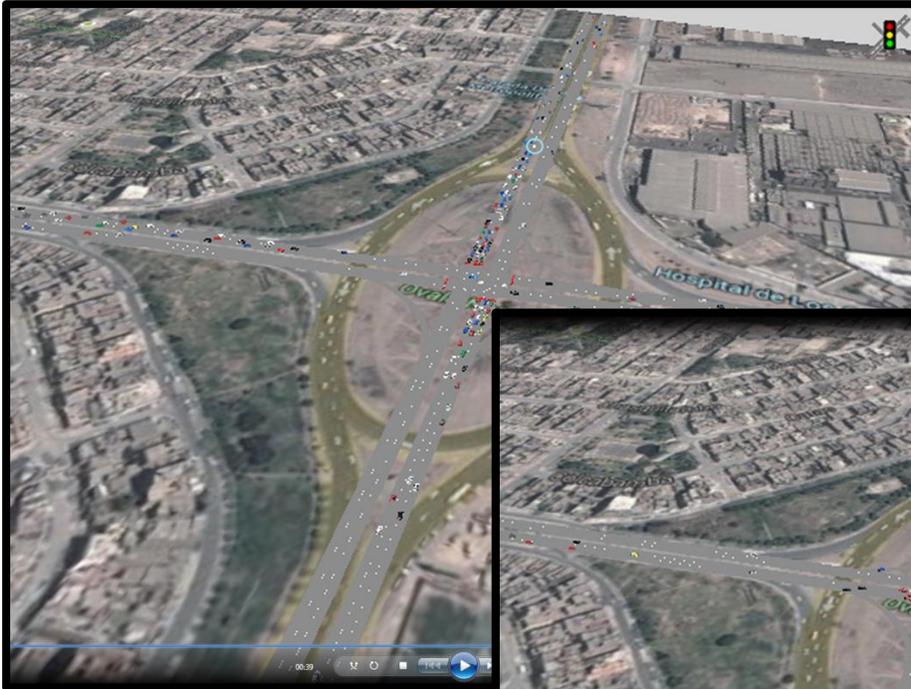
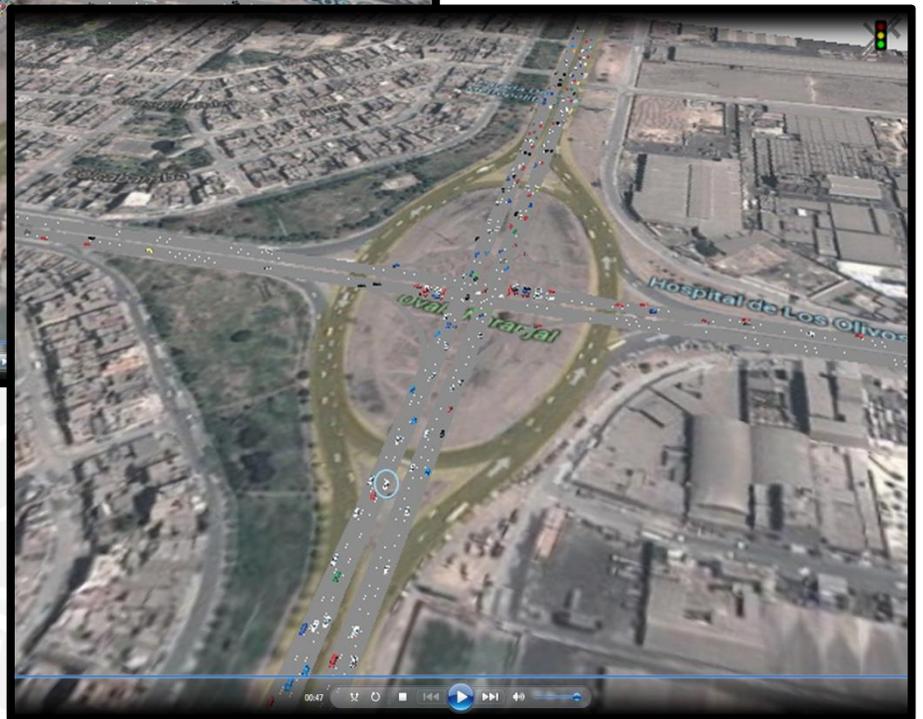


Gráfico N° 59
Fuente: PTV Vissim
6

Gráfico N° 60
Fuente: PTV
Vissim 6



En la imagen incluso se puede apreciar que el tiempo de verde favorable a la avenida Panamericana Norte no ha terminado, dejando que los vehículos que no estuvieron en cola y que venían de lugares anteriores puedan cruzar la intersección sin la necesidad de detenerse. Esto permite mayor fluidez en el tránsito para dicha avenida que es la principal.

