

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Las rotondas son un tipo de intersección especial en la cual el flujo vehicular es dirigido en un movimiento giratorio alrededor de una isleta central para comunicar a los ramales que intervienen en ella. Son utilizadas comúnmente como solución a los problemas de movilidad y de comunicación entre tres o más vías. Es una solución a base de bajas velocidades relativas y circulación continua de las corrientes vehiculares. Las rotondas, al igual que muchos otros elementos de tránsito, son frecuentemente utilizados, sin embargo, son muy pocos los que se detienen a preguntarse sobre la verdadera efectividad o relevancia que la disposición que este objeto determinado pueda tener. De ahí resulta importante hacer un análisis de sus parámetros de diseño geométricos e investigar si los mismos se enmarcarían en estándares de control internacional para asegurar que las rotondas en estudio tienen la funcionalidad adecuada a las circunstancias.

#### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

No es para nadie desconocido del descontrolado crecimiento del parque automotriz en la ciudad capital del Departamento de Tarija, lo que incide en una creciente presión sobre la limitada capacidad del sistema vial público actual, constituyéndose en un peligro latente para la vida de los tarijeños e influyendo negativamente en su calidad de vida.

Como puede apreciarse habitualmente en la avenida circunvalación como en el resto de la ciudad, el mayor impacto negativo de la congestión vehicular se concentra en las intersecciones, lo cual amerita prestar la mayor atención posible en el diseño geométrico, de la infraestructura vial de las rotondas.

Los resultados podrán utilizarse por la institución vial pertinente, para plantear acciones de carácter inmediato y a futuro que beneficie a la sociedad tarijeña.

### **1.3. OBJETIVO**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar los parámetros de diseño, de las rotondas seleccionadas en la avenida circunvalación desde el punto de vista geométrico para detectar posibles fallas en el diseño, determinando el cumplimiento de normas internacionales, así mismo proporcionar un diseño que cumpla con las normas establecidas.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar levantamiento topográfico en las rotondas en estudio.
- Determinar los volúmenes y velocidades de tráfico en las intersecciones seleccionadas del tramo de estudio.
- Elaborar tablas de resumen de los estudios realizados.
- Realizar un análisis comparativo de los parámetros de diseño en función a normativas internacionales.
- Elaborar propuestas de solución a corto y largo plazo

### **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.4.1. Situación problemática**

El comportamiento de las intersecciones es complejo debido a la congestión vehicular y los problemas que estos generan. Las rotondas son de gran importancia en las obras de infraestructura vial, más aún en las vías con mayor flujo vehicular. En las rotondas seleccionadas dentro del tramo en estudio sobre la avenida Circunvalación se presentan los problemas antes indicados.

Las rotondas son objetivamente una buena solución al tráfico vehicular, en la práctica las rotondas existentes tendrían que ser analizadas en caso de no responder a criterios de fluidez del tráfico, valorándose la pertinencia de los parámetros de diseño geométrico.

La irresolución al problema planteado generaría incertidumbre actual y futura acerca de la funcionalidad adecuada de la rotonda o por el contrario de su disfuncionalidad.

En el entendido de que las rotondas no tienen un diseño adecuado, el presente trabajo considera analizar los componentes de diseño geométrico de las rotondas en estudio y en actual funcionamiento y determinar si los mismos están dentro de los estándares técnicos internacionales que podrían estar incidiendo sobre los problemas de la fluidez del tráfico.

#### **1.4.1.1. Delimitación temporal**

El fenómeno de congestión vehicular, está ocurriendo en tiempo presente

#### **1.4.1.2. Delimitación espacial**

Área de trabajo; Topografía y Tránsito vehicular.

Base de operaciones; Mediciones y estudio de tráfico, recopilación de datos en campo para posteriores análisis.

Aplicación; Intersección vial, flujo vehicular y evitar el congestionamiento

#### **1.4.1.3. Delimitación académica**

El siguiente proyecto de grado cumplirá con lo exigido por la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en torno al grado investigativo y el esquema de presentación para proyectos de tesis, se sustentará bibliografía y textos que proporcionan conceptos y teorías sobre intersecciones rotatorias y sus elementos geométricos.

