

Capacidad vehicular y nivel de servicio con la metodología Highway Capacity Manual (HCM)

**Mercedes Surichaqui
Freddy Matamoros
Angela Sillo**

**Augusto Manrique
Walter Mayhua
Franklin Surichaqui**

DOI : [10.35622/inudi.b.098](https://doi.org/10.35622/inudi.b.098)



Capacidad vehicular y nivel de servicio con la metodología Highway Capacity Manual (HCM)

DOI : <https://doi.org/10.35622/inudi.b.098>

Mercedes Surichaqui

<https://orcid.org/0000-0003-0654-2970>
mercedes.surichaqui@upn.pe

Freddy Matamoros

<https://orcid.org/0000-0002-6689-5033>
freddy.matamoros@unh.edu.pe

Angela Sillo

<https://orcid.org/0000-0002-0942-8834>
angela.sillo@unh.edu.pe

Augusto Manrique

<https://orcid.org/0000-0003-4989-6808>
augusto.manrique@unh.edu.pe

Walter Mayhua

<https://orcid.org/0000-0003-3357-4767>
walter.mayhua@unh.edu.pe

Franklin Surichaqui

<https://orcid.org/0000-0003-2176-5304>
franklin.surichaqui@unh.edu.pe



Capacidad vehicular y nivel de servicio con la metodología Highway Capacity Manual (HCM)

Mercedes Surichaqui Gutierrez
Freddy Alfredo Matamoros Huayllani
Angela Sillo Sillo
Augusto Rolando Manrique Ruiz
Walter Mayhua Matamoros
Franklin Surichaqui Gutierrez
(Autores)

Publicado en:

Puno, mayo del 2023

ISBN: 978-612-5069-87-0 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-04040

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.98>

Categoría: Libro producto de investigación científica

Jefe del Fondo editorial: Wilson Sucari

Editores: Wilson Sucari / Patty Aza / Antonio Flores

Corrección de estilo: Antonio Flores

Diseño de portada: Antonio Flores

Editorial: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno - Perú

RUC: 20608044818

Email : editorial@inudi.edu.pe / info@inudi.edu.pe

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Publicado en Perú / Posted in Peru



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Evaluación de contenido: Esta obra ha sido evaluada por pares doble ciego, aprobada por el Consejo Editorial del Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la editorial.

Declaración conflictos de interés:

Los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

Publicación financiada por los propios autores. Este libro es resultado de la investigación "Capacidad vehicular y nivel de servicio del Parque Óvalo Huancavelica, con la metodología del HCM 2010 (NCHRP), en el distrito del Tambo, Huancayo, Junín - 2018".

Contenido

SINOPSIS.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8

CAPÍTULO I

INTERSECCIONES ROTATORIAS

1.1 Antecedentes investigativos	10
1.2 Intersecciones rotatorias o rotondas.....	13

CAPÍTULO II

CAPACIDAD VEHICULAR

2.1 Criterios de la capacidad vehicular	28
2.2 Highway Capacity Manual.....	28
2.3 Nivel de Servicio (NS).....	50
2.4 Bases conceptuales	56

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Título de la investigación.....	60
3.2 Planteamiento del problema.....	60
3.3 Justificación de la investigación	61
3.4 Objetivos de la investigación	62
3.5 Método y diseño de investigación.....	62
3.6 Principales resultados	63
3.6.1 Estado actual del Parque Óvalo Huancavelica	63
3.6.2 Análisis del tráfico en la situación actual	63
3.6.3 Características del tráfico.....	65
3.6.4 Cálculos de los IMD y IMDA en los puntos de aforo	67
3.6.5 Determinación de las causas y factores que pueden provocar el tráfico vehicular	72
3.6.6 Análisis de capacidad de entrada	72
3.7 Discusión	82

CAPITULO IV

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

4.1 Conclusiones del estudio	86
------------------------------------	----

4.2 Recomendaciones.....	87
4.3 Reflexiones.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	91

SINOPSIS

Este libro es una adaptación de una investigación presentada a la Universidad Nacional Hemilio Valdizán, cuyo objetivo fue estudiar el comportamiento de las rotondas bajo condiciones de demanda y estimar el nivel de servicio que se experimenta en los diferentes accesos del Parque Ovalo Huancavelica, Junín (Perú) con la metodología del HCM 2010 (NCHRP). Se abordó desde una metodología descriptiva-explicativa con diseño correlacional, con una muestra no probabilística, seleccionando las intersecciones con alto tránsito vehicular en la ciudad del distrito de El Tambo. Los resultados indican que, existe tramos con mayor densidad vehicular alta con un nivel de servicio "F" y tramos que presentar un flujo vehicular con un nivel de servicio "A", asimismo a medida que aumenta el diámetro inscrito en la rotonda, la demora suele disminuir, las maniobras giro a la izquierda y giro en U, son los movimientos más invasivos y generan altas demoras.

Palabras clave: capacidad vehicular, conteo vehicular, dimensiones geométricas, servicio.

ABSTRACT

This book is an adaptation of an investigation presented to the Universidad Nacional Hemilio Valdizán, whose objective was to study the behavior of roundabouts under demand conditions and to estimate the level of service experienced in the different accesses of Parque Ovalo Huancavelica, Junín (Peru). with the HCM 2010 (NCHRP) methodology. It was approached from a descriptive-explanatory methodology with a correlational design, with a non-probabilistic sample, selecting the intersections with high vehicular traffic in the city of the El Tambo district. The results indicate that there are sections with a higher vehicular density with a level of service "F" and sections that present a vehicular flow with a level of service "A", indicating a measure that increases the diameter inscribed in the roundabout, the delay decreases, the maneuvers usually turn left and make a U-turn, they are the most invasive movements and generate high delays.

Keywords: vehicle capacity, vehicle count, geometric dimensions, service.

INTRODUCCIÓN

El estudio técnico de rotondas es de vital importancia debido a los beneficios que aporta en términos de eficiencia del tráfico. Las rotondas son una alternativa de diseño vial que busca mejorar el flujo de tráfico en intersecciones, evitando los problemas asociados a los semáforos y permitiendo una circulación más fluida de los vehículos.

Al realizar un estudio técnico de rotondas, se pueden analizar diversas características que influyen en su funcionamiento. Esto incluye la geometría de la rotonda, como el diámetro, la anchura de los carriles y la ubicación de las entradas y salidas. También se consideran aspectos como la señalización vial, la iluminación, la visibilidad y la geometría de los accesos y salidas a la rotonda.

Este análisis minucioso permite identificar cómo estas características afectan el flujo de tráfico, la capacidad de la vía y los tiempos de viaje. Además, se pueden evaluar los impactos en la seguridad vial, incluyendo la reducción de colisiones y la mejora en la percepción y toma de decisiones por parte de los conductores.

El estudio técnico de rotondas también juega un papel crucial en la optimización del diseño y la operación de estas infraestructuras. Permite determinar el tamaño adecuado de la rotonda en función del volumen de tráfico esperado, así como la distribución de carriles y la señalización más eficiente para guiar a los conductores. Además, se pueden realizar ajustes y mejoras en la rotonda existente con base en los resultados del estudio.

Un claro ejemplo de esto es lo que ocurre en la punta mañana en la rotonda del Parque Óvalo Huancavelica, donde según el flujograma vial existe más demanda vehicular que el resto y se producen los movimientos con mayor flujo en la rotonda, condición que genera altas demoras en el acceso saturado, afectando el nivel de servicio percibido por los usuarios en los otros accesos a la rotonda.



CAPÍTULO I
INTERSECCIONES ROTATORIAS

1.1 Antecedentes investigativos

Mojica (2018), realizó un análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte - POZ norte en Bogotá, Colombia. Su objetivo es realizar la comparación entre los resultados obtenidos por el IDU, con base en el estudio de tránsito presentado en el año 2011 según manual HCM (2000), y los resultados obtenidos en el presente trabajo basados en el manual HCM (2010). De acuerdo con el análisis de las fórmulas del HCM (2010) el nivel de servicio en las zonas de convergencia y divergencia en una intersección es directamente dependiente de los volúmenes de tránsito que se encuentran, tanto en el tronco principal como en la rampa, así como de la geometría prevista para la maniobra y a la existencia de carriles de aceleración y/o desaceleración. La turbulencia ocasionada por los cambios de carril, en la zona de influencia de las maniobras convergencia y divergencia, impacta de manera significativa en el comportamiento del tráfico aguas arriba sobre el tronco principal, por lo cual afecta el comportamiento y calificación del nivel de servicio.

Moreno (2018) aplicó el método MIVES para realizar un estudio comparativo de sostenibilidad de dos carreteras en el estado de Veracruz, México; una de ellas, construida con pavimento de asfalto y la otra, con pavimento de hormigón. Concluye que el método MIVES resulta una herramienta útil para evaluar la sostenibilidad de los pavimentos, utilizados en cualquier etapa del ciclo de vida de una carretera, pues ha permitido considerar de forma objetiva los distintos aspectos que intervienen en la evaluación de la sostenibilidad, en base también a los resultados derivados del análisis de sostenibilidad, que la alternativa más sostenible para el tramo de carretera veracruzana es la ejecutada con pavimento de hormigón. El requerimiento económico presenta satisfacciones similares; sin embargo, los requerimientos sociales y ambientales han resultado tener una mejor respuesta en la alternativa de hormigón.

Siegel (2015) analizó las rotondas bajo condiciones de demanda asimétrica y la incidencia de estos sobre el nivel de servicio, donde concluye que el diámetro inscrito tiene gran incidencia en la demora generada en la rotonda, reduciéndose

(demora) a medida que aumenta el diámetro, debido a que permite más oportunidades para que el tráfico circulante se agrupe, aumentando la probabilidad de entrar a la rotonda y por lo tanto, mejorar la capacidad de esta; asimismo, el movimiento de giro a la derecha es más eficiente en las rotondas que en una intersección semaforizadas, debido a que en esta el movimiento se realiza sin la necesidad de detenerse, siendo mucho menor que la demora producida en una intersección semaforizada debido a los tiempos de fases del semáforo, el giro a la izquierda y giro en U, son los movimientos más invasivos en la rotonda, debido a que al ejecutarlos se debe pasar frente a todos los accesos aguas abajo del acceso de salida, bloqueándolos, disminuyendo la probabilidad de entrar a esta y aumentando la demora y por consiguiente, empeorando el N.S en cada acceso.

Ocoró (2014) identificó las condiciones bajo las cuales opera el corredor vial Cali-Jamundí en su condición actual y ante escenarios futuros definidos con la participación de los proyectos urbanísticos y viales previstos hacia el sur de Santiago de Cali. Evaluó las características geométricas y del tránsito vehicular (conteos de tránsito, TPDS, FHP, volumen de vehículos en movimiento) y a partir de estos valores determinar la capacidad y nivel de servicio de la vía, siendo este el factor más importante para determinar la operación de una vía y la accidentalidad de la misma. La presente investigación presenta como acciones de mejora inmediatas se recomienda reprogramar los planes de semaforización de las dos intersecciones semaforizadas, con el diseño de varios planes aplicables en las distintas situaciones de tráfico; es decir que los tiempos de verde se flexibilicen de acuerdo con los volúmenes de tráfico que se presenten en los distintos horarios del día.

Bonett y Yatto (2017) analizaron la capacidad vial en la prolongación av. La Cultura-Universidad Andina del Cusco; en comparación con una intersección a desnivel aplicando la metodología del HCM 2010 y softwares de simulación., aplicando la metodología del HCM 2010 y softwares de simulación. Se tomó como muestra las intersecciones semaforizadas con alto tránsito vehicular y

peatonal en la ciudad del Cusco, el tipo de muestra en el estudio de la investigación fue no probabilístico, se concluyó con la propuesta de una implementación adecuada de un pase a desnivel en cada intersección, da como resultado una mayor capacidad vial y un mejor nivel de servicio para las vías.

Agreda y Parra (2017) comparó los resultados obtenidos de la aplicación de las metodologías HCM 2000 y HCM 2010 en una serie de intersecciones semaforizadas y definir cuál de ellas es más aplicable a la realidad del tránsito en Lima Metropolitana. La conclusión a que llegan es que el método del HCM 2010 genera mayores demoras en intersecciones en donde el grado de saturación no es muy considerable, mientras que el HCM 2000 aumenta considerablemente en las intersecciones en las que existe mayor grado de saturación. Esto se debe a que el HCM 2010, al ser una metodología más desarrollada que su predecesora, cuenta con factores y parámetros que generan resultados de mayor exactitud y menor dispersión. Por otro lado, el HCM 2000 brinda resultados con mayor dispersión y menor exactitud; asimismo, el HCM 2000 tiene todo lo necesario para generar resultados exactos si es que se dan las circunstancias adecuadas y se realiza el análisis de la mejor manera pero, como se ha concluido, estos resultados no son siempre precisos. En contraste, el HCM 2010, además de contar con lo necesario para generar resultados exactos, tiene una mayor precisión por lo que se concluye que es el HCM 2010 el manual de tránsito más aplicable a nuestra realidad.

Martín (2012) estudió la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico. En la investigación el autor estudia las glorietas que por su simetría geométrica no son capaces de priorizar los movimientos con mayor demanda de tráfico. La descompensación de flujos de tráfico precisa de acondicionamiento u ordenación que maximice la capacidad y mejore el nivel de servicio de la glorieta, sin necesidad de ser sustituidas por otros tipos de intersecciones o por enlaces.

Uribe (2009) desarrolla una propuesta para el diseño de intersecciones urbanas. La profesional desarrolla la presente investigación donde plantea la necesidad de

diseñar una infraestructura vial que optimice las exigencias presentadas por la circulación vehicular, teniendo como objetivo principal proporcionar un diseño eficiente, seguro, económico y que esté acorde con los recursos disponibles que cada vez resultan más limitados en la medida que el crecimiento de la construcción densifica la ciudad al punto de hacer crítica la disposición de espacio destinado para el transporte.

Existen dos factores importantes que determinan la necesidad de intersecciones viales; uno de éstos es la evidencia física de la congestión de tránsito, que en la actualidad muestra puntos críticos y se convierte en prioridad. La otra, es el resultado de la proyección del flujo que arroja un aumento para los próximos años.

1.2 Intersecciones rotatorias o rotondas

Una rotonda es una intersección vial circular diseñada para mejorar la fluidez del tráfico y la seguridad de los usuarios. También se conoce como glorieta, circunvalación o rotonda de tráfico (Bañón & Beviá García, 2000).

Técnicamente, una rotonda consta de los siguientes elementos:

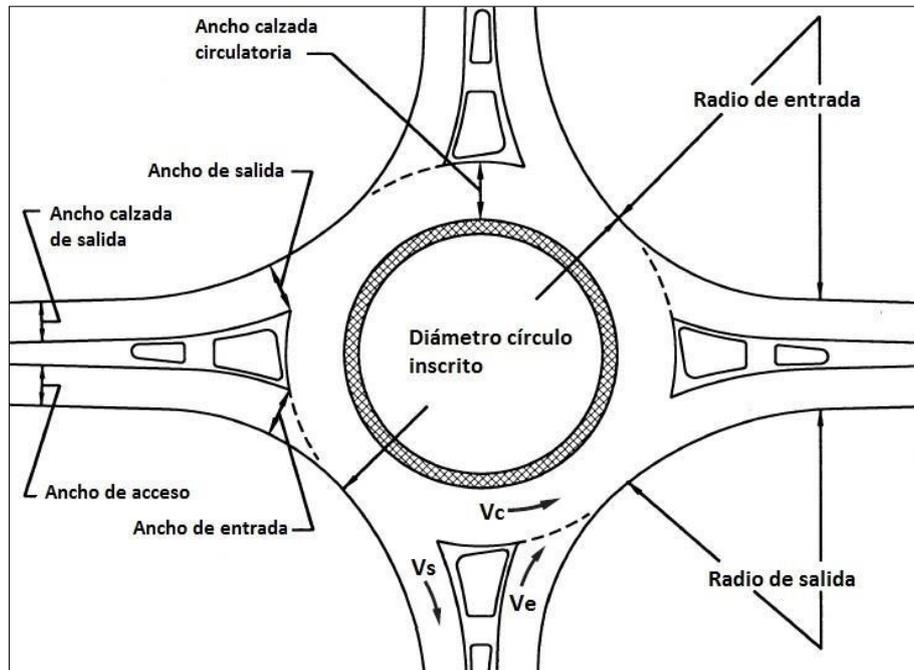
- **Isla central:** Es el área circular en el centro de la rotonda. Por lo general, está elevada y decorada con vegetación o elementos ornamentales. La isla central divide el tráfico en la rotonda en sentido contrario a las agujas del reloj.
- **Carriles de circulación:** Son los carriles que rodean la isla central y permiten a los vehículos circular en la rotonda. Dependiendo del tamaño de la rotonda, puede haber uno o varios carriles.
- **Entradas y salidas:** Las rotondas tienen varios puntos de entrada y salida para el tráfico. Estos puntos están conectados a las vías de acceso y de salida mediante ramificaciones curvas, conocidas como ramales. Cada entrada y salida tiene su propio carril de aceleración y desaceleración para facilitar la entrada y salida segura de los vehículos.

- **Señalización:** Las rotondas están equipadas con señales de tráfico, tanto horizontales como verticales, para guiar a los conductores y peatones. Las señales horizontales incluyen marcas en el pavimento que indican los carriles, flechas direccionales y señales de ceda el paso. Las señales verticales proporcionan indicaciones sobre la dirección a seguir y las salidas disponibles.
- **Reglas de prioridad:** En una rotonda, los vehículos que ya se encuentran circulando tienen prioridad sobre los que desean ingresar. Los conductores que se aproximan a la rotonda deben ceder el paso a los vehículos que ya están dentro de la rotonda. Esta regla generalmente se indica mediante señales de ceda el paso.
- **Iluminación:** Muchas rotondas están equipadas con iluminación adecuada, especialmente durante la noche, para mejorar la visibilidad y la seguridad.

El diseño de las rotondas puede variar según el tamaño, la cantidad de carriles y el volumen de tráfico esperado. Su principal objetivo es permitir un flujo continuo y seguro de vehículos, reduciendo la necesidad de detenerse en señales de alto o semáforos y minimizando el riesgo de colisiones frontales o laterales. Las rotondas son ampliamente utilizadas en todo el mundo como una alternativa eficiente a las intersecciones tradicionales.

Figura 1

Componentes de una rotonda



El número de pistas de entrada en los accesos de una rotonda se diseñan en función de los volúmenes de tráfico que circularan por esta (volumen de entrada + volumen circulación).

Características clave de la rotonda

- **Flujo unidireccional:** En una rotonda, el tráfico circula en una dirección única alrededor de la isla central. Esto permite un flujo continuo de vehículos sin la necesidad de detenerse o esperar en semáforos.
- **Prioridad de circulación:** Los vehículos que ya están dentro de la rotonda tienen prioridad sobre los que desean ingresar. Esto significa que los conductores que se acercan a una rotonda deben ceder el paso a los vehículos que ya están circulando en la misma.
- **Velocidad reducida:** Las rotondas están diseñadas para obligar a los conductores a reducir la velocidad al ingresar y circular por ellas. Esto mejora la seguridad vial y reduce el riesgo de accidentes graves.
- **Carriles de aceleración y desaceleración:** Las entradas y salidas de las rotondas están diseñadas con carriles de aceleración y desaceleración. Esto

permite a los conductores ajustar su velocidad para entrar y salir de la rotonda de manera segura, sin interrumpir el flujo de tráfico en la rotonda.