Lo mismo ocurre con las otras aproximaciones, con las de la avenida Naranjal y la dirección de Sur a Norte de la Panamericana; los vehículos que transitan por estas no se ven afectados por el tiempo de semáforo empleado.

- En las imágenes mostradas anteriormente se puede ver que todas las aproximaciones tienen giros libres hacia la derecha, esto se asemeja al funcionamiento de un óvalo, ya que los vehículos no necesitan detenerse para poder ir hacia la dirección deseada, sino que se les da preferencia para poder aliviar el congestionamiento generada por el semáforo. El radio de curvatura de estos conectores pueden ser mayores, solo que se busca la economización de la posible reestructuración del óvalo.

- **Prueba 2:**

La segunda iteración consiste en la ampliación de la prueba anterior a 4 carriles, lo que permitiría un tránsito más fluido y constante.

Los datos utilizados anteriormente se mantendrían, el flujo vehicular, el tiempo de semáforo, el giro libre hacia la derecha, entre otros continúan siendo los mismos por lo que ya no se tiene que empezar de nuevo, sino que se mejoraría y adicionaría lo antes mencionado.

A pesar de la ampliación de carriles, se mantuvo el mismo tiempo del ciclo del semáforo, ya que se trató que la avenida con más conflicto (Panamericana Norte) mejore y reduzca las demoras al pasar la intersección. Por ejemplo, hablando específicamente de la Panamericana Norte, si se enumera los carriles del 1 al 4 de derecha a izquierda, los vehículos que giran hacia la derecha por el carril N° 1, normalmente generan un poco de congestión entre sí para poder llegar hacia su destino, esto automáticamente afecta al carril N° 2 que

a su vez dificulta el paso de aquellos en el carril N° 3, pero ya de manera ligera. Al crear un carril más (el N° 1), la congestión se disipa o, mejor dicho, se alivia porque ya existiría mayor amplitud de campo para poder seguir de frente y cruzar la intersección.

Con las nuevas consideraciones ya mencionadas, se procede a ejecutar la simulación de la intersección y se obtienen los siguientes resultados:

- Las colas en la avenida que se amplió el número de carriles (Panamericana Norte), se vieron reducidas, por lo tanto, también las demoras o tiempo de espera para cruzar la intersección.



Gráfico N° 61

Fuente: PTV Vissim 6

- Los carriles N° 3 y 4 no se vieron afectados por las decisiones de los vehículos que transitaban en el N° 1 y 2 (girar a la derecha y

hacer lento el paso); sino que continuaron su camino sin necesidad de detenerse o incluso de reducir la velocidad.

- El hecho de que los vehículos pasen más rápido la intersección implica que el comportamiento y estado de ánimo de los conductores mejore o se mantengan normales, ya no se exacerban por las demoras ni tampoco presionan la bocina para que los otros avancen.

- **Prueba 3:**

Esta es exactamente igual a la anterior en cuanto al dimensionamiento y figura, la diferencia es que en esta se agregó artificios que le dan un mayor realismo a la simulación.

La dificultad de poder simular ciertos aspectos que ocurren actualmente en la realidad, como por ejemplo el comportamiento en los paraderos de transporte público, hace que se utilicen este tipo de posibles soluciones.

Primer artificio – Reducción de velocidad:

Lo que ocurre normalmente en paradero de buses es realmente incierto. Hay ciertas horas, por no decir minutos, en el que parece que los conductores quieren seguir el reglamento de tránsito al pie de la letra, y hay otras, sobre todo en las horas punta, que ellos hacen lo “se les pega en gana”. Se estacionan en dichos lugares para que los pasajeros suban sin importarles el tiempo que puedan estar parados sin avanzar ni un solo metro, incluso esperan a uno que se acerca a distancias largas, causando el malestar o contagiando con la misma actitud a los demás choferes. También es sabido que los peatones tampoco respetan ni siquiera su propia integridad ni seguridad, pueden subirse a un bus que está ubicado en el segundo o tercer

carril, pasando entre los demás vehículos con tal de que puedan abordarlo.