#### **1.4.2. Problema**

¿En qué medida la geometría del diseño de las rotondas seleccionadas estaría influyendo en la congestión vehicular en el tramo en estudio sobre la avenida circunvalación de la ciudad de Tarija?

### **1.5. DEFINICIÓN DE VARIABLE**

#### **o Variable independiente:**

Rotonda

### 1.5.1. Conceptualización y operacionalidad de la variable

Tabla 1 Conceptualización y operacionalidad de la variable

Variable independiente				
Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor
Rotonda	Intersección circular con la finalidad de descongestionar el tráfico vehicular.	Recolección de información	vehículos por hora	Realización de aforos, medición de tiempos y distancias
			segundos	
			metros	
		Disposiciones de carriles		Número de carriles
Elementos geométricos		Valor extraído de la normativa extranjera		

Fuente: Elaboración propia

## 1.6. HIPÓTESIS

Si los parámetros de diseño geométrico de las rotondas en estudio son ubicados y dimensionados de acuerdo a normas y especificaciones técnicas, entonces estas son aceptables.

## 1.7. PROCESO METODOLÓGICO

### 1.7.1. Tipo de investigación o estudio

La investigación que se tomará en el presente proyecto será del tipo diseño no experimental con un enfoque descriptivo ya que se tratará del análisis de las rotondas en el tramo en estudio avenida Circunvalación entre avenidas Froilan Tejerina y Gran Chaco tomando como parámetro a los parámetros diseño geométrico.

### 1.7.2. Población y muestra

Unidad de muestra; población y muestra.

Unidad = medidas geométricas de las rotondas (m)

Población = La población son las rotondas ubicadas en la avenida circunvalación en el tramo comprendido entre la rotonda del avión y la rotonda de la torre de la ciudad de Tarija.

Muestra = Las rotondas que comprenden el tramo entre la rotonda del avión y la rotonda de la torre en la avenida circunvalación son la totalidad de la muestra en estudio. La población total será:  $N= 3$  rotondas para la investigación.

Tamaño de muestra.

Se tomará la totalidad de las rotondas en el tramo de estudio

$N = n$

### **1.7.3. Métodos**

El tramo rotonda del avión y la rotonda de la torre es parte de la avenida Circunvalación del departamento de Tarija, siendo uno de los tramos más concurridos de la región, ya que es la avenida más usada para el transporte de mercaderías, teniendo una circulación de vehículos variado, un alto volumen de tráfico y con una geometría que genera congestión vehicular generando varios accidentes de tránsito al año.

Es por estas razones que se eligió un muestreo no probabilístico por conveniencia del autor, ya que este tramo es representativo de la red vial departamental de Tarija cumpliendo con todos los requisitos para hacer un análisis de los parámetros de diseño de las rotondas en estudio desde el punto de vista geométrico.