- **Señalización clara:** Las rotondas están equipadas con señales de tráfico y marcas en el pavimento que indican las direcciones y los carriles apropiados para entrar, circular y salir de la rotonda. Esto ayuda a los conductores a tomar las decisiones correctas y a mantener un flujo ordenado de tráfico.
- **Reducción de conflictos:** Las rotondas reducen los puntos de conflicto entre los vehículos, ya que los cruces y giros a la izquierda se eliminan o se realizan de manera segura dentro de la rotonda. Esto disminuye la probabilidad de colisiones y mejora la eficiencia del tráfico.
- **Espacio para peatones:** Las rotondas generalmente cuentan con aceras y pasos peatonales para permitir a los peatones cruzar de manera segura. Estos pasos están ubicados en puntos estratégicos, como las entradas y salidas de la rotonda, y están diseñados para minimizar el tiempo de espera de los peatones.
- **Separación de carriles:** En las rotondas más grandes, se pueden encontrar múltiples carriles de circulación, lo que permite a los conductores elegir el carril adecuado para su salida deseada. Esto evita la necesidad de cambios de carril repentinos dentro de la rotonda y facilita una circulación más fluida (Cal et al., 1996).

Diseño de rotondas

El diseño de las rotondas puede variar dependiendo de varios factores, como el volumen de tráfico, la velocidad permitida, el espacio disponible y las necesidades específicas de la ubicación. Sin embargo, hay algunos principios de diseño comunes que se aplican a la mayoría de las rotondas. Aquí hay algunas consideraciones clave en el diseño de rotondas:

- **Tamaño y forma:** El tamaño y la forma de la rotonda dependen del volumen de tráfico esperado y del espacio disponible. Las rotondas pueden ser desde pequeñas, con un solo carril, hasta grandes con

múltiples carriles. La forma más común es la circular, pero también pueden tener formas elípticas o alargadas para adaptarse a condiciones específicas.

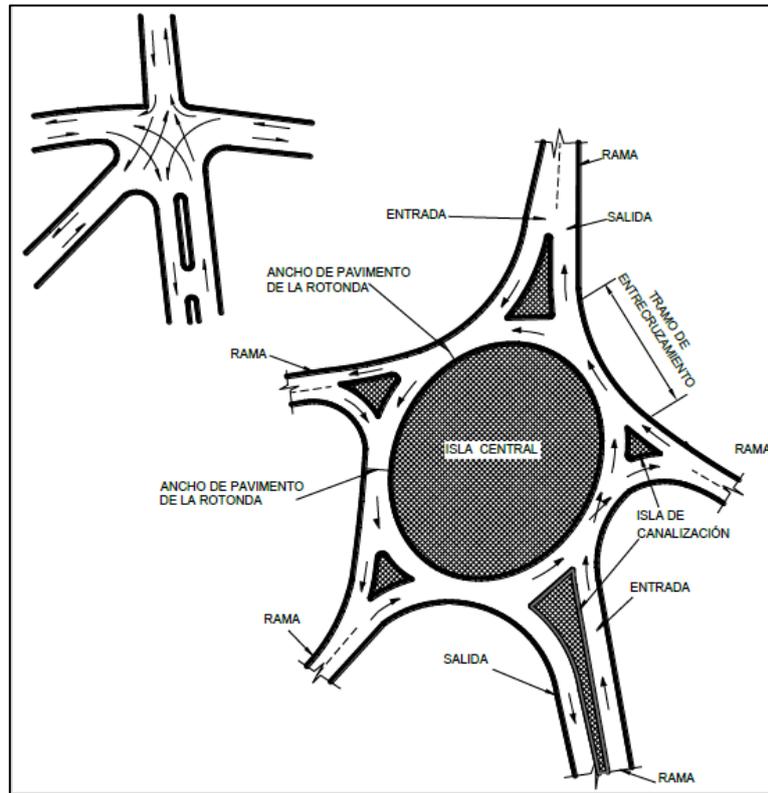
- **Radio de giro:** Los radios de giro de los ramales de entrada y salida deben ser lo suficientemente amplios para permitir que los vehículos maniobren de manera segura sin tener que reducir drásticamente la velocidad. Esto ayuda a mantener un flujo continuo de tráfico y a reducir el riesgo de colisiones.
- **Carriles de entrada y salida:** Las rotondas suelen tener carriles de entrada y salida claramente definidos. Los carriles de entrada permiten a los vehículos acelerar y unirse al flujo de tráfico en la rotonda, mientras que los carriles de salida permiten a los vehículos salir de manera segura.
- **Espacio peatonal:** Las rotondas deben incluir aceras y pasos peatonales para garantizar la seguridad de los peatones. Los pasos peatonales deben estar ubicados en lugares estratégicos, como las entradas y salidas de la rotonda, y deben estar claramente señalizados.
- **Señalización:** Las rotondas requieren una señalización clara y visible para guiar a los conductores y peatones. Esto incluye señales verticales que indican la dirección a seguir, señales horizontales en el pavimento que marcan los carriles y flechas direccionales, y señales de ceda el paso para indicar la prioridad de circulación.
- **Iluminación:** Las rotondas deben estar adecuadamente iluminadas, especialmente durante la noche, para mejorar la visibilidad y la seguridad. La iluminación adecuada ayuda a los conductores a ver claramente las señales y los movimientos de los demás vehículos.
- **Paisajismo y elementos decorativos:** Muchas rotondas incluyen elementos paisajísticos y decorativos en la isla central para embellecer el entorno y crear un ambiente agradable. Estos elementos pueden incluir vegetación, esculturas, fuentes u otros elementos ornamentales.

Es importante tener en cuenta que el diseño de las rotondas debe cumplir con las normas y regulaciones locales de tráfico y seguridad vial (Cal et al., 1996).

En la siguiente figura se presenta el esquema de la rotonda o glorieta.

Figura 2

Esquema básico de una intersección tipo rotonda o glorieta



El uso de rotondas ofrece varias ventajas en comparación con otros tipos de intersecciones viales. Algunas de las principales ventajas son:

- **Flujo continuo de tráfico:** Las rotondas permiten un flujo continuo de tráfico, ya que los vehículos se unen al flujo principal sin necesidad de detenerse por semáforos o señales de alto. Esto reduce la congestión y mejora la eficiencia del tráfico.
- **Reducción de colisiones:** Las rotondas han demostrado ser más seguras que otros tipos de intersecciones. La falta de giros a la izquierda cruzando el tráfico en movimiento y la reducción de conflictos potenciales entre vehículos disminuyen la probabilidad de colisiones graves.
- **Menor velocidad y gravedad de los accidentes:** Las rotondas suelen requerir que los conductores reduzcan la velocidad al ingresar y salir de

ellas. Esto, junto con la dirección unidireccional del tráfico, ayuda a reducir la gravedad de los accidentes y las lesiones en caso de colisiones.

- **Eficiencia en la capacidad de tráfico:** Las rotondas tienen la capacidad de manejar volúmenes de tráfico más altos en comparación con otros tipos de intersecciones. Esto se debe a la eliminación de tiempos de espera y al flujo continuo de vehículos.
- **Menor consumo de combustible y emisiones:** Al reducir la necesidad de detenerse y acelerar, las rotondas ayudan a reducir el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos. Esto contribuye a la protección del medio ambiente (Cerquera, 2007).

En cuanto a la legislación en algunos países, muchas naciones han adoptado regulaciones y normativas específicas para el diseño, construcción y uso de rotondas. Estas legislaciones varían según el país, pero generalmente cubren aspectos como las dimensiones mínimas de la rotonda, las señales y marcas de pavimento requeridas, las prioridades de circulación y los requisitos de seguridad.

Por ejemplo, en Estados Unidos, el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control del Tráfico establece pautas para el diseño y uso de rotondas. En el Reino Unido, el Código de Carreteras establece reglas para las rotondas, incluyendo la prioridad de circulación y las indicaciones para los conductores.

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico – 2018, se visualiza los elementos de diseño en rotondas:

a) Criterios generales:

- **Volumen de tráfico:** El diseño de una rotonda debe basarse en el volumen de tráfico esperado en la intersección. Se deben considerar el número de vehículos que ingresarán y circularán por la rotonda para determinar el tamaño adecuado y la cantidad de carriles necesarios.
- **Espacio disponible:** El diseño de la rotonda debe adaptarse al espacio disponible en la ubicación de la intersección. Se deben considerar las dimensiones

del área circundante, la geometría de las vías de acceso y salida, y cualquier restricción física que pueda afectar el diseño de la rotonda.

– **Radios de giro:** Los radios de giro de los ramales de entrada y salida deben ser lo suficientemente amplios para permitir que los vehículos maniobren de manera segura sin tener que reducir drásticamente la velocidad. Esto ayuda a mantener un flujo continuo de tráfico y a reducir el riesgo de colisiones.

b) Criterios geométricos.

En la siguiente tabla se presentan los criterios de diseño geométrico aplicables a las glorietas.

Tabla 1

Criterios de diseño geométrico de rotondas

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MAGNITUD
Diámetro mínimo de la isla central		m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito		m	50
Relación W/L (Sección entrecruzamiento)			Entre 0.25 y 0.40
Ancho sección entrecruzamiento (W)		m	Maximo 15
Radio interior mínimo de los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40
Ángulo ideal de entrada			60°
Ángulo ideal de salida			30°

- **Diámetro de la rotonda:** El diámetro de la rotonda es un factor clave que determina el tamaño general de la intersección. Un diámetro mayor permite un mayor volumen de tráfico y facilita la circulación de vehículos más grandes, como autobuses y camiones. Sin embargo, el diámetro no debe ser tan grande que dificulte el movimiento de los vehículos más pequeños.
- **Ancho de carriles:** Los carriles de circulación dentro de la rotonda deben tener un ancho adecuado para permitir un tránsito seguro de los vehículos. Un ancho típico de carril para una rotonda es de 3,5 a 4 metros, aunque puede variar según las regulaciones locales y el volumen de tráfico esperado.

- **Radios de giro:** Los radios de giro son las curvas suaves que conectan los ramales de entrada y salida con la rotonda. Estos radios deben ser lo suficientemente amplios para permitir que los vehículos realicen giros sin tener que reducir drásticamente la velocidad. Los radios de giro típicos varían entre 15 y 30 metros, dependiendo del tamaño de la rotonda y del tipo de vehículos que la utilizarán.
- **Anchura de los ramales:** Los ramales de entrada y salida deben tener suficiente anchura para permitir el flujo adecuado de vehículos. El ancho típico de los ramales varía entre 3 y 4 metros, aunque se puede requerir un ancho mayor para acomodar el tráfico de vehículos pesados o para facilitar la entrada y salida de múltiples carriles.
- **Islas y separadores:** Las islas centrales y los separadores en las ramas de entrada y salida ayudan a guiar el flujo de tráfico y a separar los movimientos de entrada y salida. Estos elementos deben tener un ancho y una forma adecuados para mantener una circulación segura y ordenada de los vehículos.
- **Pendientes y peraltes:** Las rotondas deben diseñarse con pendientes y peraltes adecuados para permitir un drenaje adecuado y minimizar la acumulación de agua en la superficie de la rotonda. Además, las pendientes y peraltes ayudan a garantizar una conducción cómoda y segura para los usuarios de la rotonda (Darder Gallardo, 2005).

Tabla 2

Comprobación del vehículo de diseño

Manual Portugués		Manual U.S.A		Manual Español		MANUAL DE DMQ
Tipo de vehículo	Longitud (m)	Tipo de vehículo	Longitud (m)	Tipo de vehículo	Longitud (m)	
Semiremolque	16.5	WB-50 (WB15)	15.24	Vehículo articulado con eje simple	16.5	Se debe realizar un estudio de tráfico en las entradas, escogiendo el más desfavorable

El Manual de Diseño Geométrico (Sánchez-Flores & Romero-Torres, 2010) sección 202 indica: Vehículo de diseño; indica que al seleccionar el vehículo de diseño hay que tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía. Normalmente, hay una participación suficiente de vehículos pesados para condicionar las características del proyecto de carretera. Por consiguiente, el vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses).

Las características de los vehículos indicados, definen los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera. Así, por ejemplo:

- El ancho del vehículo adoptado incide en los anchos del carril, calzada, bermas y sobreebanco de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo.
- La distancia entre los ejes influye en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles.
- La relación de peso bruto total/potencia, guarda relación con el valor de las pendientes admisibles.

Conforme al Reglamento Nacional de Vehículos, consideran los siguientes tipos de vehículos:

❖ Vehículos ligeros

En general, el término "vehículos ligeros" se utiliza para referirse a una categoría de vehículos que son más pequeños y de menor peso en comparación con otros tipos de vehículos. Aunque las especificaciones exactas pueden variar según el país y la legislación específica, los vehículos ligeros suelen incluir:

- **Automóviles de pasajeros:** Los automóviles de pasajeros de tamaño pequeño a mediano se consideran vehículos ligeros. Suelen tener capacidad para transportar hasta cinco pasajeros y su peso total no suele superar ciertos límites establecidos por la legislación.
- **Motocicletas y ciclomotores:** Las motocicletas y ciclomotores también se consideran vehículos ligeros. Estos vehículos de dos ruedas tienen

motores de baja cilindrada y peso relativamente bajo. Las especificaciones exactas pueden variar según la legislación, pero generalmente tienen restricciones de potencia y cilindrada.

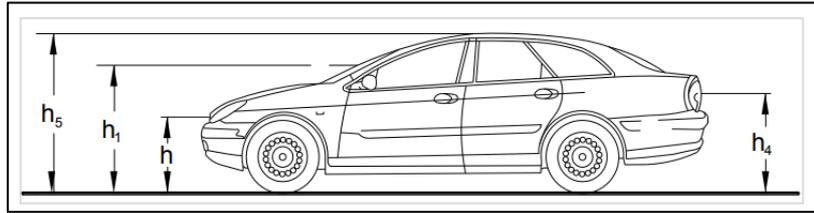
- **Vehículos utilitarios deportivos (SUV) compactos:** Los SUV compactos son automóviles de mayor tamaño que los automóviles de pasajeros tradicionales, pero aún se consideran vehículos ligeros en comparación con SUV más grandes. Estos vehículos ofrecen una mayor altura y capacidad de carga, pero su peso total sigue siendo relativamente bajo.
- **Vehículos utilitarios y furgonetas pequeñas:** Las furgonetas pequeñas y los vehículos utilitarios de tamaño compacto también se clasifican como vehículos ligeros. Estos vehículos están diseñados para el transporte de mercancías o pasajeros en una capacidad más reducida en comparación con sus contrapartes más grandes.

Para calcular las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento, es necesario establecer diferentes alturas relacionadas con los vehículos ligeros, que abarquen las situaciones más favorables en términos de visibilidad. Estas alturas son las siguientes:

- **Altura de los faros delanteros (h):** Se considera una altura de 0.60 metros para los faros delanteros de los vehículos ligeros.
- **Altura de los ojos del conductor (h1):** Se establece una altura de 1.07 metros para los ojos del conductor de un vehículo ligero.
- **Altura de un obstáculo fijo en la carretera (h2):** Se toma una altura de 0.15 metros para representar un obstáculo fijo en la carretera.
- **Altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería (h4):** Se considera una altura de 0.45 metros para las luces traseras de un automóvil o para representar la altura mínima perceptible de la carrocería.
- **Altura del techo de un automóvil (h5):** Se establece una altura de 1.30 metros para representar el techo de un automóvil.

Figura 3

Vehículos ligeros



❖ Vehículos pesados

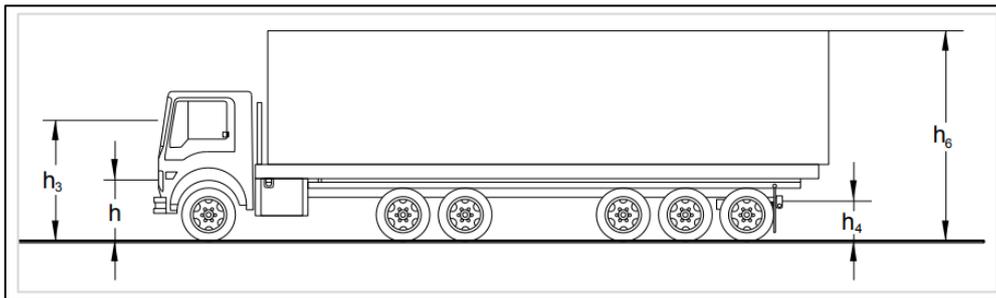
Los vehículos pesados son aquellos que tienen un peso total significativamente mayor en comparación con los vehículos ligeros. A menudo se utilizan para transportar cargas pesadas o llevar a cabo tareas especializadas. Las especificaciones de los vehículos pesados pueden variar según la legislación y los reglamentos específicos de cada país, así como el propósito y la función del vehículo. Aquí hay algunas categorías comunes de vehículos pesados y sus especificaciones generales:

- **Camiones de carga:** Los camiones de carga son vehículos diseñados para transportar mercancías. Pueden variar en tamaño y capacidad de carga, desde camiones ligeros hasta camiones pesados de larga distancia. Las especificaciones comunes pueden incluir:
 - ✓ **Peso bruto del vehículo (GVW):** El peso total máximo permitido para el camión, incluida la carga y el vehículo en sí mismo.
 - ✓ **Capacidad de carga:** La cantidad máxima de carga que el camión puede transportar de manera segura.
 - ✓ **Configuración de ejes:** Los camiones pueden tener diferentes configuraciones de ejes, como 4x2 (dos ejes traseros) o 6x4 (tres ejes con tracción en las ruedas traseras).
- **Autobuses de pasajeros:** Los autobuses de pasajeros son vehículos diseñados para transportar a un gran número de personas. Pueden ser autobuses urbanos, interurbanos o de larga distancia. Las especificaciones pueden incluir:

- ✓ **Capacidad de pasajeros:** El número máximo de pasajeros que el autobús puede transportar.
 - ✓ **Longitud y altura:** Las dimensiones físicas del autobús, que pueden variar según el modelo y el propósito del vehículo.
- **Vehículos de construcción:** Los vehículos de construcción se utilizan en actividades de construcción y obras públicas. Pueden incluir retroexcavadoras, grúas, volquetes y excavadoras, entre otros. Las especificaciones pueden incluir:
- ✓ **Capacidad de carga o elevación:** La cantidad máxima de carga que el vehículo puede transportar o levantar.
 - ✓ **Potencia del motor:** La potencia del motor, medida en caballos de fuerza (HP) o kilovatios (kW).
- **Vehículos especializados:** Esta categoría incluye vehículos diseñados para tareas especializadas, como vehículos de bomberos, vehículos de rescate, vehículos militares o vehículos de servicios públicos. Las especificaciones pueden variar ampliamente según el propósito y la función del vehículo.
- ✓ **Altura de los faros delanteros (h):** Se establece una altura de 0.60 metros para los faros delanteros de un vehículo.
 - ✓ **Altura de los ojos de un conductor de camión o autobús, necesaria para verificar la visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras (h3):** Se requiere una altura de 2.50 metros para los ojos del conductor en estas situaciones específicas.
 - ✓ **Altura de las luces traseras de un automóvil o altura mínima perceptible de la carrocería (h4):** Se considera una altura de 0.45 metros para las luces traseras de un automóvil o para representar la altura mínima perceptible de la carrocería.
 - ✓ **Altura del techo de un vehículo pesado (h6):** Se establece una altura de 4.10 metros para representar el techo de un vehículo pesado.