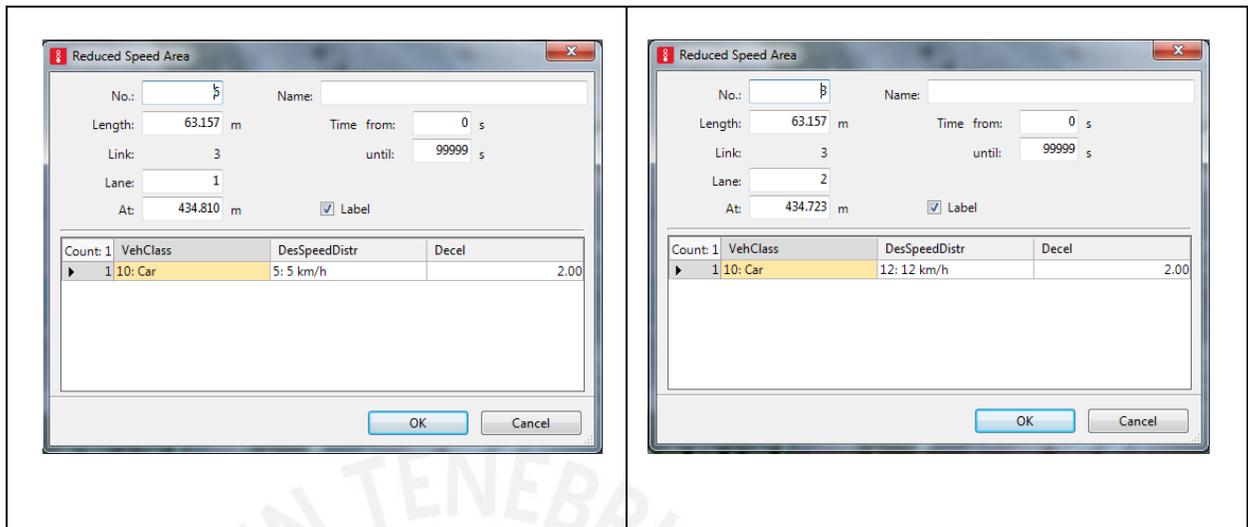
Así como estos tipos de aspectos y características de los paraderos limeños, existen algunos otros factores (carros malogrados, los dateros que se meten entre los buses, asaltos que terminan con vidrios rotos, etc.) que son difíciles de plasmar en un programa; todos estos mencionados tienen en común que afectan al tránsito vehicular regular, es decir, que hacen que los vehículos demoren en trasladarse de un punto a otro.

Para tratar de asemejar la simulación al programa, se utilizó la reducción de velocidad de los vehículos; con ello, estos tienen un comportamiento distinto, pero con resultados similares.

En el carril N° 1 se utilizó la velocidad más lenta que el programa pueda proporcionar, esta fue de 5 km/h. Si se analiza la realidad con lo tomado, se puede decir que este carril será el más crítico, pues es aquel en el que más lento se avanza y/o descongestiona por lo ya dicho líneas arriba. Sin embargo, el hecho de que el carril N° 1 sea el más afectado, no quiere decir que sea el único, ya que al estar este un tránsito lento hace que el del costado también se perjudique. Por ello, al carril N° 2 también se le aplicó una reducción a su velocidad, llegando a 12 km/h, un poco más veloz que el anterior ya que no es el afectado directamente.

Con estas dos reducciones se puede decir que la simulación ya se parece un poco más a lo que pasa en la realidad, no con las mismas causas, pero con consecuencias similares.

Tabla N° 20



Fuente: Elaboración propia

Segundo artefacto – Cruceo peatonal:

En todas las pruebas anteriores, ya sea en los programas determinísticos o en el de simulación, se ha asumido que los peatones cruzan las vías mediante puentes, con ello no se obstaculiza el paso de los vehículos. Por ejemplo, los automóviles que giran a la derecha tienen el paso libre, no los frena un semáforo, solo el paso de los vehículos que se aproximan perpendicularmente; sin embargo, los peatones sí pueden afectar de forma más considerable si es que estos cruzan en cantidades grandes, pueden retrasar y hacer que la cola de vehículos sea larga.