### **1.7.4. Técnicas y procedimiento**

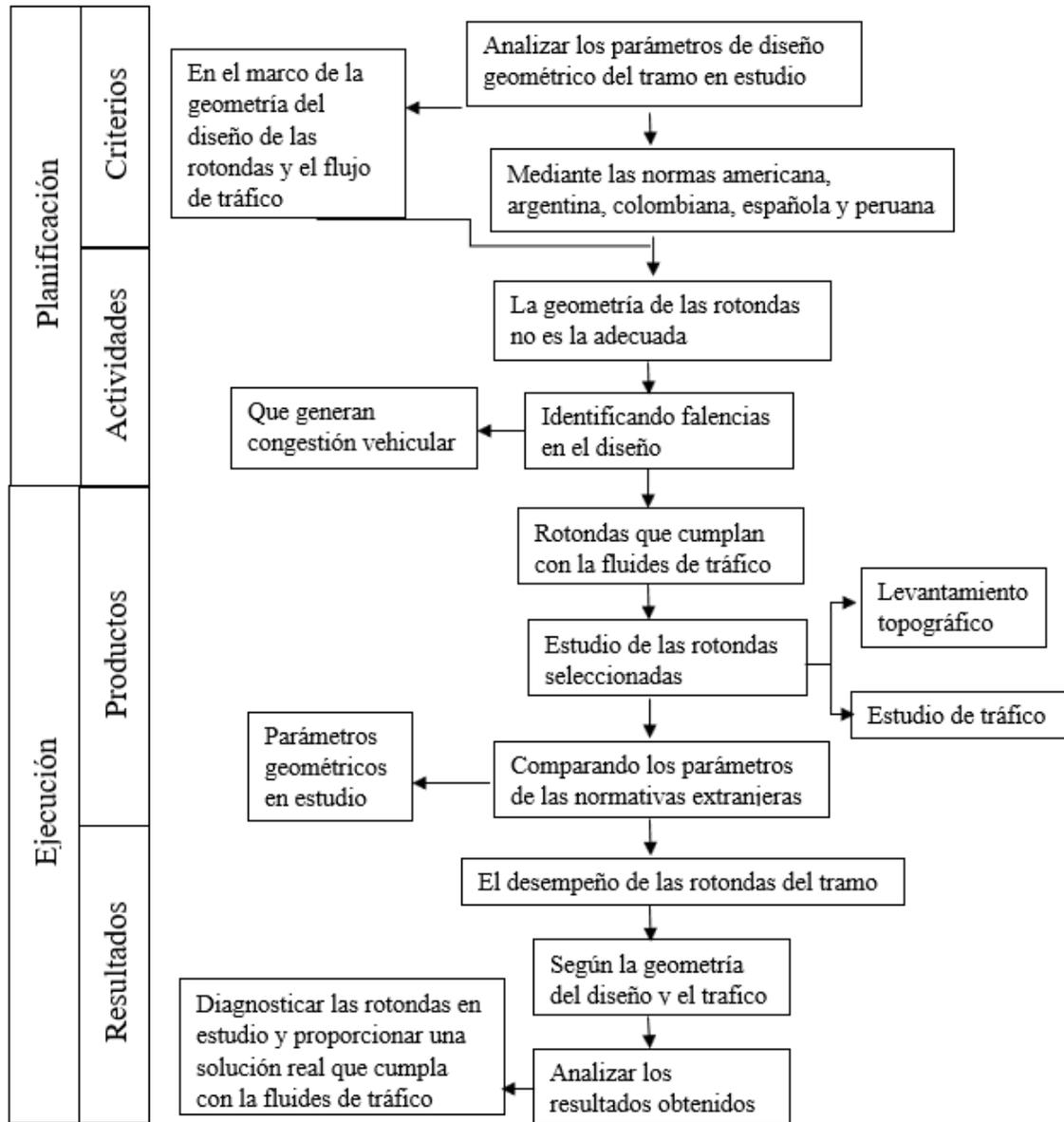
Una de las técnicas a usarse será la de campo ya que aquella propicia la observación directa del objeto de estudio en su elemento en este caso el tráfico, que busca extraer la mayor cantidad de información in situ, o sea, en el lugar mismo.

También se tomará la observación. Ya que es fundamental en todo principio científico, la observación consiste en simplemente confrontar el fenómeno que se desea

comprender y describirlo, tomar nota de sus peculiaridades. En este caso seleccionando los parámetros de diseño geométrico para su posterior estudio.

### 1.7.5. Identificación del esquema que corresponde a la perspectiva.

Esquema de Perspectiva



Fuente: Elaboración propia

## **1.8. ALCANCE**

La propuesta presente abarca el análisis a nivel de diseño geométrico sobre la avenida circunvalación en las intersecciones rotatorias del tramo comprendido desde la rotonda de la avenida Froilán Tejerina y avenida Circunvalación (rotonda torre petrolera) hasta la rotonda de la avenida Gran Chaco, Circunvalación y Delio Echazu (rotonda del avión).

Se pretende dar una breve introducción, y se describirá los objetivos que se quiere alcanzar con la realización del tema planteado, se plantea de manera clara el diseño teórico de este proyecto justificando la necesidad de realizar este estudio.