Figura 4

Vehículos pesados





CAPÍTULO II
CAPACIDAD VEHICULAR

2.1 Criterios de la capacidad vehicular

La capacidad vehicular se refiere a la capacidad máxima de tráfico o flujo de vehículos que una determinada vía o infraestructura vial puede soportar de manera eficiente y segura en un período de tiempo determinado. Representa el número de vehículos que pueden pasar por una sección específica de una carretera o una intersección en un intervalo de tiempo determinado.

La capacidad vehicular depende de varios factores, como el tipo y el ancho de la vía, el diseño y la geometría de la infraestructura vial, las características del tráfico, como la densidad y la composición de los vehículos, así como las condiciones ambientales y climáticas.

La capacidad vehicular se mide generalmente en términos de vehículos por hora (veh/h) y se utiliza para determinar la capacidad de una carretera existente, diseñar nuevas infraestructuras viales, evaluar la eficiencia del tráfico, identificar cuellos de botella y planificar mejoras en la infraestructura vial para mejorar el flujo vehicular y reducir la congestión.

Es importante tener en cuenta que la capacidad vehicular no debe confundirse con el volumen de tráfico, que se refiere al número real de vehículos que pasan por una sección de la vía en un período de tiempo determinado. La capacidad vehicular representa la capacidad máxima teórica de la infraestructura vial, mientras que el volumen de tráfico refleja la cantidad real de vehículos que utilizan la vía en condiciones normales de tráfico (Dueñas-Ruiz & Jaimes-Monsalve, 2008).

2.2 Highway Capacity Manual

El *Highway Capacity Manual* (HCM) es un manual de referencia ampliamente utilizado en ingeniería de tráfico y transporte para evaluar y analizar la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras y otras infraestructuras de transporte. Es publicado por el *Transportation Research Board* (TRB), una división de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (HCM, 2010).

El HCM proporciona una guía detallada y basada en investigaciones para el diseño, análisis y evaluación del rendimiento de diferentes elementos de la red vial, incluyendo carreteras, intersecciones y carriles exclusivos para autobuses. El manual incluye metodologías, modelos y herramientas para estimar la capacidad vehicular, la velocidad promedio, la congestión, los niveles de servicio y otros parámetros clave relacionados con el flujo del tráfico.

Además, el HCM aborda una amplia gama de condiciones de tráfico y situaciones, como carreteras urbanas y rurales, carriles de alta ocupación, peajes, carreteras de montaña, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, entre otros. Proporciona información sobre las características del tráfico, las características geométricas de la vía, el comportamiento de los conductores y las interacciones vehiculares, con el objetivo de ayudar a los ingenieros y planificadores a tomar decisiones informadas en el diseño y operación de las carreteras.

El *Highway Capacity Manual* es ampliamente utilizado por profesionales en ingeniería de tráfico, agencias gubernamentales, planificadores de transporte y consultores para evaluar el rendimiento del sistema vial, realizar estudios de impacto de tráfico, analizar proyectos de construcción de carreteras, y desarrollar soluciones para mejorar la eficiencia y seguridad del transporte en general.

El procedimiento explicado por el HCM es:

a. Recopilación, análisis de datos, determinación de índices de flujo en la rotonda y ajustes por flota mixta de vehículos.

La determinación de los índices de flujo en una rotonda implica medir y analizar la cantidad de vehículos que pasan por la rotonda en un período de tiempo determinado. Estos índices de flujo proporcionan información importante sobre la capacidad y el rendimiento de la rotonda, y se utilizan para evaluar la eficiencia del tráfico y planificar mejoras en la infraestructura vial.

Para determinar los índices de flujo en una rotonda, se pueden utilizar diferentes técnicas y métodos, como el conteo manual de vehículos, el uso de dispositivos

de medición automática del tráfico (como sensores de bucle o cámaras de video), o el análisis de datos de peaje o tarjetas de transporte.

Cuando se trata de ajustes por flota mixta de vehículos, se refiere a considerar la presencia de diferentes tipos de vehículos en el flujo de tráfico de la rotonda. Los diferentes tipos de vehículos, como automóviles, camiones ligeros, camiones pesados, autobuses, motocicletas, entre otros, tienen características y comportamientos de tráfico distintos que pueden afectar la capacidad y el nivel de servicio de la rotonda.

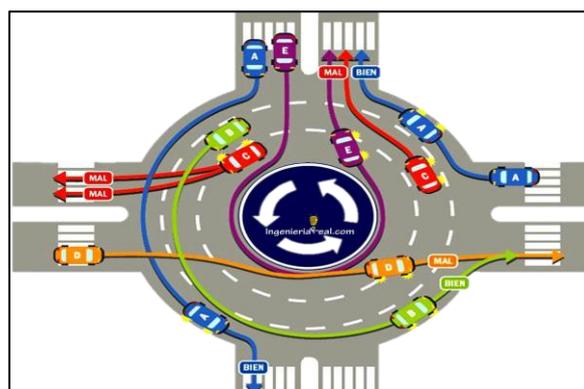
Para realizar ajustes por flota mixta de vehículos, se pueden utilizar factores de equivalencia que toman en cuenta las diferencias en el tamaño, la velocidad y la demanda de espacio de los diferentes tipos de vehículos. Estos factores permiten ajustar los índices de flujo para reflejar de manera más precisa el impacto de la mezcla de vehículos en la capacidad y el rendimiento de la rotonda.

Es importante considerar los ajustes por flota mixta de vehículos en el diseño y análisis de rotondas, ya que la presencia de vehículos de diferentes tamaños y características puede influir en la circulación, las maniobras de entrada y salida, y la seguridad en general. Estos ajustes ayudan a obtener estimaciones más precisas de los índices de flujo y a tomar decisiones informadas en el diseño y operación de las rotondas (NCHRP, s.f.).

Los movimientos de una rotonda moderna están ilustrados en la siguiente figura:

Figura 5

Movimientos de una rotonda



Estimación de la tasa de flujo

La tasa de flujo se refiere a la cantidad de vehículos que pasan por un punto o movimiento específico en un período de tiempo determinado. En el contexto de una rotonda, los movimientos vehiculares principales que se consideran son:

- **Entrada a la rotonda:** La tasa de flujo de entrada a la rotonda se refiere al número de vehículos que ingresan a la rotonda desde los accesos o carriles de entrada.
- **Circulación en la rotonda:** La tasa de flujo de circulación en la rotonda se refiere al número de vehículos que ya están dentro de la rotonda y están circulando en su interior.
- **Salida de la rotonda:** La tasa de flujo de salida de la rotonda se refiere al número de vehículos que abandonan la rotonda y se dirigen hacia las salidas correspondientes.

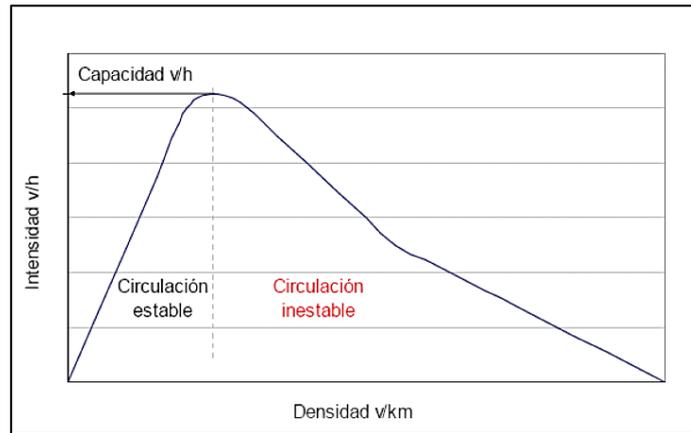
Es importante tener en cuenta que cada uno de estos movimientos vehiculares puede tener tasas de flujo diferentes debido a factores como la geometría de la rotonda, el volumen de tráfico, las preferencias de ruta y la capacidad de las salidas.

La tasa de flujo se mide generalmente en vehículos por hora (veh/h) y se utiliza para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de la rotonda. Estas tasas de flujo pueden variar según la hora del día, los días de la semana y las condiciones específicas de tráfico.

Es importante realizar estudios de campo o utilizar técnicas de recopilación de datos adecuadas para determinar con precisión las tasas de flujo para cada movimiento vehicular en una rotonda específica, ya que estas tasas de flujo son fundamentales para el diseño y la evaluación de la eficiencia del tráfico en la rotonda (NCHRP, s.f.).

Figura 6

Relación de intensidad y densidad vehicular



b. Cálculo de capacidad de entrada

Tabla 3

Resumen de modelos operacionales para rotondas

PAÍS	AUTOR	TIPO	PARÁMETRO DE ENTRADA
Perú	Wardrop	Brecha de aceptación	Sección de entrecruzamiento
UK	Kimber	Regresión lineal	Flujo de circulación, ancho de entrada, ángulo de entrada, radio de entrada, diámetro del círculo inscrito
EEUU	HCM	Brecha de aceptación	Flujo de circulación, flujo de entrada
Australia	Trotbeck	Brecha de aceptación	Flujo de circulación, flujo de entrada, número de carriles, ancho de entrada, diámetro de círculo inscrito

El cálculo de la capacidad de entrada para rotondas se refiere a determinar la cantidad máxima de vehículos que pueden ingresar a la rotonda desde los accesos o carriles de entrada en un período de tiempo determinado. La capacidad de entrada es un parámetro importante para evaluar el rendimiento y la eficiencia del tráfico en la rotonda.

Existen diferentes métodos y modelos para calcular la capacidad de entrada en rotondas, y uno de los más utilizados es el método del *Highway Capacity Manual*

(HCM). El HCM proporciona un enfoque basado en investigaciones y modelos empíricos para estimar la capacidad de entrada en rotondas.

El cálculo de la capacidad de entrada generalmente se basa en factores como la geometría de la rotonda, la demanda de tráfico, las características de los vehículos y el comportamiento de los conductores. Algunos de los parámetros y variables que se consideran en el cálculo de la capacidad de entrada incluyen:

- **Tiempo de ocupación:** Es el tiempo que un vehículo ocupa un determinado tramo de la rotonda durante su maniobra de entrada.
- **Espacio de almacenamiento:** Se refiere al espacio disponible en los carriles de entrada para acomodar los vehículos que esperan para ingresar a la rotonda.
- **Tiempo de retardo:** Es el tiempo que un vehículo debe esperar antes de poder ingresar a la rotonda debido a la presencia de otros vehículos.
- **Flujo de demanda:** Es el número de vehículos que desean ingresar a la rotonda en un período de tiempo determinado.

Utilizando los datos y parámetros relevantes, se aplican las ecuaciones y modelos correspondientes para calcular la capacidad de entrada en la rotonda. Estos cálculos proporcionan una estimación de la cantidad máxima de vehículos que pueden ingresar de manera eficiente y segura a la rotonda.

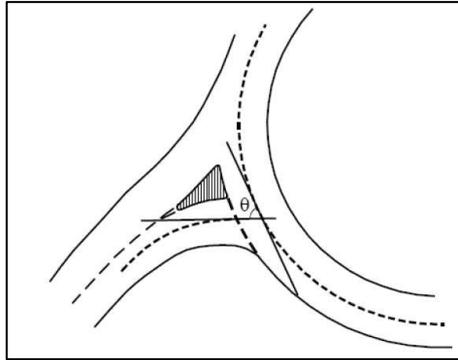
Es importante tener en cuenta que la capacidad de entrada puede variar según las condiciones de tráfico y las características específicas de la rotonda. Además, los métodos de cálculo pueden diferir según los estándares y guías de diseño específicos de cada país o región. Por lo tanto, es recomendable consultar los manuales y las normativas aplicables para realizar el cálculo de capacidad de entrada de rotondas de manera precisa y acorde a las condiciones locales.

Si el ángulo de entrada de una rotonda es pequeño, se generan movimientos bruscos que a menudo resultan en choques laterales-frontales entre los vehículos, así como en choques por pérdida de control. Por otro lado, si el ángulo de entrada

es alto, los vehículos ingresan a la rotonda a altas velocidades, lo que aumenta la probabilidad de accidentes de tipo angular- angular.

Figura 7

Ángulo de entrada



c. Cálculo de capacidad de salida

El cálculo de la capacidad de salida en rotondas se refiere a determinar la cantidad máxima de vehículos que pueden abandonar la rotonda desde las salidas correspondientes en un período de tiempo determinado. La capacidad de salida es un parámetro importante para evaluar el rendimiento y la eficiencia del tráfico en la rotonda.

Al igual que con el cálculo de la capacidad de entrada, existen diferentes métodos y modelos para calcular la capacidad de salida en rotondas. Estos métodos generalmente consideran factores como la geometría de la rotonda, la demanda de tráfico, las características de los vehículos y el comportamiento de los conductores (NCHRP, s.f.).

Algunas de las características geométricas que influyen en el cálculo de la capacidad de salida en rotondas son:

- **Número y longitud de carriles de salida:** La cantidad y la longitud de los carriles de salida disponibles en la rotonda influyen en la capacidad de salida. A mayor número y longitud de carriles de salida, mayor será la capacidad de la rotonda para permitir que los vehículos abandonen de manera eficiente.

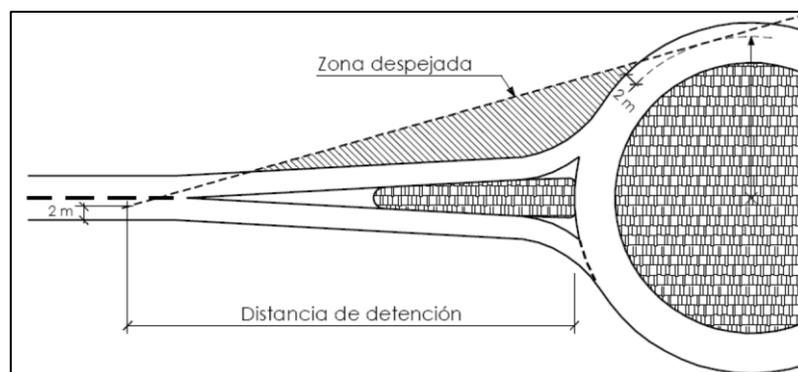
- **Radio de giro de las curvas de salida:** El radio de giro de las curvas de salida determina la facilidad con la que los vehículos pueden maniobrar y salir de la rotonda. Curvas con un radio de giro más amplio facilitan el flujo de vehículos y aumentan la capacidad de salida.
- **Separación y señalización de carriles:** Una adecuada separación y señalización de los carriles de salida en la rotonda ayuda a los conductores a tomar las salidas de manera segura y sin interrupciones. Una buena señalización también contribuye a una mejor capacidad de salida.

En cuanto al cálculo de la capacidad de salida, se utilizan modelos y ecuaciones específicas que consideran estos factores geométricos y de tráfico para estimar la cantidad máxima de vehículos que pueden salir de manera eficiente de la rotonda en un determinado intervalo de tiempo.

Es importante tener en cuenta que la capacidad de salida puede variar según las condiciones de tráfico, las características de los vehículos y otros factores específicos de cada rotonda. Por lo tanto, se recomienda utilizar los métodos y criterios de diseño adecuados, basados en normas y estándares reconocidos, para calcular la capacidad de salida y diseñar rotondas que permitan un flujo de tráfico seguro y eficiente (NCHRP, s.f.).

Figura 8

Distancia de parada en la aproximación



Se ha observado que existe una consistencia en la forma en que se determina la distancia de parada dentro del anillo de circulación en diferentes normas y

reglamentos. También se ha encontrado similitud en la forma de medición de esta distancia.

Para medir la distancia de parada, se toma como referencia un punto ubicado dos metros separados del borde de la isla central dentro del anillo de circulación. A partir de ese punto, se mide la distancia en forma circular hasta el punto de interés.

Esta metodología de medición permite tener una referencia estandarizada para evaluar la distancia de parada dentro de una rotonda y facilita la comparación entre diferentes diseños y normativas. Al establecer una distancia de parada consistente, se promueve la seguridad vial y se busca evitar posibles colisiones o accidentes dentro de la rotonda (NCHRP, s.f.).

Figura 9

Distancia de parada en el anillo de circulación

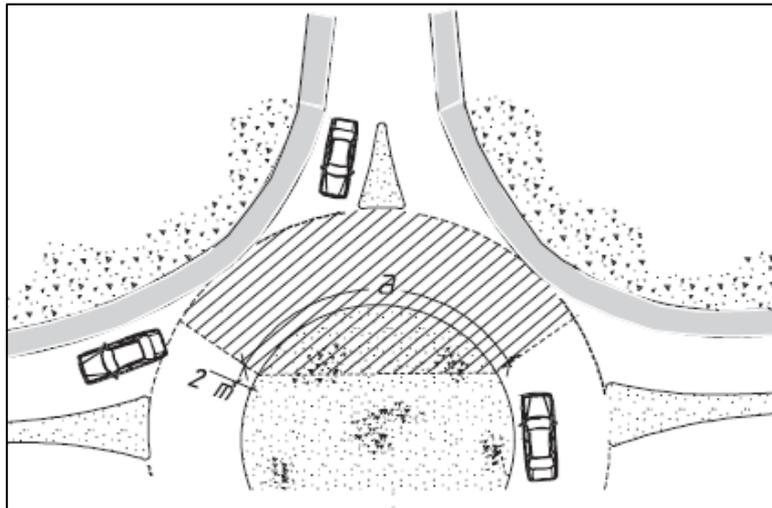
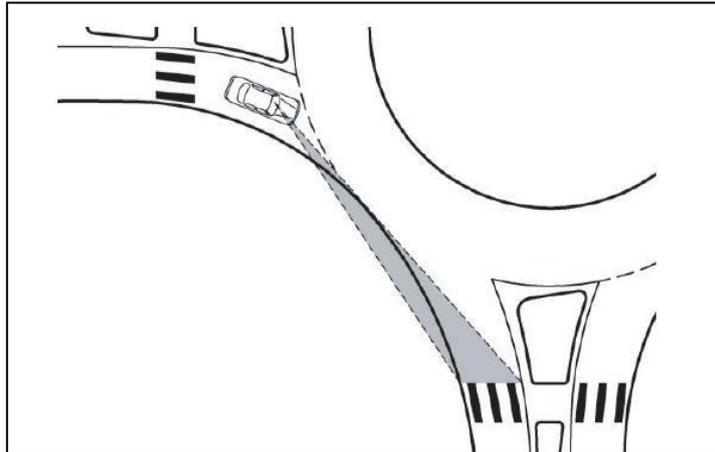


Figura 10

Distancia de parada para carriles de salida



d. Métodos de cálculo de entrada a la rotonda

• **Fórmula de WARDROP:**

Para el cálculo de la capacidad de una rotonda, se cuenta con el criterio de la sección de entrecruzamiento, Fórmula de Wardrop, detallado en la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Fórmula de Wardrop

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

Ecuación 2. Ancho promedio de entrada

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

Donde:

Q_p = Capacidad de sección de entrecruzamiento, vehículos/hora.

W = ancho de la sección de entrecruzamiento, m.

e = ancho promedio de las entradas a la rotonda, m.

e_1, e_2 = ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, m.