El programa PTV Vissim 6 trata de simular de la forma más específica cualquier tipo de intersección, sin embargo, necesita de ciertos complementos (otros programas) para poder llegar a ingresar todos los aspectos a detalle, tales como el Viswalk o el Vissum. Se trató de ingresar la mayor cantidad de datos en Vissim sin necesidad de utilizar otros programas. Para ello se utilizaron vías como cruces tipo cebrado, pero en vez de que se utilicen vehículos, se colocan

peatones. Si bien es cierto que no trabaja ni tiene todas las cualidades deseadas, esta da una idea de cómo podría funcionar la intersección. El flujo peatonal se midió en 4 puntos distintos, en cada uno de ellos se tomó la cantidad de peatones que se aproximan y que cruzan la avenida correspondiente. Aquí no se tomó en cuenta la ruta que toma el peatón una vez que cruza la calzada, puesto que en el punto siguiente se vuelve a tomar el flujo.

El flujo obtenido en campo se detalla en la siguiente imagen:

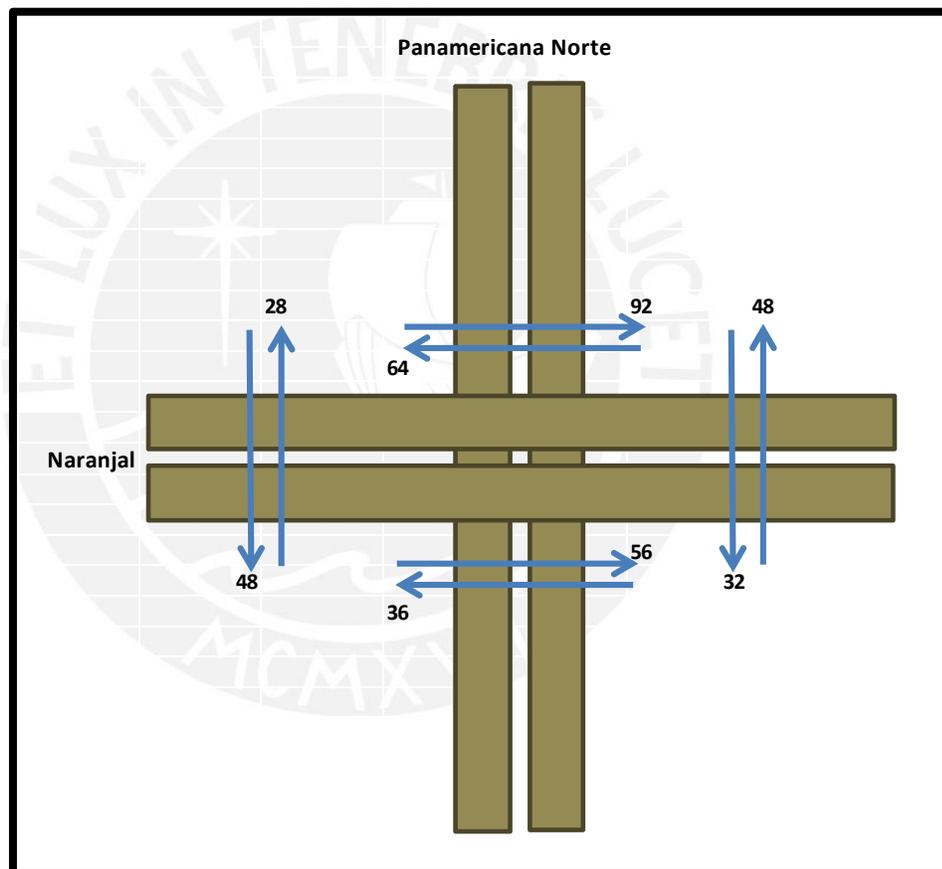


Gráfico N° 62

Fuente: Elaboración propia

Con los artificios aplicados en esta prueba, se obtienen los siguientes resultados:

- El tránsito es un poco más lento, pero realista. A pesar de esta dificultad, los vehículos igual logran cruzar la intersección sin necesidad de esperar un segundo ciclo de semáforo.
- La mayor demora se da en la avenida Panamericana, debido a la cantidad de vehículos que transitan por ella. En Naranjal, a pesar de tener un carril con velocidad baja, los vehículos pasan la intersección casi sin ningún problema.
- Los peatones, para este caso, no significan alguna dificultad para el avance normal de los vehículos, por lo tanto, se sigue considerando el uso de los puentes peatonales.