Se realizarán mediciones geométricas en campo, de los elementos que componen a los sistemas rotatorios haciendo uso de equipo topográfico.

Los aforos de volúmenes, velocidades y tiempos de ciclo se los realizara de forma manual es decir que se realizara en las horas de mayor cantidad de circulación vehicular, luego con los datos recopilados hacer el tratamiento estadístico correspondiente.

Con el registro de mediciones geométricas se podrá realizar un análisis comparativo de las mismas con las normas de Argentina, Colombia, Estados Unidos, España y Perú, de esta manera identificar similitudes y diferencias con ellas.

A continuación, con los datos de campo analizado y procesado se observará si en la rotonda existiese problemas, para así hacer el planteamiento de solución a corto y largo plazo que pueda mejorar el comportamiento de las rotondas ubicadas en el tramo en estudio, a su vez se realizara un análisis técnico, económico y socioambiental de las propuestas que se plantearan.

Para esta última parte se darán las conclusiones y recomendaciones necesarias sobre este estudio.

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS GENERALES DE LA  
GEOMETRÍA DE ROTONDAS Y  
COMPORTAMIENTO DEL  
TRÁFICO**

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LA GEOMETRÍA DE ROTONDAS Y COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO**

#### **2.1. DEFINICIÓN DE INGENIERÍA DE TRÁFICO**

La Ingeniería de Tráfico es aquella rama de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tráfico por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros medios de transporte dando soluciones para mejorar las condiciones de circulación.

Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región; es por esto que el punto de vista del ingeniero de tráfico debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El técnico a su vez debe acostumbrarse a tener en cuenta en sus trabajos las distintas exigencias de la colectividad de la higiene, de la seguridad, de las actividades comerciales e industriales, etc.

Para poder realizar un proyecto vial se requiere de información sobre comportamiento de tráfico y esta se puede determinar por medio de aforos, que son mediciones en campo del flujo vehicular existente esta información se depura, procesa y proyecta.

#### **Evolución de la ingeniería de tráfico**

El transporte en general ya sea de pasajeros o cargas ha tenido una evolución que data desde hace muchos años, se hace referencia a la aparición durante los primeros siglos del vehículo de tracción animal que sirve para transportar pasajeros y carga de un lugar a otro. En el siglo X y XI se registra un incremento importante en la población, el comercio y el transporte, surgiendo muchos centros mercantiles que obligan a crear nuevas vías de transporte y a mejorar las condiciones de los vehículos.

La aparición del vehículo se hace en el siglo XV y XVI en algunos caminos ya construidos con mejores condiciones, vehículos mejorados como las diligencias, pero aun con tracción animal. En las últimas décadas del siglo XIX se ve la aparición del automóvil con motor a gasolina y renace el deseo de conservar en buen estado los

caminos existentes lo que nos hace ver que el vehículo actual que se conoce prácticamente forma del siglo XX, pero a partir de la aparición del mismo, ha tenido una evolución muy importante dando lugar a los vehículos de alta tecnología cuya potencia y velocidad se han incrementado hasta llegar a los vehículos actuales.

Si se hace una comparación entre los caminos que se tienen desde la aparición del hombre hace 100.000 años, se conoció la agricultura desde hace 6.000 años, se establecieron los primeros centros de civilización sólo hace 100 años de la aparición del vehículo a combustión, lo que demuestra en realidad que el automóvil es un elemento nuevo frente a los caminos y al hombre.

## **2.2. ELEMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁFICO: Usuario-vehículo-vía**

Los elementos básicos que corresponden a la ingeniería de tráfico son: el usuario (relacionado con conductores y peatones), el vehículo y la vialidad (relacionado con calles y carreteras).

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor, el ingeniero de tránsito debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tráfico. Los seres humanos, peatones y conductores, son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de ser controlados y guiados en forma apropiada. El comportamiento del individuo en el flujo de tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establecen sus características.

### **Usuario**

Se considera como usuario a todos los conductores de vehículos motorizados y los peatones que son parte de la circulación de tráfico.