L = Longitud de la sección de entrecruzamiento, m.

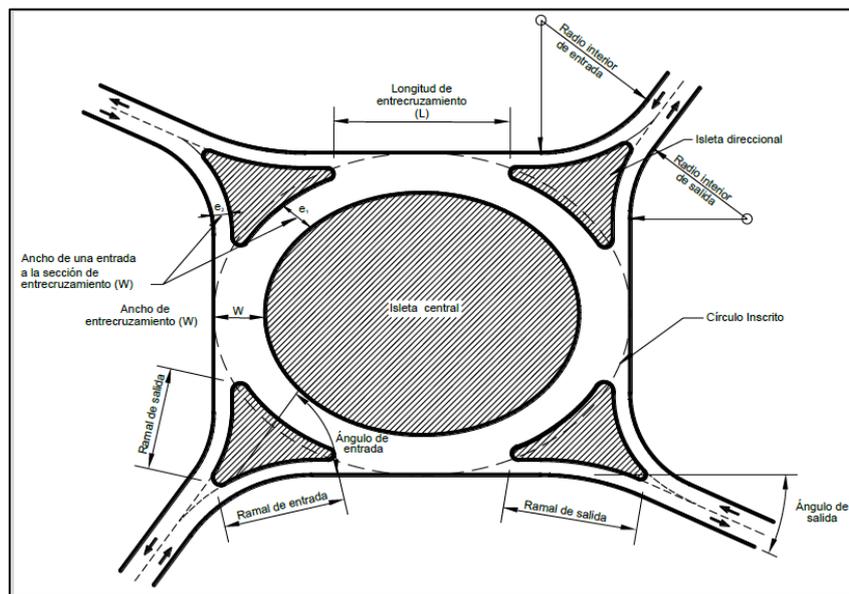
El procedimiento recomendado a realizarse es el siguiente:

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

En la siguiente figura, se muestran los elementos contenidos en la fórmula de Wardrop.

Figura 11

Elementos contenidos en la fórmula de Wardrop



• **Fórmula de KIMBER (UK):**

La Fórmula de KIMBER es una fórmula utilizada en ingeniería vial para calcular la distancia de visibilidad requerida en una carretera o vía. Esta fórmula fue desarrollada por el ingeniero británico F. B. Kimber y se utiliza para determinar la distancia mínima necesaria para que un conductor pueda ver y reaccionar ante un obstáculo en la vía (NCHRP, s.f.).

La fórmula de KIMBER se basa en varios factores, incluyendo la velocidad del vehículo, el tiempo de reacción del conductor y la pendiente de la carretera. La fórmula matemática es la siguiente:

Ecuación 3. Fórmula de Kimber

$$D = V * t + (V^2) / (2 * g * a)$$

Donde:

D es la distancia de visibilidad requerida (en metros).

V es la velocidad del vehículo (en metros por segundo).

t es el tiempo de reacción del conductor (en segundos).

g es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9.8 m/s²).

a es la pendiente de la carretera (como fracción decimal).

Ecuación 4. Parámetros calibrados

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

$$F = 303 \times x$$

$$f_c = 0.210 \times t \times (1 + 0.2x)$$

$$t = 1 + \left[\frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}} \right]$$

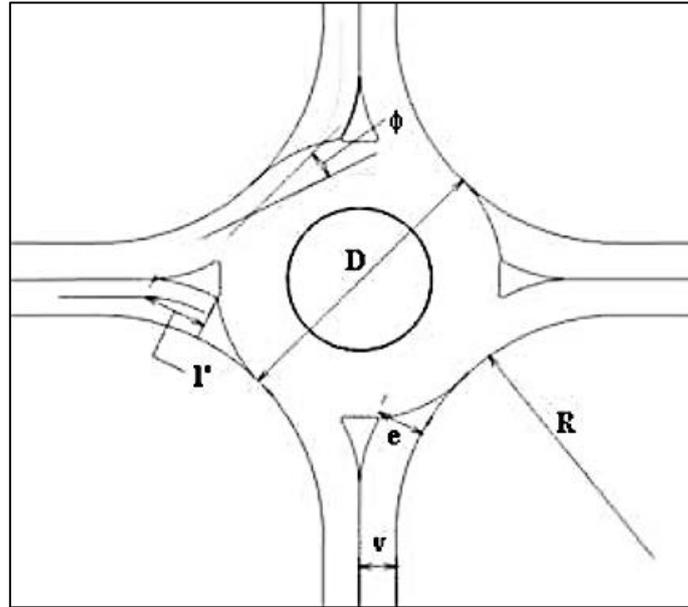
$$x = v + \frac{(g-v)}{(1+2S)}$$

$$S = \frac{1.6 \times (g-v)}{l}$$

En la siguiente figura se pueden apreciar los parámetros geométricos básicos:

Figura 12

Parámetros geométricos de una rotonda



Donde:

e = Ancho de la entrada (m)

v = Ancho del acceso de entrada (m)

l' = Longitud efectiva del abocinamiento de entrada (m)

S = Agudeza del abocinamiento

D = Diámetro del círculo inscrito (m)

ϕ = Ángulo de entrada ($^{\circ}$)

R = Radio de entrada (m)

El cálculo del flujo que aporta cada entrada es un proceso iterativo que comienza asumiendo una Q_c (flujo circulante) nula en un tramo de la calzada anular anterior a una entrada, entonces se obtiene un valor de $Q_e = F$.

A este Q_e se le restan los vehículos que salen en la próxima salida, convirtiéndose así en la Q_c (flujo circulante) para la próxima entrada, luego se calcula el nuevo Q_e (capacidad de entrada) en función de ese Q_c (flujo circulante), utilizando la fórmula del apartado anterior. Así se puede calcular la Q_c (flujo circulante) para la próxima entrada, en progresión a lo largo de la rotonda. Cuando, después de un ciclo completo, se haya calculado la Q_c (flujo circulante) para la primera

entrada, se puede determinar una Q_c (flujo circulante) revisada, que puede ser el comienzo de una segunda iteración, y se repite todo el proceso. Después de varias iteraciones, los flujos de entrada de cada ramal convergen hacia sus valores finales (NCHRP, s.f.).

Figura 13

Dimensiones geométricas de entrada a la rotonda

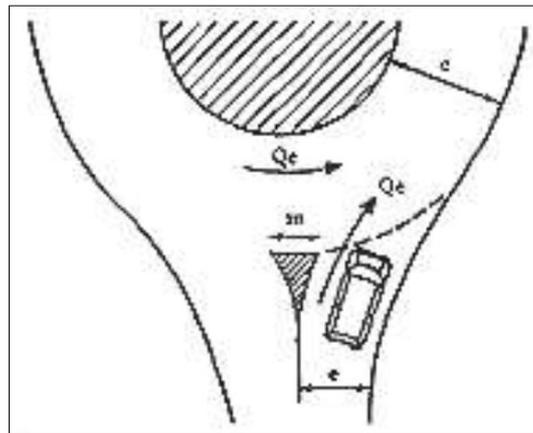
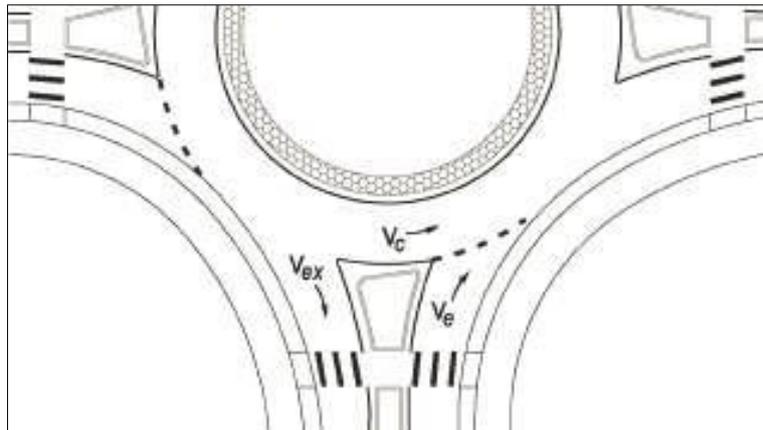


Figura 14

Flujos de tránsito en una entrada de rotonda



* REGLA DE ORO: Si la suma de los volúmenes que entran y circulan por cada aproximación es inferior a 1.000 veh/h, entonces es probable que una rotonda de un solo carril opere en forma aceptable.

El procedimiento para el cálculo de la capacidad de una rotonda o de una de sus entradas, puede ser complicado y sería el siguiente:

- Recopilación de datos: Se recopilan datos relevantes sobre la rotonda, como la geometría de la rotonda (diámetros, carriles, entradas y salidas), características de los vehículos (velocidad, aceleración, longitud) y demanda de tráfico (flujos de entrada y salida, distribución de volúmenes).
- Clasificación de vehículos: Se clasifican los vehículos en diferentes categorías según su tipo (ligeros, pesados) y características específicas.
- Determinación de tasas de flujo: Se calculan las tasas de flujo de entrada y salida para cada categoría de vehículos. Estas tasas de flujo se expresan generalmente en vehículos por hora (veh/h) y se basan en los datos recopilados de la demanda de tráfico.
- Análisis de capacidad de cada movimiento: Se evalúa la capacidad de cada movimiento vehicular en la rotonda, como la entrada a la rotonda, la circulación en la rotonda y la salida de la rotonda. Para ello, se utilizan modelos y métodos específicos que consideran la geometría de la rotonda, los flujos de tráfico y las características de los vehículos.
- Cálculo de la capacidad total: Se suma la capacidad de cada movimiento vehicular para obtener la capacidad total de la rotonda. Esta capacidad se expresa generalmente en vehículos por hora (veh/h).

• **Método HCM 2010:**

En el caso específico del cálculo de capacidad de un carril, el HCM (2010) ofrece diferentes métodos y modelos que toman en cuenta factores como la geometría de la carretera, las características de los vehículos y el comportamiento de los conductores. Estos métodos se basan en investigaciones y estudios de campo para estimar la cantidad máxima de vehículos que un carril puede acomodar de manera eficiente y segura.

Algunos de los métodos más comunes utilizados en el HCM (2010) para el cálculo de capacidad de un carril son:

Método de flujo libre no interrumpido (*Uninterrupted Flow Method*): Este método se utiliza para calcular la capacidad de un carril en condiciones de flujo libre,

donde no hay obstáculos ni interrupciones significativas en el tráfico. Se basa en la velocidad y el seguimiento de los vehículos para estimar la capacidad del carril.

Método de capacidad de flujo interrumpido (*Interrupted Flow Capacity Method*): Este método se utiliza para calcular la capacidad de un carril en condiciones de tráfico congestionado, donde hay interrupciones frecuentes debido a señales, semáforos u otros factores. Se considera la interacción entre los vehículos y se tiene en cuenta el tiempo de espera y las demoras para determinar la capacidad del carril.

Método de capacidad basado en velocidad (*Speed-Based Capacity Method*): Este método se utiliza para calcular la capacidad de un carril en función de la velocidad promedio de los vehículos. Se toman en cuenta las variaciones de velocidad y se establecen límites de capacidad en función de los diferentes rangos de velocidad.

El HCM proporciona tablas, gráficos y ecuaciones específicas para cada uno de estos métodos, lo que permite a los ingenieros y profesionales de tráfico determinar la capacidad de un carril en diferentes escenarios. Estos cálculos son fundamentales para el diseño y gestión eficiente de las carreteras, ya que permiten evaluar la capacidad de los carriles y planificar adecuadamente el flujo de tráfico (HCM, 2010).

Ecuación 5. Fórmula del HCM 2010

$$C_{e,pce} = 1.130e^{(-1.0 \times 10^{-3})v_{c,pce}}$$

Donde:

$C_{e,pce}$ = Capacidad de carril, ajustado para los vehículos pesados, cp/h

$v_{c,pce}$ = Flujo de conflicto en el carril de circulación, cp/h

Las siguientes ecuaciones darán la capacidad de los carriles de la derecha e izquierda, respectivamente, de una entrada de rotonda de dos carriles con la oposición de dos carriles en conflicto:

Ecuación 6. Capacidad de carriles lado derecho e izquierdo

$$C_{e,R,pce} = 1.130e^{(-0.70 \times 10^{-3})v_{c,pce}}$$
$$C_{e,L,pce} = 1.130e^{(-0.75 \times 10^{-3})v_{c,pce}}$$

Donde:

$C_{e,R,pce}$ = Capacidad de la vía de entrada a la derecha, ajustado para los vehículos pesados, cp/h.

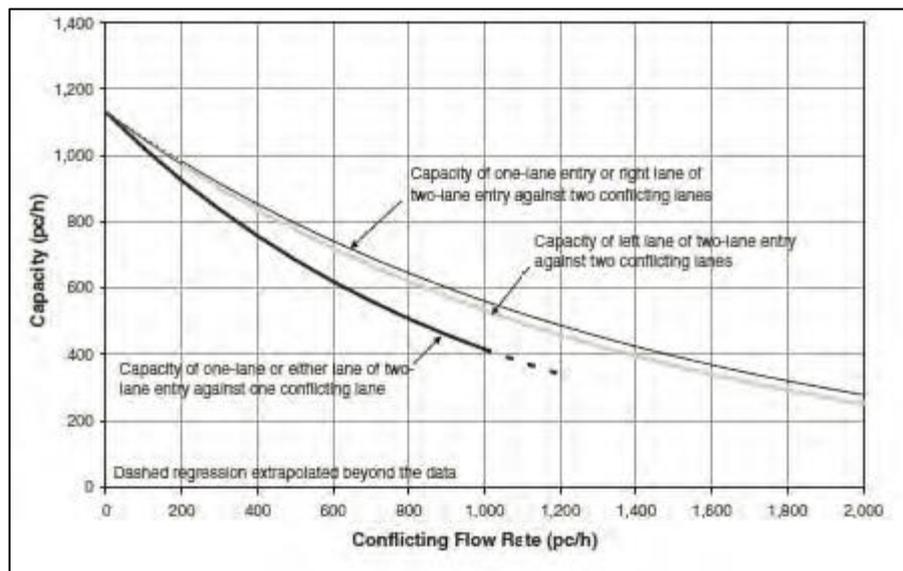
$C_{e,L,pce}$ = Capacidad de la vía de entrada a la izquierda, ajustado los vehículos pesados, cp/h.

$V_{c,pce}$ = Flujo de conflicto en el carril de circulación, cp/h.

En la siguiente figura se representa la ecuación antes indicada. Las líneas punteadas representan las porciones de curvas que se encuentran fuera del rango de datos de campo observados.

Figura 15

Capacidad del carril de entrada



e. Relación Volumen - Capacidad

El *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) establece una relación entre el volumen de tráfico y la capacidad de una carretera o sección vial. Esta relación se utiliza para determinar el nivel de servicio del tráfico y evaluar el grado de congestión en una determinada situación.

En el HCM, la relación volumen-capacidad se expresa generalmente en términos de una proporción o índice denominado "relación V/C" (volumen/capacidad). Esta relación se calcula dividiendo el volumen de tráfico observado en un período de tiempo determinado entre la capacidad teórica o máxima de la carretera en ese mismo período.

El valor resultante de la relación V/C se compara con los estándares o criterios definidos en el HCM para determinar el nivel de servicio del tráfico. El nivel de servicio se clasifica en diferentes categorías, que van desde A (libre flujo) hasta F (congestionado).

En general, cuando la relación V/C es inferior a 0.7 o 0.8, se considera que el tráfico está fluyendo de manera eficiente y se encuentra en niveles de servicio altos (A o B). A medida que la relación V/C se acerca a 1.0 y supera ese valor, se produce una mayor congestión y los niveles de servicio disminuyen (C, D, E, F).

Es importante tener en cuenta que la relación V/C es una herramienta para evaluar el nivel de servicio en una situación específica y proporciona una indicación general de la congestión del tráfico. Sin embargo, existen otros factores, como la distribución del flujo, la velocidad promedio y el comportamiento de los conductores, que también influyen en la calidad del servicio vial y deben tenerse en cuenta en el análisis completo del tráfico.

Ecuación 7. Relación Volumen - Capacidad

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

Donde:

V = volumen (veh/h)

C = capacidad (veh/h)

f. Control de demora

El control de demora es un concepto utilizado en el *Highway Capacity Manual* (HCM) para evaluar y gestionar los tiempos de demora experimentados por los vehículos en diferentes situaciones de tráfico. Se refiere al tiempo que un vehículo

debe esperar o retrasarse debido a la congestión del tráfico, como en un semáforo o en un área de alta densidad de vehículos.

El HCM (2010) proporciona herramientas y métodos para calcular y controlar la demora en diferentes escenarios de tráfico. Algunas de las consideraciones y aspectos relevantes relacionados con el control de demora en el HCM son:

- **Análisis de capacidad:** El HCM ofrece técnicas para determinar la capacidad de una carretera o una sección vial en función de factores como la geometría de la carretera, el flujo de tráfico y las características de los vehículos. Esto permite evaluar la capacidad de la infraestructura vial y anticipar los posibles tiempos de demora en situaciones de congestión.
- **Modelos de tráfico:** El HCM utiliza modelos y simulaciones de tráfico para predecir los tiempos de demora en diferentes condiciones de flujo. Estos modelos consideran variables como la demanda de tráfico, la geometría vial, los patrones de comportamiento de los conductores y las señales de control de tráfico.
- **Diseño y planificación:** El HCM proporciona pautas para el diseño y planificación de infraestructuras viales que puedan mitigar la congestión y minimizar los tiempos de demora. Esto puede incluir la optimización de la señalización de tráfico, la implementación de carriles adicionales, la mejora de los diseños de intersecciones y otras medidas de gestión del tráfico.
- **Niveles de servicio:** El HCM utiliza una clasificación de niveles de servicio (A a F) para evaluar la calidad y eficiencia del tráfico en diferentes condiciones. Un nivel de servicio alto (A o B) indica un flujo de tráfico fluido y tiempos de demora mínimos, mientras que un nivel de servicio bajo (C, D, E o F) implica mayores tiempos de demora y congestión.

El control de demora en el HCM tiene como objetivo principal gestionar y minimizar los tiempos de espera experimentados por los vehículos, mejorar la eficiencia del flujo de tráfico y proporcionar una experiencia de conducción más fluida y segura. Esto se logra mediante la implementación de medidas de gestión

del tráfico y el diseño de infraestructuras viales que puedan manejar de manera eficiente la demanda de tráfico y reducir los tiempos de demora (HCM, 2010).

Ecuación 8. Control de demora

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

Donde:

d = Demora total media seg./veh.

x = Relación volumen y capacidad

c = capacidad veh./h.