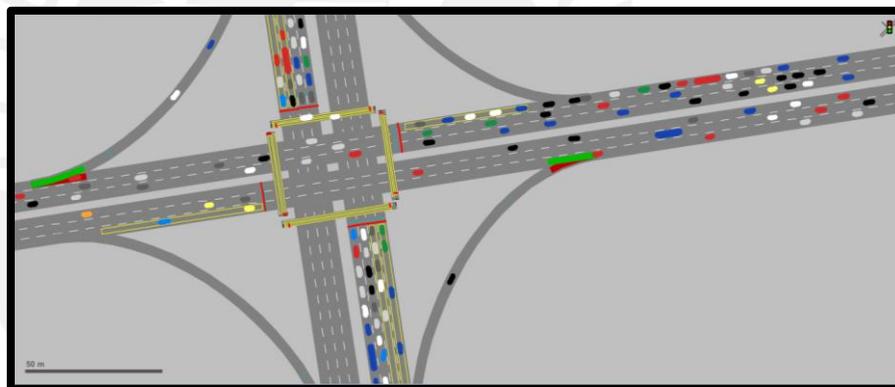


Gráfico N° 63

Fuente: PTV Vissim 6

Después de las 3 pruebas hechas en micro-simulación, sobre todo con la última, se puede ver las mejoras del funcionamiento de la intersección. Estas se midieron a través de los siguientes parámetros de eficiencia:

- Tiempo de espera (demora): En la actualidad, para poder cruzar el óvalo en la Panamericana Norte toma aproximadamente 10 minutos en el caso más crítico; sin

embargo, con la aplicación de la micro-simulación las demoras se reducen a solo 1 minuto en promedio, esto debido a que el último vehículo en pasar tiene que esperar el tiempo de semáforo en rojo y que los vehículos más lentos crucen (en el carril 1).

- Colas detrás del semáforo: Este parámetro tiene que ver con el anterior, pues ellas dependen de los tiempos de espera. Las colas en estos días van desde el óvalo hasta un poco más allá del cruce con la avenida Marañón, que son aproximadamente 600 m. Sin embargo, después de las pruebas, se verifica que estas se reducen y llegan a tener cerca de 50 m. de longitud. y permite que los vehículos no tengan que esperar dos ciclos de semáforos.
- Orden de espacios o paisajismo: Al cambiar el tipo de intersección, la distribución de los espacios mejora notablemente, pues ya no deja de existir el espacio muerto que hay en el centro del óvalo y los alrededores de este. Además, el espacio ganado puede ser utilizado, como se ha mencionado en reiteradas veces, para otros fines como parques o alamedas. Actualmente, existen muchos espacios muertos que perjudican el funcionamiento del óvalo y que luego de aplicar la micro-simulación, estos se ven reducidos; se mejora para el paso peatonal, pues estos ya no tendrían que caminar grandes distancias para solo poder cruzar una sola avenida, tampoco se tendrían que construir puentes peatonales, pues se puede aprovechar el tiempo de rojo del ciclo de semáforo y con cruceros tipo cebra, los peatones pueden trasladarse libremente sin tener que caminar tanto.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo presenta las conclusiones finales del estudio realizado y las recomendaciones con las que se pudo obtener mejores resultados y un poco más realistas en el rediseño de la intersección.

a) Conclusiones:

Los programas determinísticos no son de mucha ayuda en este tipo de casos, no se puede obtener resultados satisfactorios, sino que sigue mostrando que la intersección no funciona con los aspectos más óptimos que se les pueda colocar (diámetro de la circunferencia inscrita, velocidad de entrada, etc.). Esto se demuestra en los programas Sidra Intersection 5.1 y en Synchro 8; ambos dieron resultados con niveles de servicio realmente bajos ("F"), por lo que se demuestra que este tipo de softwares no son los adecuados para buscar una solución de la intersección.

De manera distinta se pudo observar el programa de micro-simulación (PTV Vissim 6), en este se pudo analizar de forma detallada el comportamiento de los vehículos a través de varias simulaciones, cada vez una mejor que la anterior por el análisis que se le pudo dar.

En las últimas pruebas que se realizaron se pudo observar que el tiempo del ciclo de semáforo no cambió, se mantuvo en 80 segundos, con un tiempo de 51 segundos de verde para la avenida Panamericana Norte, 22 segundos de verde para la avenida Naranjal, 3 segundos de ámbar y 1 segundo de todo rojo (para ambos sentidos a la vez). Este ciclo se pudo obtener mediante algunas simulaciones simples en la que solo se tenía en cuenta el flujo vehicular para todas las vías y la cantidad de carriles de estas, de tal forma que se pueda

tener una idea de cómo se darían las demoras y qué tan largas serían las colas de espera.