### **El Conductor**

El elemento conductor es toda aquella persona que en forma individual o colectiva realiza la acción de conducir un vehículo motorizado, este elemento está sujeto a condiciones físicas y psicológicas en el momento de conducir.

De las condiciones físicas la más importante tiene que ver con la visión, es decir una condición física necesaria para ser un conductor es tener en condiciones adecuadas el órgano de la visión. Existen algunas enfermedades como la miopía, el astigmatismo, el estrabismo, la presbicia, etc. que son enfermedades de la vista que pueden ser solucionadas con la utilización de lentes que corrigen estas deformaciones y gracias a este recurso todas las personas que sufran de estas dificultades físicas podrían considerarse aptas para ser conductoras.

A parte de las condiciones físicas existen las reacciones físicas y psicológicas que también intervienen en el conductor. Las reacciones físicas tienen que ver con el hábito, la habilidad que tiene cada individuo debido a las repeticiones diarias en la acción de conducir un vehículo; estas reacciones se consideran coyunturales que puedan ir mejorando con el tiempo de conducción y con la habilidad que vayan adquiriendo.

Las reacciones psicológicas son factores de comportamiento en el individuo que se deben a diversos aspectos emocionales no físicos que en algún momento podrían considerarse como impedimento de conducción entre estos factores se tiene:

- La fatiga
- El estado emocional
- La enfermedad provocada por el alcohol

Son factores que pueden hacer variar la forma de conducir un vehículo en un momento determinado que se manifiesta en una reacción.

### **El peatón**

El elemento peatón en este momento es considerado el usuario más indisciplinado porque es contrario al cumplimiento de normas y reglamentos que mejoren la circulación y den mayor seguridad al usuario. Es más complejo el comportamiento de los peatones a medida que aumenta la población o aumenta el número de peatones en un punto crítico de circulación como lo son los centros deportivos, de abasto o comerciales que son lugares que por sus características pueden tener mayor afluencia de peatones.

Dependiendo del lugar, de las condiciones habituales del comportamiento los peatones normalmente circulan en velocidades de 1 a 1.4 m/s; a mayor cantidad de población se reduce la velocidad de circulación peatonal.

## **Vehículo**

El elemento vehículo es el que más ha evolucionado desde su aparición y ha ido cambiando al pasar el tiempo adquiriendo mayores velocidades, mayor potencia, mayor maniobrabilidad, etc. Un vehículo es importante conocerlo desde diferentes puntos de vista como ser:

- Características físicas
- Uso o utilización del vehículo

### **Características físicas**

Las características físicas que interesan del vehículo para estudiarlo, como un elemento de tráfico son sus dimensiones como: alto, ancho, largo y el peso que este vínculo tiene, aunque este último factor no tiene incidencia directa en la ingeniería de tráfico, pero si indirectamente en la composición vehicular donde los vehículos pesados tienen a su vez incidencias en la velocidad, en el volumen, en la capacidad, en los niveles, etc.

En cuanto a las dimensiones la tendencia de los vehículos livianos a través de los años ha sido reducir el tamaño y reducir el peso, aunque en vehículos cuyos usos estén destinados al transporte de carga y pasajeros a mayor escala han existido un incremento de sus dimensiones y también de sus pesos. Algunas características normales de las dimensiones de tráfico son las siguientes:

### **Uso o utilización del vehículo**

Otro de los factores desde el cual se debe realizar un análisis del vehículo es de acuerdo a su uso o utilización ya que en la práctica los vehículos tienen una diversidad de uso de los cuales depende el comportamiento del tráfico.

Desde el punto de vista del tráfico se puede decir que hay dos tipos de vehículos: particulares y públicos.

Los vehículos particulares son vehículos livianos por lo general cuyo uso principal es el transporte de personas de un punto a otro con diversos fines ya sea del tipo laboral, educativo, comercial, etc.

### **Vía o calle**

Se entiende por camino, a aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad.

Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado del desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que en un país de un alto nivel de vida tendrá un excelente sistema vial, un país atrasado tendrá una red deficiente. (1)

## **2.3. PARÁMETROS DE INGENIERIA DE TRÁFICO**

### **2.3.1. Volumen**

Se realizan estudios de volumen de tránsito para recolectar datos del número de vehículos y/o peatones que pasan por un punto de una instalación de una carretera durante un periodo específico de tiempo.

#### **Volumen de tráfico**

Se define como volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan en una carretera o calle en un periodo de tiempo determinado que normalmente es de una hora, un día dando origen a un nuevo concepto de tráfico promedio diario y tráfico promedio horario respectivamente.

- Transito Promedio Diario (TPD)
- Transito Promedio Horario (TPH)
- Volumen horario

(1) Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones; Rafael Cal – James Cárdenas

### ▪ **Transito promedio diario (TPD)**

Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el estudio se va a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA).

Si bien el concepto de TPD se estableció para estudios cuyo tiempo iba a ser de un año, en la práctica se han dado que normalmente para proyectos específicos de carreteras, aperturas de calles, ampliación de avenidas, etc. Se realicen estudios de volúmenes en periodos cortos menores a un año que sean igualmente significativos en sus valores.

### ▪ **Transito promedio horario (TPH)**

Los volúmenes horarios, a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico, son más significativos porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año; eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Si bien es más importante tener información del tráfico horario, también es cierto que resulta más costoso obtener esta información debiendo tenerse mayor personal, mayores puntos de aforo y por lo tanto mayor costo.

Cuando no es posible tener información sobre el Tránsito Promedio Horario se puede utilizar la relación establecida por la AASTHO y por la AIPCR, organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico.

### ▪ **Volumen horario**

Son los que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un periodo de tiempo, entre el valor de ese periodo de tiempo en horas.

El TPH es un valor que representa el comportamiento horario de los volúmenes de tráfico; sin embargo, los valores del TPH que serían los que se utilicen para diseño no siempre tienen equilibrio con las condiciones físicas y económicas de la calle o

carretera. Por ello, para fines de diseño, se utiliza otro valor denominado Volumen Directriz. (2)

### **Recuento de volúmenes de tráfico**

El recuento de volúmenes se puede realizar de dos formas:

- Recuento automático
- Recuento manual

#### **▪ Recuento automático**

La contadora automática de volúmenes puede ser registrados en forma horaria, diaria, mensual o anual, normalmente el mayor uso de los contadores automáticos son para llevar registros diarios que a través de una lectura inicial y otra final se pueden obtener diariamente lo que no proporciona este tipo de recuento es el tipo de vehículo que han sido registrado, tampoco se registra el número de ejes de cada uno de los vehículos. En algunos proyectos puede ser indispensable conocer el porcentaje de vehículo pesados o conocer cuál es el porcentaje de vehículos que tienen más de dos ejes, este tipo de datos no es posible conseguirlos con un recuento automático, pero si es muy útil el recuento automático para tener valor de TPD.

#### **▪ Recuento manual**

Si se quiere tener una información mucho más explícita sobre el tipo de vehículos, el número de ejes, el volumen por cada sentido, el volumen por cada carril, etc. El recuento manual resulta ser más efectivo, aunque ello requiera de mucho más personal de operadores o aforadores en definitivo representa un presupuesto. Los recuentos manuales en la actualidad solo son usados para proyectos específicos de corta duración o en forma periódica en algunos tramos de carreteras importantes. Dada la importancia de tener valores de volúmenes tanto en carreteras como en calles, cualquiera sea el método automático y manual; es indispensable la información de volúmenes para realizar un análisis del problema de tráfico. (3)

(2) Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones; Rafael Cal – James Cárdenas

(3) Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones; Rafael Cal – James Cárdenas

## **Tipos de aforo**

Definir cuanto tiempo se va realizar los aforos para estudiar su comportamiento; es importante y necesario. En la actualidad existen países que por el avance tecnológico tienen monitoreo permanente de los volúmenes de tráfico lo que quiere decir registro de todas las horas, de todos los días del año. Cuando esto no sucede y requerimos la información, tenemos dos alternativas:

- o Según ABC se establece como tiempo de aforo mínimo para un proyecto vial 7 días de la semana y las 24 horas del día
- o Según AASHTO, establece un proyecto vial cuyo registro de volúmenes son requeridos, primero se toma un día completo de aforo cuyo resultado establece las tres horas pico del día; en función a ello se realiza el aforo en función a esas horas pico por tres días a la semana, dos días hábiles y un día no hábil durante el periodo de un mes.