T = Periodo de tiempo de estudio (T=1, si es 1 hora, T=0.25 para 15 min)

g. Efecto de la geometría

La geometría de una carretera o vía tiene un impacto significativo en la capacidad vehicular, es decir, en la cantidad máxima de vehículos que pueden circular de manera eficiente y segura en un período de tiempo determinado. Algunos de los principales efectos de la geometría en la capacidad vehicular son los siguientes:

- **Número de carriles:** El número de carriles en una vía afecta directamente su capacidad. Cuantos más carriles haya, mayor será la capacidad de la vía, ya que permite a más vehículos circular al mismo tiempo. Por otro lado, una vía con un número insuficiente de carriles puede generar congestión y reducir la capacidad.
- **Ancho de los carriles:** El ancho de los carriles también influye en la capacidad vehicular. Carriles más anchos proporcionan más espacio para que los vehículos circulen, permitiendo una mayor capacidad. Los carriles estrechos pueden limitar el flujo de tráfico y reducir la capacidad, especialmente en presencia de vehículos grandes como camiones o autobuses.
- **Radios de giro:** Los radios de giro en las intersecciones y curvas también tienen un impacto en la capacidad vehicular. Radios de giro más amplios permiten que los vehículos realicen giros a una velocidad más alta, lo que

mejora el flujo de tráfico y aumenta la capacidad. Radios de giro estrechos requieren que los vehículos reduzcan la velocidad, lo que puede generar congestión y disminuir la capacidad.

- **Pendientes:** Las pendientes o gradientes en una vía también afectan la capacidad vehicular. Pendientes pronunciadas pueden reducir la velocidad de los vehículos, especialmente en ascensos, lo que disminuye la capacidad. Por otro lado, pendientes descendentes pueden permitir que los vehículos circulen a una velocidad más alta, lo que mejora la capacidad.
- **Distancia de visibilidad:** La geometría de una vía también influye en la distancia de visibilidad disponible para los conductores. Una mayor distancia de visibilidad permite a los conductores anticipar y reaccionar a situaciones de tráfico, lo que mejora la fluidez y la capacidad vehicular. Por el contrario, una distancia de visibilidad reducida puede generar retrasos y disminuir la capacidad.

h. Determinación de índices de flujo en rotondas

La determinación de los índices de flujo en rotondas se realiza para evaluar la capacidad y eficiencia de estas intersecciones viales. Los índices de flujo son valores que representan la cantidad de vehículos que pueden pasar por una rotonda en un período de tiempo determinado. Algunos de los índices de flujo comúnmente utilizados son:

- **Índice de flujo máximo:** Es el número máximo de vehículos que pueden pasar por la rotonda en una hora. Se expresa en vehículos por hora (vph). Este índice se utiliza para determinar la capacidad máxima teórica de la rotonda y evaluar su desempeño en situaciones de alto flujo de tráfico.
- **Índice de flujo de saturación:** Es el número de vehículos que pasan por la rotonda cuando la demanda de tráfico es máxima y la capacidad de la rotonda se alcanza o se aproxima a su límite. Este índice se utiliza para evaluar la eficiencia y el nivel de congestión en la rotonda en condiciones de tráfico intenso.

- **Índice de flujo promedio:** Es el número promedio de vehículos que pasan por la rotonda en un período de tiempo determinado, generalmente una hora. Se utiliza para evaluar el flujo de tráfico típico y la capacidad operativa de la rotonda en condiciones normales.

La determinación de estos índices de flujo se realiza mediante técnicas de recopilación de datos de tráfico, como el conteo manual de vehículos o el uso de dispositivos electrónicos como sensores de detección de vehículos. Estos datos se utilizan para calcular la cantidad de vehículos que pasan por la rotonda en un período de tiempo específico y, a partir de ello, se determinan los índices de flujo correspondientes.

Es importante destacar que los índices de flujo pueden variar según las condiciones específicas de cada rotonda, como su tamaño, geometría, señalización y demanda de tráfico. Además, los índices de flujo se utilizan junto con otros parámetros, como la velocidad de circulación y los tiempos de demora, para evaluar y analizar el desempeño general de una rotonda en términos de capacidad y eficiencia del tráfico.

Figura 16

Cálculo del caudal circulante

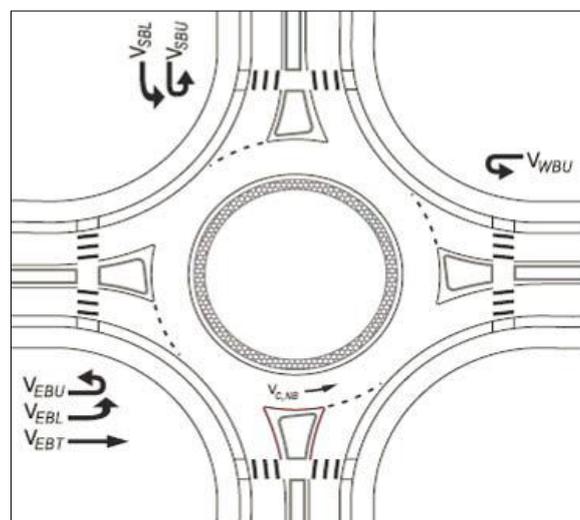
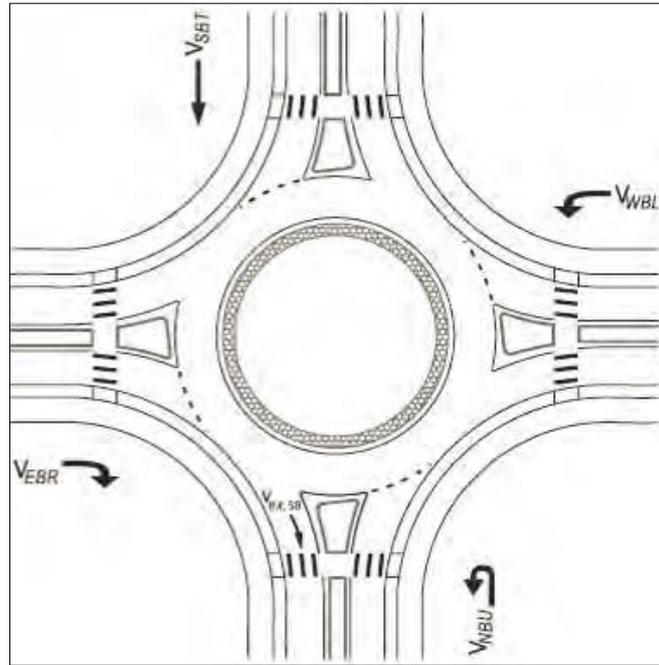


Figura 17

Cálculo del flujo de salir



2.3 Nivel de Servicio (NS)

El nivel de servicio en flujos de tránsito se refiere a la medida de calidad y eficiencia con la que un sistema de transporte o una sección vial opera en función de la comodidad, el tiempo de viaje, la seguridad y la capacidad de los usuarios. El nivel de servicio se utiliza para evaluar y clasificar la calidad del tráfico en diferentes condiciones de flujo.

El nivel de servicio se representa generalmente mediante una escala de letras o categorías, que varía de "A" (excelente nivel de servicio) a "F" (deficiente nivel de servicio). Cada categoría tiene asociados ciertos valores y características que describen el desempeño del tráfico (Pérez Zuriaga et al., 2018). La clasificación del nivel de servicio se basa en diversos parámetros y medidas, que pueden incluir:

- **Velocidad promedio:** La velocidad promedio a la que los vehículos pueden viajar en una sección vial o en un sistema de transporte determinado. Una mayor velocidad promedio generalmente indica un nivel de servicio más alto.

- **Tiempo de viaje:** El tiempo que tardan los vehículos en recorrer una determinada distancia. Un menor tiempo de viaje se asocia generalmente con un nivel de servicio más alto.
- **Capacidad:** La cantidad máxima de vehículos que una vía o una infraestructura de transporte puede manejar de manera eficiente. Un mayor nivel de capacidad se asocia con un nivel de servicio más alto.
- **Fluidez del tráfico:** La capacidad de los vehículos para moverse de manera continua y sin interrupciones a lo largo de una vía. Un flujo de tráfico más fluido se relaciona con un nivel de servicio más alto.
- **Congestión:** La presencia de tráfico denso y lento que puede provocar retrasos y congestión. Un menor nivel de congestión se asocia con un nivel de servicio más alto.

El nivel de servicio se determina mediante la recopilación de datos de tráfico, como conteos de vehículos, velocidades de circulación y tiempos de viaje, y se evalúa utilizando metodologías y criterios establecidos en manuales y estándares de ingeniería de tráfico, como el *Highway Capacity Manual* (HCM). La evaluación del nivel de servicio permite a los planificadores de transporte y autoridades viales comprender la eficiencia y calidad del tráfico en diferentes secciones viales y tomar decisiones informadas para mejorar el sistema de transporte.

La metodología utiliza seis categorías para clasificar el nivel de servicio del tránsito: A, B, C, D, E y F. El nivel A representa el tránsito más fluido y las mejores condiciones, mientras que el nivel F se refiere a una circulación muy forzada. El nivel F indica una congestión absoluta en la vía (Pérez Zuriaga et al., 2018).

Tabla 4

Características del Nivel de Servicio

Nivel de Servicio	Descripción
A	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La velocidad de los vehículos es la que elige libremente cada conductor. ✓ Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarle sin sufrir demora. ✓ Condiciones de circulación libre y fluida
B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos. ✓ Pequeñas demoras en ciertos tramos aunque sin llegar a formarse colas. ✓ Circulación estable a alta velocidad.
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La velocidad y la libertad de maniobra se hallan más reducidas, formándose grupos. ✓ Aumento de demoras de adelantamiento. ✓ Formación de colas poco consistentes. ✓ Nivel de circulación estable.
D	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidad reducida y regulada en función de la de los vehículos precedentes. ✓ Formación de colas en puntos localizados. ✓ Dificultad para efectuar adelantamientos. ✓ Condiciones inestables de circulación.
E	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidad reducida y uniforme para todos los vehículos, del orden de 40-50 km/h. ✓ Formación de largas colas de vehículos. ✓ Imposible efectuar adelantamientos. ✓ Define la capacidad de una carretera.
F	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Formación de largas y densas colas. ✓ Circulación intermitente mediante parones y arrancadas sucesivas. ✓ La circulación se realiza de forma forzada.

Según el HCM2010 y el tipo de intersección que existe, indica dos tipos de análisis distintos, por un lado, las intersecciones semaforizadas (análisis modelo actual) y por otro las correspondientes a glorietas (análisis modelo futuro).

Las intersecciones semaforizadas estructuran su Nivel de Servicio (NS) a partir del parámetro "tiempo de demora" que se obtiene para cada uno de los ramales según la siguiente clasificación:

Tabla 5

Clasificación de Niveles de Servicio

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Las glorietas estructuran su NS a partir del parámetro "tiempo de demora" que se obtiene para cada uno de los ramales según la siguiente clasificación:

Tabla 6

Nivel de Servicio en Glorieta

NIVEL DE SERVICIO EN GLORIETAS	
Nivel de servicio	Demora media (s/veh.)
A	<=10
B	>10 - 15
C	>15 - 25
D	>25 - 35
E	>35 - 50
F	>50 Demanda excede la capacidad

a. Metodología para el cálculo de Nivel de Servicio Glorietas - HCM2010

Según el Capítulo 16.- Glorietas del HCM2010, se aplicará 12 fases diferenciadas para el cálculo:

Fase 1: Se determina la demanda de tráfico durante el período de análisis.

Fase 2: Se ajusta la demanda para tener en cuenta los vehículos pesados.

Fase 3: Se determinan las intensidades de tráfico prioritarias en áreas conflictivas y las intensidades de salida en cada carril.

Fase 4: Se calcula la demanda de tráfico para cada carril de entrada.

Fase 5: Se determina la capacidad de cada carril de entrada.

Fase 6: Se evalúan los efectos de los pasos de peatones en la rotonda.

Fase 7: Se convierten las demandas y capacidades a unidades de vehículos por hora.

Fase 8: Se calcula la relación entre la intensidad de tráfico y la capacidad para cada carril.

Fase 9: Se calcula la demora promedio por regulación en cada carril.

Fase 10: Se determina el nivel de servicio (NS) en cada carril de entrada.

Fase 11: Se determina el nivel de servicio (NS) en cada entrada y en el conjunto de la rotonda.

La metodología TRB (*Transportation Research Board*) para la evaluación del nivel de servicio en el tráfico vehicular es ampliamente utilizada en la ingeniería de tráfico y la planificación de transporte. Esta metodología proporciona un enfoque sistemático para evaluar y clasificar el nivel de servicio en diferentes secciones de carreteras o intersecciones.

La metodología TRB se basa en la recopilación de datos de tráfico, que incluyen la intensidad de tráfico, la velocidad de circulación y otros parámetros relevantes. A partir de estos datos, se utilizan modelos y criterios establecidos en los manuales de ingeniería de tráfico, como el *Highway Capacity Manual* (HCM), para calcular y asignar un nivel de servicio a la sección vial o la intersección.

La metodología TRB considera múltiples factores para evaluar el nivel de servicio, como la velocidad de circulación promedio, la tasa de flujo de vehículos, los tiempos de espera en los semáforos, la capacidad de la vía y la calidad del tráfico. Estos factores se combinan y se asigna una categoría de nivel de servicio, generalmente representada por letras (A, B, C, D, E, F), donde A representa el nivel de servicio más alto y F el nivel de servicio más bajo.

Cada nivel de servicio tiene asociadas características y criterios específicos que describen el flujo de tráfico, la capacidad de la vía y la calidad del servicio proporcionado a los usuarios. Esta clasificación del nivel de servicio ayuda a los ingenieros de tráfico y planificadores de transporte a comprender y comunicar la eficiencia y las condiciones de tráfico en diferentes tramos de carreteras o intersecciones.

La metodología TRB es una herramienta valiosa en el diseño, evaluación y gestión del tráfico vehicular, ya que permite analizar y comparar el desempeño del tráfico en diferentes escenarios y tomar decisiones informadas para mejorar la movilidad y la seguridad vial., se pasa a las condiciones definidas para el nivel inferior.

- **Nivel de servicio A:** Representa las condiciones de tráfico más favorables. Se caracteriza por una velocidad promedio alta, baja densidad de vehículos, flujo continuo y poco o ningún retraso. Los conductores experimentan viajes rápidos y sin obstáculos significativos.
- **Nivel de servicio B:** Indica condiciones de tráfico bastante buenas. La velocidad promedio es alta, pero puede haber una ligera disminución en comparación con el nivel A. La densidad de vehículos es moderada y el flujo sigue siendo generalmente continuo. Los retrasos son mínimos y no se perciben como significativos.
- **Nivel de servicio C:** Representa condiciones de tráfico moderadas. La velocidad promedio puede reducirse aún más, especialmente en áreas de mayor congestión. La densidad de vehículos es más alta y puede haber fluctuaciones en el flujo de tráfico. Los retrasos comienzan a ser perceptibles, pero aún no son significativos.
- **Nivel de servicio D:** Indica condiciones de tráfico congestionadas. La velocidad promedio es baja, y la densidad de vehículos es alta, lo que puede provocar una mayor interacción entre los vehículos y una mayor probabilidad de congestión. Los retrasos son significativos, y los conductores pueden experimentar tiempos de viaje más largos.
- **Nivel de servicio E:** Se refiere a condiciones de tráfico muy congestionadas. La velocidad promedio es muy baja, y la densidad de vehículos es extremadamente alta. Se producen congestiones significativas y los retrasos son sustanciales. Los conductores pueden experimentar tiempos de viaje significativamente más largos y una operación del tráfico ineficiente.

- **Nivel de servicio F:** Representa las peores condiciones de tráfico. El nivel de congestión es extremadamente alto, lo que resulta en velocidades muy bajas y tiempos de viaje muy largos. El flujo de tráfico es intermitente o se encuentra prácticamente parado. Los retrasos son críticos y la operación del tráfico es muy ineficiente.

2.4 Bases conceptuales

- **Aforo de tránsito:** Recuento de vehículos que atraviesan uno o varios puntos de una vía durante un período de tiempo determinado.
- **Aforo direccional:** Recuento que permite distinguir los diferentes movimientos de tráfico que pasan por una sección según su destino, como los giros en una intersección.
- **Calzada lateral, vía de servicio:** Carretera paralela a una vía de acceso limitado que tiene como objetivo dirigir el tráfico hacia los accesos y servir a los edificios y propiedades adyacentes.
- **Capacidad básica:** Máxima cantidad teórica de vehículos ligeros que podrían pasar por una sección transversal de una vía o carretera si las condiciones geométricas y de circulación fueran ideales.
- **Capacidad, capacidad posible:** Máxima intensidad de vehículos, generalmente expresada en vehículos (o personas) por hora, que puede pasar por un punto o sección transversal de un carril o carretera, teniendo en cuenta las condiciones reales de geometría, circulación y regulación del tráfico en un momento determinado.
- **Concentración de tráfico, densidad de tráfico:** Número de vehículos por unidad de longitud de carretera, calzada o carril en un momento dado, excluyendo los vehículos estacionados.
- **Calzada circulatoria:** Trayectoria curva utilizada por los vehículos para circular en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor de la isleta central.
- **Capacidad vial:** Máximo número de personas o vehículos que se espera que pasen por un tramo uniforme de un carril o calzada en un período de

- tiempo determinado, considerando las condiciones de la vía, el tráfico y el control existentes.
- **Congestión de tránsito:** Situación en la que la demanda de tráfico en una vía supera el volumen máximo que puede circular por un punto de esa vía.
 - **Corriente vehicular:** Conjunto de vehículos que circulan por una vía en la misma dirección, en una o más filas.
 - **Flujo de tránsito:** Movimiento de vehículos que viajan por una sección específica de una vía en un tiempo determinado.
 - **Intensidad:** Volumen de tráfico que circula por un solo carril.
 - **Intensidad punta, tráfico punta:** Máxima intensidad registrada durante un período determinado, como la intensidad punta horaria, diaria o mensual.
 - **Intersección:** Punto de encuentro entre dos o más corrientes de circulación, donde se incluyen los ramales que permiten el paso de una carretera a otra.
 - **Isleta central:** Zona elevada en el centro de una rotonda alrededor de la cual circula el tráfico. No necesariamente tiene que ser circular y puede ser traspasable en el caso de las minirrotondas.
 - **Isleta partidora:** Zona elevada o señalizada en un acceso a una rotonda, utilizada para separar el tráfico entrante y saliente, desacelerar el tráfico entrante y permitir que los peatones crucen la vía en dos etapas.
 - **Levantamiento topográfico:** Conjunto de operaciones de medición realizadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.
 - **Línea de entrada:** Punto de entrada a la calzada circulatoria, que puede ser una extensión de la línea de borde de la calzada circulatoria o una línea de ceda el paso. Los vehículos que ingresan deben ceder el paso al tráfico que circula desde la izquierda antes de cruzar esta línea.
 - **Nivel de Servicio:** Clasificación cualitativa de la efectividad de una carretera o infraestructura vial para manejar el tráfico, desde el nivel A

(mejor operación) hasta el nivel F (peores condiciones) según el Manual de Capacidad de Carreteras.

- **Óvalo o rotonda:** Intersección dispuesta en forma de anillo circular u ovalado a la que se accede o desde la cual se sale, con circulación unidireccional en el anillo.
- **Tráfico:** Acción de pasar por vías y lugares públicos. Es un término más general que la circulación.
- **Transitabilidad:** Nivel de servicio de la infraestructura vial que garantiza un flujo vehicular regular durante un período determinado.
- **Velocidad de entrada:** Velocidad a la cual los vehículos deben circular al ingresar a una carretera por un carril de entrada para integrarse a una corriente principal sin causar una interferencia significativa con el tráfico existente en la carretera principal.
- **Velocidad de salida:** Velocidad a la cual los vehículos deben circular al salir de una carretera por un carril de salida para abandonar una corriente principal sin causar una interferencia significativa con el tráfico existente en la carretera principal.
- **Volumen de tránsito:** Número de vehículos o peatones que pasan por un punto de una vía o alguna de sus partes por unidad de tiempo, generalmente en un día o una hora.