No sería necesario hacer grandes obras para el cambio de la intersección para obtener buenos resultados. Dado el gran espacio que hay actualmente en esa zona, se puede optar por cambiar el tipo de intersección a una simple sin necesidad de estar invirtiendo grandes cantidades de dinero como se podría dar en un intercambio vial a desnivel. El espacio libre se puede utilizar para parques o zonas turísticas como se dan en otros distritos en Lima.

De acuerdo a la hipótesis planteada al inicio, se verifica que efectivamente el óvalo trabaja de forma ineficiente y no permite un correcto flujo vehicular ni peatonal. Se demuestra que haciendo cambios simples y económicos, en este caso el uso de semáforos, se puede mejorar el nivel de servicio y funcionamiento de la intersección.

El cambio de geometría del óvalo no pudo dar resultados favorables de acuerdo a los programas determinísticos, pero usando simulación se pudo llegar a los resultados esperados.

b) Recomendaciones:

Uno de los objetivos de este proyecto de tesis es que se pueda obtener una idea de lo que podría ser la mejor solución para el caos vehicular que se vive en el óvalo de Naranjal, por ello se utilizaron programas simples, pero que son normalmente utilizados para resolver este tipo de problemas.

En cuanto a la micro-simulación, para obtener mejores resultados, se pudo realizar varias tomas de datos de campo, es decir, medir el flujo vehicular y peatonal en días distintos y a distintas horas, de tal forma

que estos se promedien y puedan dar números más cercanos a la realidad. De la misma forma, se pudo hacer la calibración previa del software, la cual consiste en realizar varias simulaciones con los datos obtenidos en campo y realizar pequeños cambios con forme se va corriendo el programa hasta que este obtenga el comportamiento real de la intersección. De esta forma, el programa ya trabaja de manera casi real y con la mayor cantidad de detalles que se pueda dar.

Este proyecto tiene grandes explicaciones para dar idea de lo que se puede hacer en el óvalo de Naranjal para un mejor funcionamiento, teniendo en cuenta cambios simples con buenos resultados. En este sentido, se puede aprovechar los conocimientos dados para una futura reestructuración en el diseño de la intersección.

Para futuros estudios del comportamiento del óvalo, se debe tener en cuenta el crecimiento de la flota vehicular en la capital del Perú, pues como ya se sabe, esta aumenta por año aproximadamente 10% con respecto al anterior. También se puede decir que dicho crecimiento se podría manejar solamente con el cambio del ciclo de semáforos, dependiendo de cuánto haya cambiado el flujo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- THE HIGHWAYS AGENCY
2007 *Design Manual for Roads and Bridges. Volume 6, Section 2, Part 3: Geometric Design of Roundabout*. London: Stationery Office Books.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM
2010 *NCHRP REPORT 672: Roundabouts: An Informational Guide*. Second Edition Washington D.C.: Transportation Research Board.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM
2010 *NCHRP REPORT 572: Roundabouts in the United States*. Second Edition Washington D.C.: Transportation Research Board.
- GERENCIA MUNICIPAL DE URBANISMO AYUNTAMIENTO DE MADRID
2000 *Instrucción de Vía Pública. Ficha 5.3: Intersecciones giratorias o glorietas*. Madrid: Ayuntamiento de Madrid.
- ATI Mohamed & Yasser HOSNI
2001 *Roundabouts Design, Modeling and Simulation*. University of Central Florida, Department of Civil & Environmental Engineering, Florida.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
2001 *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Segunda edición. Lima: MTC – DGC
- BULLA CRUZ, LENIN
2010 *Metodología para la evaluación técnica y operativa de turboglorietas como alternativa de intersección vial en el ámbito urbano*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- VERA LINO, FAVIO
2012 *Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima*. (Tesis de título). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.

- POSADA GARCES, GREGORIO
2008 *Diseño geométrico de una glorieta en la intersección vehicular del tramo Ceritos – Cuya PR 36+750 entrada al Municipio de Belén de Umbría Risaralda*. (Tesis de título). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.
- STATE HIGHWAY ADMINISTRATION
1995 *Roundabout Design Guidelines*. State Highway Administration, Department of Transportation, Maryland.
- TRANSPORT – ROADS & MARITIME SERVICES
2013 *Traffic Modelling Guidelines*. Roads & Maritime Services, Sydney.
- H. Rakha, B. Hellinga, M. Van Aerde y W. Perez
2010 *Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models*. Department of Civil Engineering, Queen's University, Kingston.