El departamento de transporte del estado de Nueva York establece para las intensidades horarias previstas en un acceso, los siguientes umbrales (4):

- o Entre 0 y 1000 veh/h un carril puede ser suficiente.
- o Entre 1000 y 1300 veh/h puede ser necesario implementar dos carriles
- o Entre 1300 y 1800 veh/h son necesarios dos carriles.
- o Más de 1800 veh/h serán necesarios dos o más carriles en el acceso

### **2.3.2. Velocidad**

En general, el termino velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora.

#### **Velocidad de punto**

La velocidad de punto es aquella velocidad que se mide a la circulación vehicular considerando a la misma como flujo libre, es decir, que no se tengan restricciones en el

(4) Rotondas aprendidas de manera difícil en los estados de Nueva York; TRB. Vail, Colorado. EEUU

movimiento por vehículos que van adelante, por vehículos que van por atrás, por cruce de peatones, etc.

La velocidad de punto no es una velocidad de diseño ni en calles ni en carreteras, pero es una velocidad cuya referencia nos da las velocidades máximas posibles que se puedan presentar tanto en calles como en carreteras.

Al ser una velocidad que se considere en flujo libre eso no sería posible en espacios o distancias largas; por ello, para su estudio se definen espacios o distancias pequeñas. En el caso de ciudades los espacios serán de 25, 50 ó 100 metros y en el caso de carreteras los espacios serán de 100, 200 o 500 metros siempre y cuando no haya accesos de entrada y de salida. La relación que nos permite determinar la velocidad de punto es la siguiente.

$$VP = d/t$$

Donde:

VP = Velocidad de punto

d = Distancia de recorrido

t = Tiempo de recorrido

#### **2.4. TRÁFICO EN ROTONDAS**

Las intersecciones viales son elementos necesarios e imprescindibles en el flujo vehicular de un medio urbano, ya que son alternativas que los usuarios en determinado momento y a diferentes necesidades utilizan como forma de traslado de un punto a otro; en tal sentido, las intersecciones a nivel tienen una inmensa posibilidad de variación influenciadas directamente por el volumen del flujo vehicular situación que origina el diseño y luego la construcción de aquel como más conveniente. Una intersección se clasifica principalmente en base a su composición (número de ramales que convergen a ella), topografía, definición de tránsito, etc. Entre las más comunes sobresalen las siguientes: empalme en “T” y “Y” (de tres ramales), intersección en “X” y “+” (de cuatro ramales) y la intersección en estrella de más de cuatro ramales; todas las indicadas pueden tener sus variaciones dependiendo de los ángulos que forman.

Actualmente, a esta clasificación de intersecciones se incluyen las intersecciones rotatorias o llamadas también rotondas.

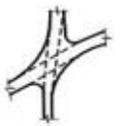
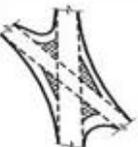
### 2.4.1. Definición de intersecciones giratorias

En la intersección a nivel rotatoria o rotonda, se transforman las maniobras de cruce en entrecruzamientos, haciendo que los vehículos den vueltas parciales alrededor de una isla central. Es una solución a base de bajas velocidades relativas y circulación continua de las corrientes vehiculares.

En ciertos lugares las rotondas pueden ser más convenientes que las intersecciones a nivel. En general su funcionamiento es mejor cuando el volumen de tránsito en todas las ramas de la intersección es aproximadamente igual y su totalidad no excede de los 3000 veh/hr.

Sin embargo, su eficiencia depende de la cantidad de maniobras de entrecruzamiento que se realicen y por lo tanto se adaptan mejor a intersecciones donde los vehículos que giran son más que los que siguen directo.