CAPÍTULO III
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Título de la investigación

Capacidad vehicular y nivel de servicio del Parque Óvalo Huancavelica, con la metodología del HCM 2010 (NCHRP), en el distrito del Tambo, Huancayo, Junín - 2018.

3.2 Planteamiento del problema

A principios del siglo pasado, las grandes ciudades comenzaron a experimentar problemas significativos de congestión en los cruces de calles.

De acuerdo con Hénard, las intersecciones giratorias (circulares) mejoraron las condiciones de seguridad al reducir el número de puntos conflictivos, que eran el principal problema en los cruces de esa época, y al evitar las trayectorias cruzadas típicas de las intersecciones convencionales.

En los últimos años, se ha observado un aumento en el número de vehículos en la ciudad del Tambo, lo que ha llevado a un aumento en el flujo de tráfico. En días de alta demanda, surge la preocupación sobre cómo responden las vías de acceso en situaciones extremas. ¿Tienen una capacidad adecuada? ¿El nivel de servicio es bueno? ¿Cuándo deberían ampliarse estas vías considerando el crecimiento del parque automotor? Estas son preguntas que surgen al pensar en el futuro de la infraestructura vial.

Los factores que contribuyen al problema del tráfico en una ciudad dependen de su sistema de calles. A menudo, estos sistemas deben funcionar por encima de su capacidad para satisfacer el aumento en la demanda de transporte, ya sea para vehículos livianos, transporte comercial, transporte público, acceso a propiedades o estacionamiento.

La congestión del tráfico vehicular en las ciudades, en general, y en el área urbana de la ciudad del Tambo - Huancayo - Junín, se ha intensificado en los últimos tiempos, especialmente debido al aumento de los vehículos de transporte privado. Además, la falta de planificación urbana ha exacerbado la necesidad de una mayor capacidad vial a medida que aumenta el número de automóviles. Por

lo tanto, en esta investigación se evaluarán las condiciones actuales de esta intersección en términos de capacidad vial y nivel de servicio.

3.3 Justificación de la investigación

Se analizó los factores principales que se encuentren relacionados directamente con la Capacidad Vehicular y el Nivel de Servicio de una rotonda/glorieta y/o cualquier otro tipo de intersección, basándose el presente trabajo de investigación en determinar mediante la aplicación de la metodología de HCM 2010 (NCHRP), estos factores en el Óvalo Parque Huancavelica, en la ciudad de Huancayo. Además, se usó una base de datos para realizar propuestas técnicas para dar solución al tráfico vehicular que se observa en el Parque Ovalo Huancavelica, para tal motivo se efectuó la aplicación de instrumentos de investigación los cuales nos sirve para la recopilación de información.

El desarrollo de la investigación y toma de datos en el área de Ingeniería tiene importancia académica, ya que los resultados obtenidos, así como los datos encontrados servirán como antecedentes para otros investigadores en el campo de la ingeniería.

El tema de investigación es de gran interés para el diseño de intersecciones que se proyecten a presentar un flujo libre, por lo que será necesario contar con el apoyo y asistencia de las entidades que tengan a su cargo este tipo de estudios.

Asimismo, es necesario contar con una base de datos sobre la variación mensual, semanal y el diario del parque automotor existente.

Sin embargo, el alcance presentó limitación en su ejecución, ya que no existe una información estadística de la cantidad de vehículos y el % de crecimiento vehicular en nuestra ciudad y sus provincias, debiendo ser necesario contar con alguna entidad responsable de llevar y actualizar estos datos. La ausencia del sustento en los estudios viales, con proyección a 10 años y como sería su capacidad y que Nivel de Servicio presentaría.

3.4 Objetivos de la investigación

- Determinar la relación que existe entre la capacidad vehicular y la entrada vehicular del Parque Óvalo Huancavelica, con la metodología de HCM 2010 (NCHRP).
- Determinar la relación que existe entre la capacidad vehicular y la demora vehicular en el Parque Óvalo Huancavelica, con la metodología de HCM 2010 (NCHRP).
- Determinar la relación que existe entre la capacidad vehicular y la salida vehicular en el Parque Óvalo Huancavelica con la metodología de HCM 2010 (NCHRP)

3.5 Método y diseño de investigación

Se empleó un diseño correlacional, ya que la finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos en un contexto determinado (Hernández et al., 2014).

Por su finalidad de estudio, el nivel de investigación de acuerdo a las variables propuestas y objetivos es: Descriptivo - Explicativo (Hernández et al., 2014).

Es de nivel Descriptivo - Explicativo, porque busca recoger información del lugar de estudio y explicar cómo se encuentra la capacidad vehicular y como se clasifica el nivel de servicio del ovalo Huancavelica (Hernández et al., 2014).

Por su finalidad de estudio, el tipo de investigación de acuerdo a las variables propuestas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación es de tipo: Aplicada.

Tabla 7

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variables	Técnicas	Instrumentos
X: Capacidad Vehicular	Conteo vehicular	Formato para conteo vehicular.
Y: Nivel de Servicio	Tiempo de recorrido de un vehículo en la rotonda	Cronometro

3.6 Principales resultados

3.6.1 Estado actual del Parque Óvalo Huancavelica

Accesibilidad

El acceso al parque ovalo Huancavelica se da por cuatro rutas, Av. Julio Sumar, Av. Independencia y Av. Huancavelica (cruza todo el Óvalo).

Figura 18

Accesos al Óvalo Parque Huancavelica



3.6.2 Análisis del tráfico en la situación actual

Estado actual

El Parque Óvalo Huancavelica es una estructura de intersección que fue implementada para la mejora de la circulación del flujo vial, pero al pasar el tiempo el parque automotor se ha incrementado de manera acelerada provocando que la capacidad vehicular de la rotonda sea insuficiente.

Aforo vehicular

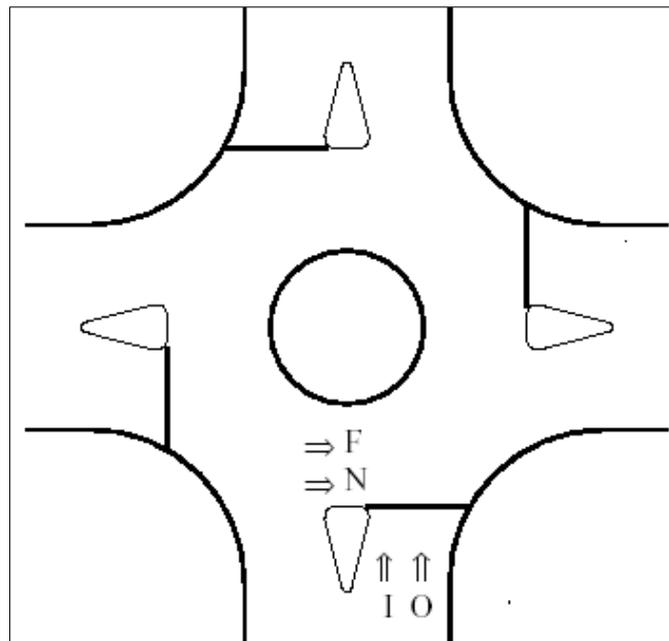
El aforo de tráfico fue realizado mediante aforadores manuales en un periodo de 24 horas, por una semana.

En el aforo se distinguió para cada movimiento el tipo de vehículo (Ligero o Pesado) y el periodo horario (cada 15 minutos). La siguiente figura recoge la localización de los aforadores.

El trabajo de campo estuvo a cargo de 04 brigadas que efectuó el relevamiento de información, y estuvo integrada por personal con la debida experiencia en este tipo de trabajo.

Figura 19

Localización de los aforadores



Desde el punto de vista geométrico la Intersección se encuentra emplazada en un terreno de características planas y semiondulado, ya que en sus dos accesos: Av. Huancavelica (2) y Av. Independencia, presentando una cota alta: 3205 m.s.n.m y una cota baja: 3193.5 m.s.n.m. Esta intersección se caracteriza por tener un anillo de circulación que no es capaz de permitir de manera segura los movimientos de los vehículos.

Figura 20

Formato para el conteo vehicular

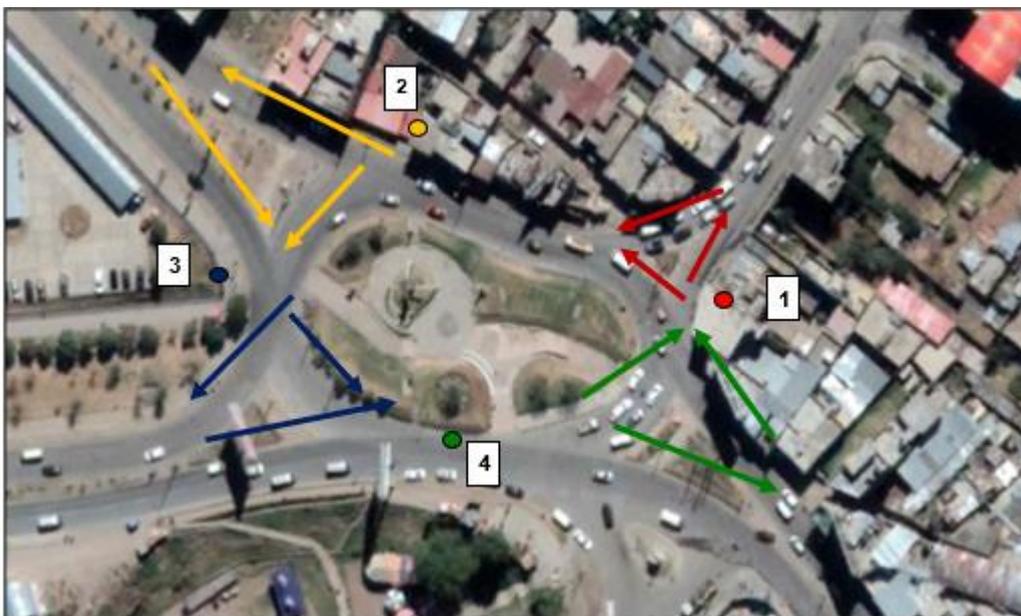
Formato N° 1																			
CONTEO VEHICULAR - VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO																			
Tramo					Ubicación														
Cod. Estación					Sentido														
Estación					Fecha														
Hora	Auto movil	Cmta pick up	Cmta Rural	Combi	Omnibus		Camión			Semitrailers				Traylers					
					2E	3E	2E	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		

3.6.3 Características del tráfico

El Parque Ovalo Huancavelica posee gran afluencia vehicular, por ella circula un alto porcentaje de viajes que van desde el centro hacia la zona sur y viceversa, así como a la zona norte y viceversa. La intersección en análisis se encuentra dentro de la zona de alta influencia, convirtiéndose así en una intersección importante para la movilidad.

Figura 21

Flujograma del tráfico vehicular

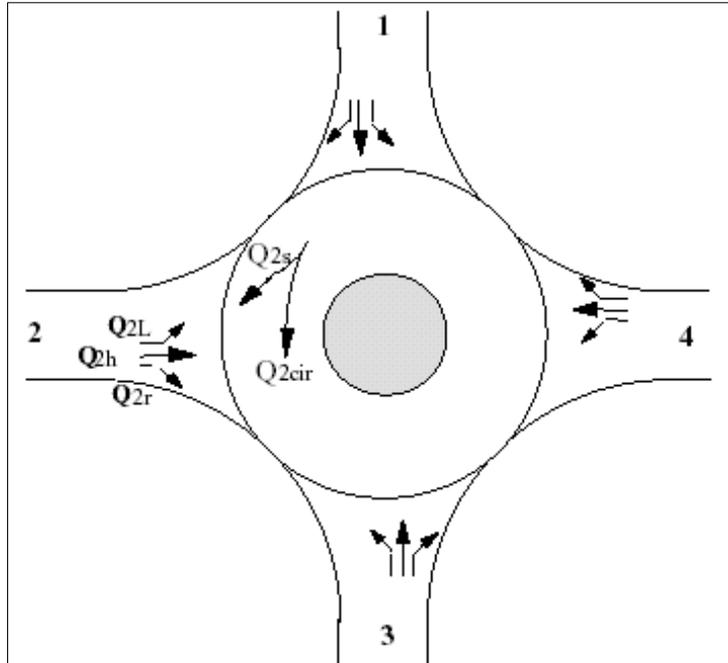


A partir de la información recogida, se ha podido establecer que la rotonda, cuenta con 4 accesos de los cuales cada uno de ellos permite realizar 3

movimientos, por lo que en la intersección en total existen 12 posibles flujos de tráfico, tal como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Cantidad de movimiento de los vehículos



Cálculo del Volumen Horario Máximo Diario (VHMD), según los movimientos existentes en la rotonda:

Tabla 8

Cantidad de vehículos por cada movimiento en la rotonda

15 min.	MOVIMIENTO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8:00 - 8:15	103	63	96	122	107	87	73	105	44	52	49	42
8:15 - 8:30	124	119	118	129	96	90	68	116	118	62	53	43
8:30 - 8:45	61	102	58	61	49	71	65	104	61	35	47	41
8:45 - 9:00	58	58	49	87	62	74	85	70	44	39	49	29
TOTAL	346	342	321	399	314	322	291	395	267	188	198	155

Hallando el Factor Hora Punta (PHF)												
VHMD	346	342	321	399	314	322	291	395	267	188	198	155
qmax	124	119	118	129	96	90	68	116	118	62	53	43
PHF =	0.7	0.72	0.68	0.77	0.82	0.89	1.07	0.85	0.57	0.76	0.93	0.9

3.6.4 Cálculos de los IMD y IMDA en los puntos de aforo

Para la obtención de la IMD en los puntos de aforo manual, se precisa conocer la relación existente entre la intensidad registrada el día del aforo y la intensidad media diaria anual. Esta relación puede calcularse en las estaciones bien de control (primarias o secundarias). Para ello, se elige para cada estación de cobertura la estación afín correspondiente.

El volumen de tráfico además de las variaciones horarias y diarias varía según las estaciones climatológicas del año, por lo tanto, es necesario efectuar una corrección para eliminar estas fluctuaciones. Para expandir la muestra tomada se utiliza los factores de corrección estacional FCE.

El Índice Medio Diario - IMD se calculó con la fórmula siguiente:

Ecuación 9. Índice Medio Diario

$$IMD_{Sept.} = \frac{V_S + V_D + V_L + V_M + V_{MI} + V_J + V_V}{7}$$

Donde:

$V_L + V_M + V_{Mi} + V_J + V_V + V_S + V_D$ = son los volúmenes de tráfico registrados en los conteos los días Lunes - Domingo.

El Índice Medio Diario Anual - IMDA se calculó con la fórmula siguiente:

Ecuación 10. Índice Medio Diario Anual.

$$IMDA = IMD_{mes.} \times FCE_{mes.}$$

Donde:

$IMD_{mes.}$ = es el promedio diario de los volúmenes de tráfico.

$IMDA$ = es el Índice Medio Diario Anual.

FCE = es el factor de corrección estacional.

a) Estación de aforo n° "01"

Tabla 9

IMD - Estación "1"

Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total Semana
Auto móvil	19752	16803	21707	19820	19329	19525	15106	132042
Cmta pick up	937	1380	2486	2285	1830	2045	1423	12386
Cmta Rural	1856	473	443	336	453	843	624	5028
Combi	3330	2874	3465	3446	2483	3766	3594	22958
Ómnibus	561	453	529	559	547	776	685	4110
Camión	919	654	703	990	803	1080	988	6137
Semitraylers	88	69	58	98	17	41	81	452
Traylers	65	68	96	78	77	151	123	658
TOTAL	27508	22774	29487	27612	25539	28227	22624	183771

Tabla 10

IMDA - Estación "1"

Tipo de Vehículos	FCE	TRAFICO VEHICULAR		
		Estación "1"		
		(Veh/día)		
		IMD	IMDa	Distrib. %
Automóvil	1.023853	18863.14	19313.09	71.80%
Pick Up	1.023853	1769.43	1811.63	6.73%
C. Rural	1.023853	718.29	735.42	2.73%
Combi	1.023853	3279.71	3357.95	12.48%
Ómnibus	1.036301	587.14	608.46	2.26%
Camión	1.036301	876.71	908.54	3.38%
Semitrayles	1.036301	64.57	66.92	0.25%
Trayles	1.036301	94.00	97.41	0.36%
TOTAL		26253.00	26899.41	100.00%

b) Estación de aforo N° "02"

Tabla 11

IMD - Estación "2"

Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total Semana
Auto móvil	17632	18306	17933	19373	16506	14419	14197	118366
Cmta pick up	1271	1158	903	2183	960	165	641	7281
Cmta Rural	1302	854	1022	332	904	1069	960	6443
Combi	3290	3245	3036	3481	2682	3150	3187	22071
Ómnibus	567	635	897	558	1024	859	620	5160
Camión	800	568	935	959	1136	995	1131	6524
Semitraylers	96	57	49	94	14	6	26	342
Traylers	69	89	130	70	118	319	239	1034
TOTAL	25027	24912	24905	27050	23344	20982	21001	

Tabla 12

IMDA - Estación "2"

Tipo de Vehículos	FCE	TRAFICO VEHICULAR		
		Estación "2"		
		(Veh/día)		
		IMDs	IMDa	Distrib. %
Automóvil	1.023853	16909.43	17312.77	70.72%
Pick Up	1.023853	1040.14	1064.95	4.35%
C. Rural	1.023853	920.43	942.38	3.85%
Combi	1.023853	3153.00	3228.21	13.19%
Ómnibus	1.036301	737.14	763.90	3.12%
Camión	1.036301	932.00	965.83	3.95%
Semitrayles	1.036301	48.86	50.63	0.21%
Trayles	1.036301	147.71	153.08	0.63%
TOTAL		23888.71	24481.76	100.00%

c) Estación de aforo N° "03"

Tabla 13

IMD – Estación "3"

Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total Semana
Automóvil	20163	18814	19683	19737	13133	25051	17777	134358
Cmta pick up	692	1304	1600	2295	1170	185	858	8104
Cmta Rural	1199	624	684	389	727	931	1127	5681
Combi	2946	2831	3354	3266	2797	3340	3550	22084
Ómnibus	551	528	684	550	563	590	791	4257
Camión	919	692	898	984	834	448	786	5561
Semitraylers	32	58	72	86	48	48	119	463
Traylers	179	56	113	59	97	146	89	739
TOTAL	26681	24907	27088	27366	19369	30739	25097	

Tabla 14

IMDA – Estación "3"

Tipo de Vehículos	FCE	TRAFICO VEHICULAR		
		Estación "3"		
		(Veh/día)		
		IMDs	IMDa	Distrib. %
Automóvil	1.023853	19194.00	19651.83	74.08%
Pick Up	1.023853	1157.71	1185.33	4.47%
C. Rural	1.023853	811.57	830.93	3.13%
Combi	1.023853	3154.86	3230.11	12.18%
Ómnibus	1.036301	608.14	630.22	2.38%
Camión	1.036301	794.43	823.27	3.10%
Semitrayles	1.036301	66.14	68.54	0.26%
Trayles	1.036301	105.57	109.40	0.41%
TOTAL		25892.43	26529.64	100.00%

d) Estación de aforo N° "04"

Tabla 15

IMD - Estación "4"

Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total Semana
Automóvil	16151	20671	20322	18965	14504	17548	19301	127462
Cmta pick up	1969	3296	2571	2260	1616	1132	2394	15238
Cmta Rural	787	387	246	311	292	1152	441	3616
Combi	3846	4046	4460	3460	2070	3856	3382	25120
Ómnibus	569	588	637	535	537	744	630	4240
Camión	757	715	1016	1081	850	798	969	6186
Semitraylers	139	65	188	92	91	53	73	701
Traylers	86	104	56	68	33	109	159	615
TOTAL	24304	29872	29496	26772	19993	25392	27349	

Tabla 16

IMDA - Estación "4"

Tipo de Vehículos	FCE	TRAFICO VEHICULAR		
		Estación "4"		
		(Veh/día)		
		IMDs	IMDa	Distrib. %
Automóvil	1.023853	18208.86	18643.19	69.53%
Pick Up	1.023853	2176.86	2228.78	8.31%
C. Rural	1.023853	516.57	528.89	1.97%
Combi	1.023853	3588.57	3674.17	13.70%
Ómnibus	1.036301	605.71	627.70	2.34%
Camión	1.036301	883.71	915.79	3.42%
Semitrayles	1.036301	100.14	103.78	0.39%
Trayles	1.036301	87.86	91.05	0.34%
TOTAL		26168.29	26813.36	100.00%

3.6.5 Determinación de las causas y factores que pueden provocar el tráfico vehicular

Para determinar las causas que pueden provocar el tráfico vehicular, se determinó que se realizarían una serie de estudios a nivel de observación propiamente dicha además de los datos de estudio de conteo vehicular, para poder calcular la capacidad de entrada y demora media de vehículos a la infraestructura además de estudiar las características geométricas del lugar, para ello se tomaron en cuenta los datos del levantamiento topográfico, con la finalidad de plantear el nuevo modelo de intercambio vial.

Existen una serie de factores de los cuales depende el buen funcionamiento del intercambio vial a desnivel, tales son en referencia a nuestra investigación:

- Factores geométricos: en referencia al dimensionamiento de la rotonda.
- Factores internos: en cuanto al porcentaje de distribución de vehículos.

En general las causas de un tráfico vehicular pueden ser externas e internas.

- Crecimiento acelerado del parque automotor.
- Dimensiones geométricas insuficientes.
- Deficiente sistema de señalización.

3.6.6 Análisis de capacidad de entrada

Cuando, al hablar de capacidad, nos referimos al número de vehículos, se entiende que son vehículos ligeros equivalentes. Para ello se establecen diferentes equivalencias entre los pesados y los ligeros (generalmente, un vehículo pesado equivale a dos ligeros). Algunos autores (por ejemplo, Akçelik) consideran que únicamente porcentajes de vehículos pesados con mayores del 5% deberían transformarse en unidades de vehículos ligeros.

La capacidad de la entrada disminuirá si el flujo anular aumenta, ya que en este caso habrá menores huecos para los vehículos que quieren acceder.

La dependencia de la capacidad de la entrada con el flujo anular se conoce como la relación entre flujo de la entrada/flujo del anillo, y depende de la interacción entre los conductores y la geometría de la glorieta.

Por tanto, la capacidad de entrada a la glorieta también va a verse influida por los movimientos del tráfico, el tipo de vehículo, los límites de velocidad y la demora:

- Tipo de vehículo: es más difícil la maniobra de incorporación al flujo anular para los vehículos pesados que para los vehículos ligeros.
- Demora del vehículo: conforme aumenta el volumen de la calzada anular, los conductores de las vías de acceso tienden a buscar menores huecos para acceder a la glorieta.

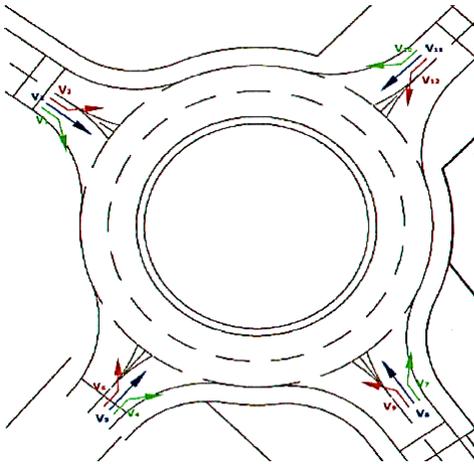
Según el *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) añadir un segundo carril no va a duplicar la capacidad de una entrada. En realidad, esto está lejos de ser cierto: medidas actuales en glorietas saturadas revelan que, generalmente, añadir un segundo carril aumenta la capacidad de un acceso entre 2 y 4 veces. Añadir un carril duplica la capacidad cuando el flujo anular es nulo.

Sin embargo, conforme el flujo anular aumenta el beneficio del segundo carril aumenta progresivamente. Este aumento inesperado de la capacidad se debe a que la capacidad de un carril aumenta como si la presencia de un segundo carril redujera la fricción lateral del primer carril.

En un ramal con abocinamiento, los carriles cortos pueden ponerse en la entrada de la intersección para mejorar su funcionamiento. Si se dispone de un carril corto adicional, se asume que el ancho del anillo central de la glorieta también aumenta. La capacidad de acceso a la glorieta se fundamenta en la suposición que todos los carriles de entrada se usan con eficacia.

Figura 23

Capacidad de la rotonda



1	$V1 + V2 + V3 = Q_e^1$
	$V6 + V8 + V10 = Q_s^1$
	$V9 + V11 + V12 = Q_c^1$
2	$V4 + V5 + V6 = Q_e^2$
	$V1 + V9 + V11 = Q_s^2$
	$V2 + V3 + V12 = Q_c^2$
3	$V7 + V8 + V9 = Q_e^3$
	$V2 + V4 + V12 = Q_s^3$
	$V3 + V5 + V6 = Q_c^3$
4	$V10 + V11 + V12 = Q_e^4$
	$V3 + V5 + V7 = Q_s^4$
	$V6 + V8 + V9 = Q_c^4$

Nota. Tomado del estudio de Tráfico; Rotonda en el Paraje “Palacio De Aroztegia” en Lekarotz Baztan

Análisis de la situación actual: Evaluación de la Capacidad de Entrada a la Rotonda.

La evaluación de la capacidad de entrada se dará mediante el nivel de servicio que presta la rotonda, los factores que intervienen son:

- Tráfico de circulación en la calzada anular Q_e , tráfico que sale por el mismo brazo Q_s y capacidad de entrada al carril Q_c .
- Periodo de tiempo de estudio de tráfico ($T=1$, si es una hora; $T=0.25$ si es cada 15 min)
- Características geométricas de la rotonda
- Demora total media (d)
- Tasa de flujo de demanda (v)
- Factor hora punta (PHF)
- Caudal de la demanda de movimiento.

Características geométricas del Parque Ovalo Huancavelica:

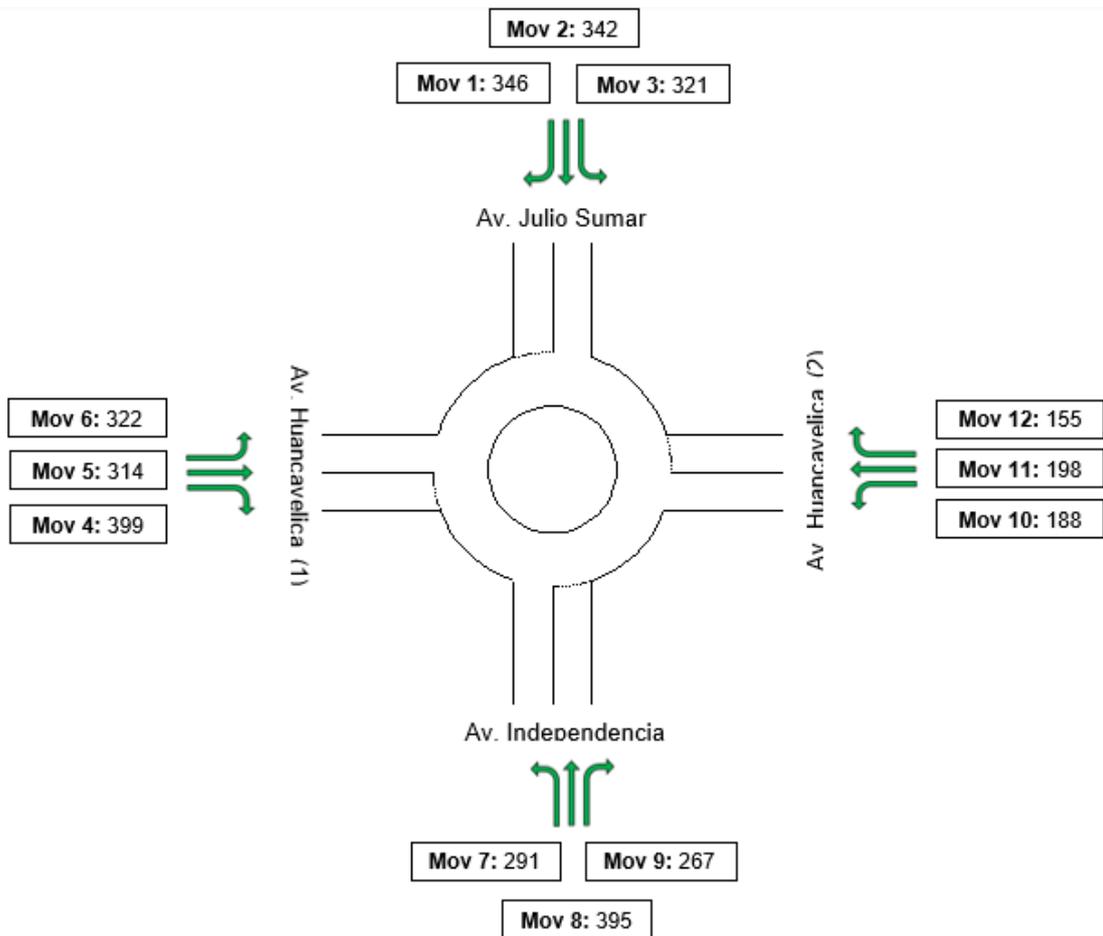
Tabla 17

Dimensiones geométricas de la rotonda

Entrada	v (m)	e (m)	l (m)	fi (m)	r (m)	D (m)
1	10.7	10.5	13.0	33.0	35.0	32.0
2	10.3	11.7	27.0	33.0	236.0	52.0
3	4.1	9.9	30.0	21.0	181.0	33.0
4	4.8	6.4	18.5	55.0	50.0	41.0

a) Método según el NCHRP:

- Paso 1: Hallamos el Factor Hora Punta (PHF).



- Paso 2: Hallamos volumen de tasa de flujo de demanda.

Ecuación 10. *Flujo de Demanda*

$$u = V/PHF$$

Tabla 17

Cálculo del Volumen de Flujo de Demanda

MOVIM.	V (veh./hr)	PHF	v (veh./h)
1	346	0.7	494
2	342	0.72	475
3	321	0.68	472
4	399	0.77	518
5	314	0.82	383
6	322	0.89	362
7	291	1.07	272
8	395	0.85	465
9	267	0.57	468
10	188	0.76	247
11	198	0.93	213
12	155	0.9	172

- Paso 3: Hallamos el flujo ajustado por tasa de vehículos pesados.

Ecuación 11. Flujo ajustado por tasa de vehículos pesados

$$v = V * \int hv \text{ (veh./h)}$$

Se debe tener en cuenta las siguientes variables:

$v_{i,pce} = \frac{v_i}{f_{HV}}$	$v_{i,pce}$ = caudal demanda de movimiento
	v_i = volumen de la demanda de movimiento
	f_{HV} = factor de ajuste de vehículos pesados;
$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1)}$	P_T = proporción del volumen de la demanda que se compone de vehículos pesados; y
	E_T = Equivalente de automóviles de pasajeros de los vehículos pesados.

Tabla 18

Cálculo del flujo ajustado por tasa de vehículos pesados

MOVIM.	PT	ET	1/1+PT(ET-1)	v= V*∫hv (veh./h)
1	13%	2	0.887	557
2	7%	2	0.934	509
3	2%	2	0.981	481
4	11%	2	0.899	576
5	8%	2	0.929	412
6	15%	2	0.87	416
7	23%	2	0.813	335
8	18%	2	0.85	547
9	29%	2	0.773	605
10	21%	2	0.828	298
11	10%	2	0.907	235
12	13%	2	0.883	195

• Paso 4: Determinación de Tasa de Flujo de Entrada por Carril y Tasa de Flujo Circulante

Figura 24

Volumen de Flujos de Demanda

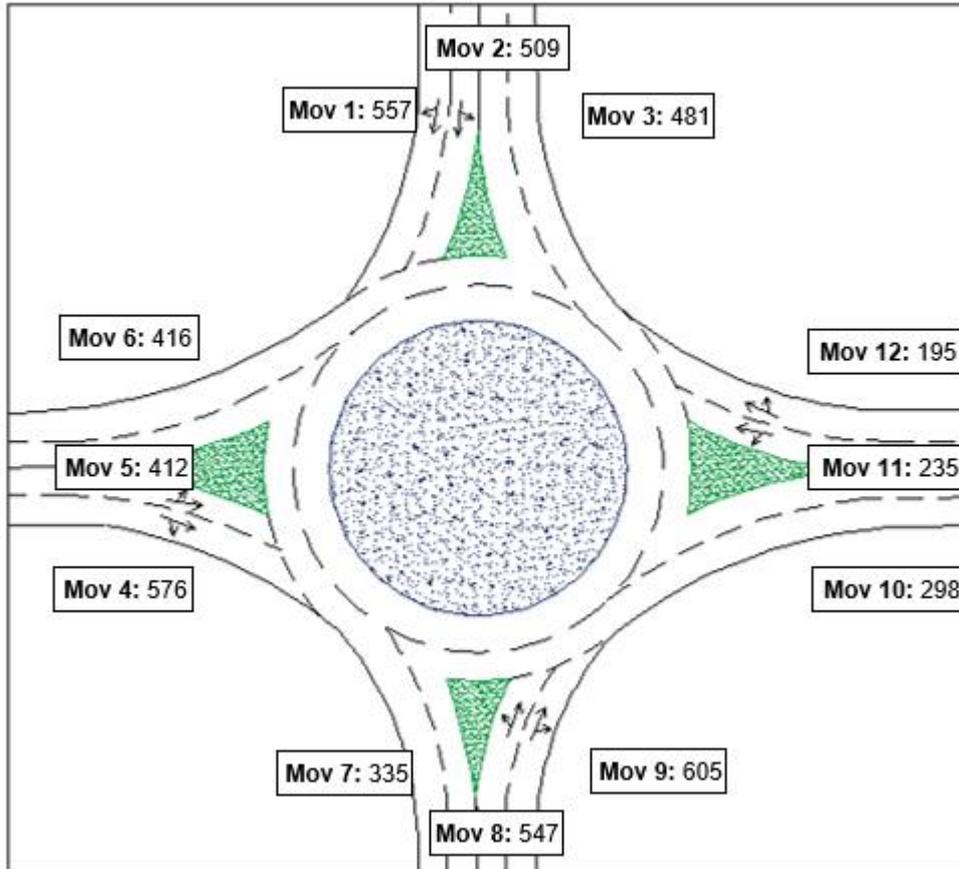


Tabla 19

Volumen de entrada a la rotonda

APROX.	Izquierda	De Frente	Derecha	V.entrada (pc/h)
1	557	509	481	1547
2	416	412	576	1404
3	335	547	605	1487
4	298	235	195	728

Tabla 20

Volumen que circula en la rotonda

APROX.	Izquierda	De Frente	Derecha	Circula
1	298	235	335	868
2	298	509	557	1364
3	557	412	576	1545
4	335	547	576	1458

Tabla 21

Volumen de vehículos que salen de la rotonda

APROX.	Izquierda	De Frente	Derecha	Vsalida.
1	576	547	195	1318
2	335	235	481	1051
3	298	509	416	1223
4	557	412	605	1574

• Paso 5: Determinamos del Nivel de Servicio

Tabla 22

Nivel de Servicio de la rotonda

		1			2			3			4		
		Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
DATO	VOLUMEN	346	342	321	399	314	322	291	395	267	188	198	155
PASO 1	$v=V/PHF$	494	475	472	518	383	362	272	465	468	247	213	172
PASO 2	f_{lv}	0.887	0.934	0.981	0.899	0.929	0.87	0.813	0.85	0.773	0.828	0.907	0.883
				0.981			0.929			0.850			0.907
	v	504	484	481	558	412	390	320	547	551	272	235	190
PASO 3	V_c	868			1288			1309			1298		
PASO 4	V_e	504	484	481	558	412	390	320	547	551	272	235	190
		1469			1360			1418			697		
PASO 5	c		615			459			452			455	
PASO 6	peat												
PASO 7	c		604			426			384			413	
	v		1441			1263			1205			632	
PASO 8	v/c		2.39			2.96			3.14			1.53	
PASO 9	d		640.1			905.3			984.7			270.3	
PASO 10	NDS		F			F			F			F	
PASO 11	d	640.1			905.3			984.7			270.3		
	NDS	F			F			F			F		
PASO 12	Q95	109.6			109.0			106.9			34.3		
	Q95	110.0			109.0			107.0			34.0		

b) Método de HCM-2010:

Este método nos da un formato para realizar su cálculo:

Tabla 23

Modelo del Método HCM-2010

ROUNDABOUTS-UNSIGNALIZED INTERSECTIONS WORKSHEET									
CALCULO DE ROTONDAS SEGÚN HCM-2010									
General Information					Site Information				
Project:					Project:				
Date Performed					Year: 2015				
					Upper bound:		Critical Gap		Follow-Up Time
					Lower bound:				
Volume Adjustments									
		EB		WB		NB		SB	
LT TRAFFIC	Movement								
	Volume, veh/h								
	PHF								
	Flowrate, veh/h								
TH TRAFFIC	Movement								
	Volume, veh/h								
	PHF								
	Flowrate, veh/h								
RT TRAFFIC	Movement								
	Volume, veh/h								
	PHF								
	Flowrate, veh/h								
Approach Flow Computation									
Approach Flow (veh/h)					Va (veh/h)				
Va,E = V1 + V2 + V3									
Va,W = V7 + V8 + V9									
Va,N = V10 + V11 + V12									
Va,S = V4 + V5 + V6									
Circulating Flow Computation									
Approach Flow (veh/h)					Vc (veh/h)				
Vc,E = V9 + V11 + V12									
Vc,W = V3 + V5 + V16									
Vc,N = V6 + V8 + V9									
Vc,S = V2 + V3 + V12									
Capacity Computation									
		EB		WB		NB		SB	
Capacity	Upper bound								
	Lower bound								
v/c ratio	Upper bound								
	Lower bound								

- Paso N°01: Se calcula los volúmenes de entrada de cada brazo de la rotonda.
- Paso N°02: Se calcula la capacidad de entrada mediante la aplicación de la ecuación n° 08.
- Paso N°03: Realizado el paso anterior se pasa a ser el relleno del formato, resultando de la siguiente manera:

Tabla 24

Nivel de Servicio HCM-2010

ROUNDBOUTS-UN SIGNALIZED INTERSECTIONS WORSHEET										
CALCULO DE ROTONDAS SEGÚN HCM-2010										
General Information					Site Information					
Project:					Project:					
Date Performed					Year: 2018					
					Critical Gap		Follow-Up Time			
					Upper bound:		4.1		2.6	
					Lower bound:		4.6		3.1	
Volume Adjusments										
		EB	1	WB	2	NB	3	SB	4	
LT TRAFFIC	Movement	V3		V6		V9		V12		
	Volume, veh/h	321.00		322		267		155		
	PHF	0.68		0.89		1.07		0.76		
	Flowrate, veh/h	218.28		286.58		285.69		117.8		
TH TRAFFIC	Movement	V2		V5		V8		V11		
	Volume, veh/h	342		314		395		198		
	PHF	0.72		0.82		0.85		0.93		
	Flowrate, veh/h	246.24		257.48		335.75		184.14		
RT TRAFFIC	Movement	V1		V4		V7		V10		
	Volume, veh/h	346		399		291		188		
	PHF	0.7		0.77		0.57		0.9		
	Flowrate, veh/h	242.2		307.23		165.87		169.2		
Approach Flow Computation										
Approach Flow (veh/h)					Va (veh/h)					
Va,E = V1 + V2 + V3					706.72					
Va,W = V7 + V8 + V9					787.31					
Va,N = V10 + V11 + V12					471.14					
Va,S = V4 + V5 + V6					851.29					
Circulating Flow Computation										
Approach Flow (veh/h)					Vc (veh/h)					
Vc,E = V9 + V11 + V12					587.63					
Vc,W = V3 + V5 + V6					762.34					
Vc,N = V6 + V8 + V9					908.02					
Vc,S = V2 + V3 + V12					582.32					
Capacity Computation										
		EB	1	WB	2	NB	3	SB	4	
Capacity	Upper bound	870		756		671		874		
	Lower bound	698		598		525		702		
v/c ratio	Upper bound	0.81		1.04		0.70		0.97		
	Lower bound	1.01		1.32		0.90		1.21		

Evaluación De La Capacidad De Entrada A La Rotonda, al realizar la evaluación según los métodos de Kimber, CETUR, HCM-2010, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 25

Nivel de Servicio – Diversos Métodos

MÉTODO	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
Wardrop	48	34	40	141	111	94	86	163	120	45	37	54
Kimber	36	67	54	132	102	107	93	115	113	38	49	63
HCM 2010	61	45	62	129	87	98	102	154	124	67	76	41

MÉTODO	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
Wardrop	D	C	D	F	F	F	F	F	F	D	D	E
Kimber	D	E	E	F	F	F	F	F	F	D	D	E
HCM 2010	E	D	E	F	F	F	F	F	F	E	E	D

Leyenda:

- A: Flujo libre (<10)
- B: Flujo razonablemente libre. (>10-20)
- C: Zona de flujo estable. (>20-35)
- D: Aproximándose a flujo inestable. (>35-50)
- E: Flujo inestable; puede haber cortas paradas. (>50-80)
- F: Congestión inaceptable; pare y siga: flujo forzado. (>80)

3.7 Discusión

Entre resultados coincidentes tenemos a Álvarez (2016) que presenta la importancia conocer y analizar el tráfico vehicular que se presenta, especialmente en horas pico donde las calles se vuelven intransitables tanto para vehículos como para transeúntes, convirtiéndose en un problema económico, ambiental y social.

También comenta que el tráfico y la movilidad, en términos de transporte, son la causa principal del incrementado de los impactos negativos en el ambiente urbano como son la contaminación del aire, el ruido, el consumo excesivo de recursos y la ocupación extensiva del espacio. Es por esto que se debe determinar sus grados de saturación, capacidad vial y otros parámetros de la circulación, que permitirán determinar a las autoridades de la ciudad o profesionales, los costos por la implementación de un nuevo proyecto vial, así como establecer los beneficios esperados en cuanto a reducción de demoras, gasto de combustible, contaminación ambiental, accidentes de tránsito y otros parámetros.

Al realizar el crecimiento vehicular en un tiempo de 10 años se constata el crecimiento del parque automotor es por eso que en el tema de investigación de Bonilla (2011) se determina que la ciudad de Huancayo se ha caracterizado por su crecimiento en forma lineal, orientada hacia la Calle Real (Norte - Sur) y la Av. Callmel del Solar (noreste). En consecuencia, el sistema de transporte público existente comenzó a ser ineficiente debido a que no se compensaba el número de vehículos con el número de usuarios a servir; ineficiencia que se acentuaba principalmente en las horas denominadas punta.

En la actualidad el Parque Óvalo Huancavelica, no ofrece un nivel de servicio adecuado, las dimensiones geométricas existentes no son suficiente para la cantidad de vehículos que circulan. Tal y como propone Esquivel (2011), una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas las cuales reflejen diseños más justos, seguros y humanos para los habitantes del área de Lima Metropolitana. Para ello se analizarán los puntos de vista del transporte y la movilidad, en forma independiente, para luego analizar la combinación de ambos. Finalmente, se propone una metodología de diseño y planeamiento intersecciones urbanas desde el punto de vista del transporte y la movilidad.

El mejoramiento de la rotonda es esencial pues según el estudio vehicular la intersección actual no es apta para la cantidad de vehículos que circulan, ya que la descompensación de flujos de tráfico precisa de acondicionamiento u ordenación que maximice la capacidad y mejore el nivel de servicio de la glorieta,

sin necesidad de ser sustituidas por otros tipos de intersecciones o por enlaces (Ramírez Vélez, 2004).

Es claro que existe la necesidad de diseñar una infraestructura vial que optimice las exigencias presentadas por la circulación vehicular, teniendo como objetivo principal proporcionar un diseño eficiente, seguro, económico y que esté acorde con los recursos disponibles que cada vez resultan más limitados en la medida que el crecimiento de la construcción densifica la ciudad al punto de hacer crítica la disposición de espacio destinado para el transporte.

Además, es relevante la existencia de factores importantes que determinan la necesidad de intersecciones viales; uno de éstos es la evidencia física de la congestión de tránsito, que en la actualidad muestra puntos críticos y se convierte en prioridad. La otra, es el resultado de la proyección del flujo que arroja un aumento para los próximos años (Sánchez-Flores & Romero-Torres, 2010).

CAPITULO IV
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES
Y REFLEXIONES

4.1 Conclusiones del estudio

De acuerdo al estudio de tráfico se concluye que existe mayor cantidad de vehículos particulares (vehículos ligeros) que circulan en la zona de estudio, donde el VHMD se encuentra entre las 8:00 am - 9:00 am; asimismo al realizar el cálculo de la capacidad de entrada con el método del HCM (NCHRP), se observa mayor cantidad de vehículos en el mov. 4 y 8 de la rotonda siendo el número de vehículos que circula de 399 y 395 vehículos, de acuerdo a la siguiente tabla.

1 hora	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
8:00 - 9:00	346	342	321	399	314	322	291	395	267	188	198	155

Al realizar el cálculo de desplazamiento en la rotonda de un punto a otro (primer cuadro), resulta un nivel de servicio "F" (segundo cuadro), donde el flujo vehicular no es libre y constante. Que se detalla de la siguiente forma:

METODO	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
Wardrop	48	34	40	141	111	94	86	163	120	45	37	54
Kimber	36	67	54	132	102	107	93	115	113	38	49	63
HCM 2010	61	45	62	129	87	98	102	154	124	67	76	41

METODO	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
Wardrop	D	C	D	F	F	F	F	F	F	D	D	E
Kimber	D	E	E	F	F	F	F	F	F	D	D	E
HCM 2010	E	D	E	F	F	F	F	F	F	E	E	D

El levantamiento topográfico nos ayuda a obtener las características geométricas de la rotonda actual, asimismo la metodología del HCM 2010 (NCHRP), usa tales dimensiones para verificar si las dimensiones actuales cumplen con las

condiciones actuales del parque automotor. La oferta vial no es suficiente para la demanda vehicular actual en el Parque Óvalo Huancavelica.

Descripción	AFORO 01			AFORO 02			AFORO 03			AFORO 04		
	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mov. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12
Demanda Vehicular	5097	5141	4593	5643	5341	5225	4189	4773	5115	2682	3545	3308
Oferta Vehicular	4417	4529	3859	4963	4647	4580	3489	3933	4481	2202	2915	2712

De acuerdo a la hipótesis planteada inicialmente, mediante el método del Chi Cuadrado se verifica que, $X^2 = 63.821$, $df = 22$, $p = 0.000$, como la significancia es menor que 0.05 se rechaza la H_0 , por lo que la metodología de HCM 2010 (NCHRP), si determina la capacidad vehicular y nivel de servicio del Parque Óvalo Huancavelica por lo tanto se considera la hipótesis alternativa al 95 % de confiabilidad.

4.2 Recomendaciones

Como se ha visto, el cálculo de la capacidad de la glorieta o de una de sus entradas, no resulta sencillo, ya que la capacidad variara considerablemente con la duración del ciclo, vehículos ligeros, vehículos pesados y ancho del carril, en ese sentido la capacidad no se refiere al máximo volumen al que puede darse servicio durante una hora, sino las variaciones significativas del flujo dentro de una hora.

Se debe instalar un sistema de semaforización para mejorar el nivel de servicio y funcionamiento de la intersección.

Las rotondas son un tipo de intersección diseñadas para facilitar la regulación del tráfico y reducir el número de colisiones entre vehículos, dimensiones geométricas, es por eso que se recomienda el uso de la rotonda. Las rotondas, para el paso de vehículos resulta ser más segura y rentable que los cruces regulados mediante semáforos recomendando optar por este tipo de

construcción a la hora de solucionar las corrientes circulatorias y el encuentro de vías.

Dado el gran espacio que hay actualmente en esa zona, se puede optar por cambiar el tipo de intersección a un intercambio vial a desnivel; asimismo, se deberá mejorar la señalización existente en el óvalo.

4.3 Reflexiones

Es fundamental analizar la capacidad vehicular en diferentes tipos de ciudades debido a varios motivos. En primer lugar, el crecimiento del parque automotor y el aumento del flujo de tráfico pueden generar problemas de congestión y retrasos en la movilidad urbana. Estos problemas no solo afectan la eficiencia del transporte, sino también la calidad de vida de los habitantes.

Además, la capacidad vial adecuada es crucial para garantizar la seguridad vial. Un sistema de calles sobrecargado puede aumentar los riesgos de accidentes y poner en peligro la integridad de los usuarios de la vía, ya sean conductores, peatones o ciclistas. Por lo tanto, es esencial evaluar la capacidad de las vías y realizar mejoras cuando sea necesario para garantizar un entorno vial seguro.

Asimismo, el análisis de la capacidad vehicular permite planificar el desarrollo urbano de manera sostenible. Al comprender la demanda de transporte y evaluar la capacidad de las vías existentes, se pueden tomar decisiones informadas sobre la expansión de la infraestructura vial, la implementación de sistemas de transporte público eficientes y la promoción de medios de transporte alternativos, como caminar o andar en bicicleta. Esto contribuye a la reducción de la congestión, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la calidad del aire en las ciudades.

Además, el análisis de la capacidad vehicular también es relevante para la gestión del tráfico en situaciones de emergencia o eventos especiales. Saber cuánto tráfico puede soportar una ciudad y qué rutas son las más adecuadas para desviar el flujo vehicular en caso de incidentes o congestión masiva es esencial para garantizar una respuesta eficiente y rápida.

El análisis de la capacidad vehicular en diferentes tipos de ciudades se vuelve cada vez más relevante en un mundo en constante crecimiento y urbanización. A medida que las ciudades se expanden, el número de vehículos en las vías aumenta de manera significativa, lo que genera desafíos importantes en términos de movilidad y calidad de vida.

Uno de los principales problemas que surge de un crecimiento descontrolado del parque automotor es la congestión del tráfico. Cuando las vías de una ciudad no están preparadas para soportar la cantidad de vehículos que circulan diariamente, se generan embotellamientos, largos tiempos de viaje y un deterioro general de la calidad de vida de los habitantes. Esto afecta negativamente la eficiencia de los desplazamientos, la productividad económica y el bienestar de las personas.

Además de la congestión, un sistema vial sobrecargado puede tener consecuencias graves en términos de seguridad vial. La capacidad insuficiente de las calles y las intersecciones puede dar lugar a situaciones peligrosas, aumentando el riesgo de accidentes y lesiones. Es fundamental evaluar y diseñar las vías de manera que se minimicen los puntos de conflicto y se maximice la seguridad para todos los usuarios de la vía, ya sean conductores, peatones o ciclistas.

El análisis de la capacidad vehicular también es esencial para una planificación urbana sostenible. Al comprender las necesidades de transporte de una ciudad y su capacidad para satisfacerlas, se pueden tomar decisiones informadas sobre la inversión en infraestructura vial, la implementación de sistemas de transporte público eficientes y la promoción de alternativas de movilidad sostenible, como el uso de bicicletas y la mejora de las infraestructuras peatonales. Esto contribuye a reducir la dependencia del automóvil, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en las ciudades.

Además, el análisis de la capacidad vehicular es crucial para la gestión del tráfico en situaciones de emergencia o eventos especiales. Saber cuánto tráfico puede soportar una ciudad y qué rutas son las más adecuadas para desviar el flujo

vehicular en caso de incidentes o congestión masiva es esencial para garantizar una gestión vehicular adecuada.

En resumen, analizar la capacidad vehicular en diferentes tipos de ciudades es fundamental para abordar los desafíos de movilidad, seguridad, desarrollo sostenible y gestión del tráfico. Estos análisis brindan información valiosa para la planificación urbana, la toma de decisiones y la implementación de medidas que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos y promuevan una movilidad eficiente y segura.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. A. (2016). *Estudio comparativo de los factores relacionados con la elección modal en redes de transporte con sistemas de capacidad intermedia: influencia de la imagen percibida de los modos ferroviarios frente al autobús de alto nivel de servicio*. [Tesis doctoral]. Universidad de La Coruña.
- Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). *Manual de carreteras*. Volumen I: elementos y proyecto. Caminos I.
- Bonilla, H. (2011). *Análisis del sistema de transporte público en la ciudad de Huancayo*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/154>
- Brito Galarza, C. F., & Torres Navas, L. G. (2017). *Efecto de la condición de la superficie de rodamiento en la estimación de la capacidad vial y el nivel de servicio aplicando la metodología HCM, en la vía Zhud-Biblián* [Tesis doctoral]. Universidad de Cuenca.
- Cal, R., Mayor, R., & Cárdenas, G. (1996). *Ingeniería de tránsito*. Cúspide.
- Cerquera, F. (2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, *Escuela Ingeniería de Transporte y Vías*, Colombia, 22, 2015.
- Darder Gallardo, V. (2005). *Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización*. <http://hdl.handle.net/2099.1/3375>
- Dueñas-Ruiz, D. E., & Jaimes-Monsalve, H. (2008). Métodos para determinar la calidad del servicio de transporte urbano en autobús. *Revista UIS Ingenierías*, 7(2).
- Esquivel, W. (2011). *Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/808>
- González del Águila, W. J. (2010). *Propuesta de i+ d+ i de instrumentos de medición de niveles de serviciabilidad de carreteras asfaltadas: un aporte de innovación tecnológica al mantenimiento de obras de infraestructura vial*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/836>
- HCM (2010). *Manual de capacidad de carreteras HCM 2010*. <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews273hcm2010.pdf>

- Instituto de Construcción y Gerencia (ICG). (2006). *Manual de diseño geométrico para vías e intersecciones urbanas*. <https://cutt.ly/bwqfbFXU>
- Maldonado, M. O., Herz, M., & Galarraga, J. (2012). Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al manual de capacidad HCM2010. *Transportes*, 20(3), 51-61.
- Mojica González, L. G. (2018). *Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM-versión 2000 y HCM-versión 2010, y análisis geométrico, del anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte-POZ norte, en la ciudad de Bogotá DC*. [Tesis de Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/766>
- NCHRP (s.f.). *National Cooperative Highway Research Program*. <https://www.trb.org/NCHRP/NCHRP.aspx>
- Pérez Zuriaga, A. M., López Maldonado, G., & Camacho Torregrosa, F. J. (2018). *Capacidad y Niveles de Servicio*. Universitat Politècnica de València.
- Possú, O., & Alejandra, M. (2015). *Análisis de capacidad y nivel de servicio del corredor vial Cali-Jamundí*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad del Valle.
- Quinto, P., & Iván, J. (2016). *Análisis De La Capacidad Y Nivel De Servicio Del Bypass De Babahoyo (Tramo Entre La Calle Jaime Roldós Y Juan José Flores)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15420>
- Ramírez Vélez, G. A. (2004). *Análisis para la determinación del nivel de servicio y demora en intersecciones viales semaforizadas*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/849>
- Sánchez Acurio, C. F., & Gutiérrez Medina, C. G. (2017). *Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio de la carretera San Sebastián-Ccorao de la provincia de Cusco-Cusco*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Andina de Cusco.
- Sánchez-Flores, Ó., & Romero-Torres, J. (2010). Factores de calidad del servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca, México. *Economía, sociedad y territorio*, 10(32), 49-80.
- Vega Cuevas, Z. Y. (2018). *Análisis de la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca perteneciente a la red vial nacional*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1834>

INFORMACIÓN DE AUTORES

Mercedes Surichaqui	Ingeniero Civil. Cuenta con una maestría de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, estudios de doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad Federico Villareal. Docente universitario de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada San Juan Bautista. Actual docente de la Universidad Privada del Norte.
Freddy Matamoras	Bachiller en Ingeniería Civil por la Universidad Nacional de Huancavelica, Maestro en Gestión Pública por la Universidad Cesar Vallejo, Maestro en Ciencias de la Ingeniería, mención Planeación Estratégica y Gestión en Ingeniería de Proyectos por la Universidad Nacional de Huancavelica.
Angela Sillo	Ingeniero Economista por la Universidad Nacional del Altiplano, Magíster en Administración Estratégica de Empresas por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Licenciado en Educación Primaria por la Universidad Los Ángeles de Chimbote.
Augusto Manrique	Ingeniero Zootecnista por la Universidad Nacional de Huancavelica, Magíster en manejo de suelos y aguas por la Universidad de Chile.
Walter Mayhua	Economista por la Universidad Nacional del Centro del Perú, Magíster en Gestión Pública Universidad Nacional de Huancavelica.
Franklin Surichaqui	Licenciado en matemática. Realizó estudios de Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional de Huancavelica y Doctorado en Ciencias de la Educación en la Universidad Nacional del Centro del Perú. Docente universitario de la Facultad de Ingeniería de Minas- Civil y Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica.

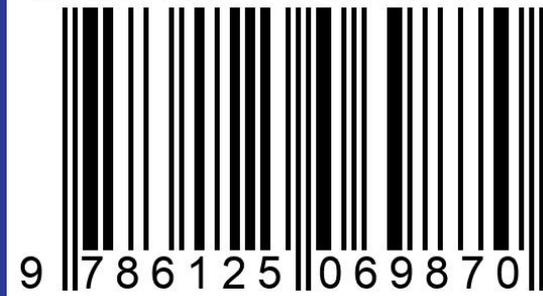
Este libro se terminó de publicar en la editorial

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**





ISBN: 978-612-5069-87-0



EDITADA POR
INSTITUTO
UNIVERSITARIO
DE INNOVACIÓN CIENCIA
Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