Figura 1 Tipos básicos de intersecciones en carretera

ESPECIALES	DE CUATRO RAMALES				DE TRES RAMALES				
	INTERSECCION EN X		INTERSECCION EN +		EMPALME EN Y		EMPALME EN T		
 EN ESTRELLA	 SIMPLE	 SIMPLE	 SIMPLE	 SIMPLE	VEASE FIGURA 501.01 ROTONDA	 ENSANCHADA	 ENSANCHADA	 ENSANCHADA	 ENSANCHADA
	 CANALIZADA	 CANALIZADA	 CANALIZADA	 CANALIZADA					

Fuente: <https://brushx10.blogspot.com/>

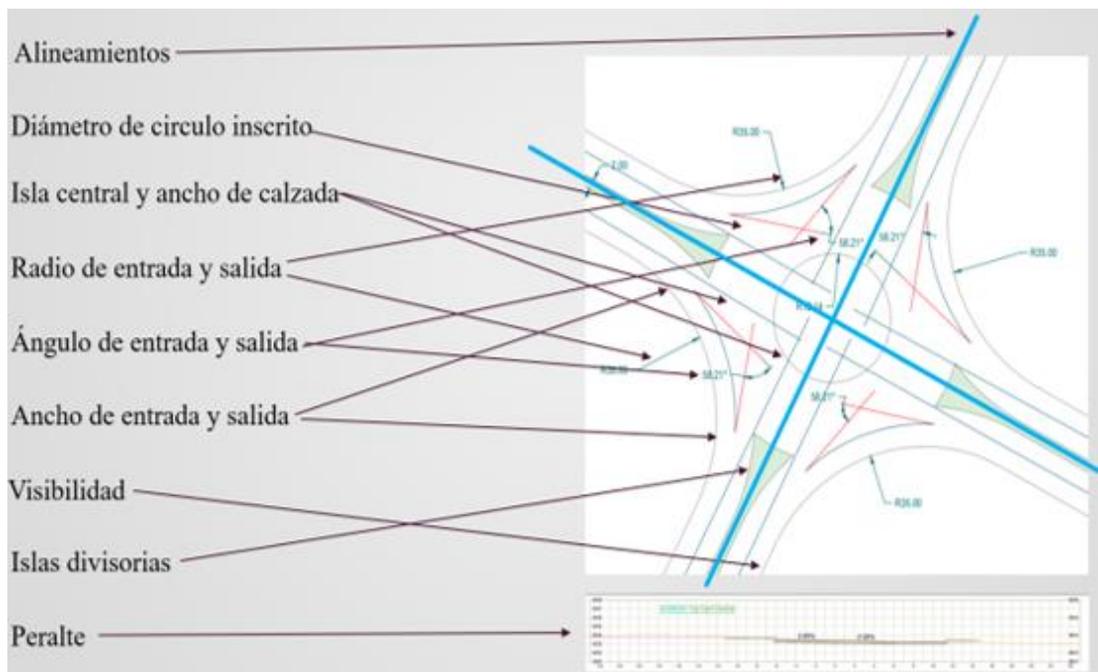
## 2.5. DEFINICIÓN DE ROTONDA.

La definición sobre una rotonda es toda aquella intersección dotada de un isla central y rodeada por una calzada circular con sentido de circulación anti-horario en donde se intercepta con varias calles o avenidas. Este tipo de construcción vial se rige por una regla esencial, donde los vehículos que pretenden ingresar a la calzada circular deben ceder el paso a los que ya se encuentran dentro de ella. Las rotondas se generan, en algún lugar donde se interceptan dos o más vías y/o se produce congestión vehicular.

Las rotondas son medios importantes para el control de tránsito en intersecciones y pueden ser efectivas en el manejo de los flujos direccionales, de acuerdo a las condiciones de espacio y volúmenes de tránsito presentes en un sitio dado.

## 2.6 PARAMETROS GEOMETRICOS EN ESTUDIO

Figura 2 Parámetros geométricos en estudio



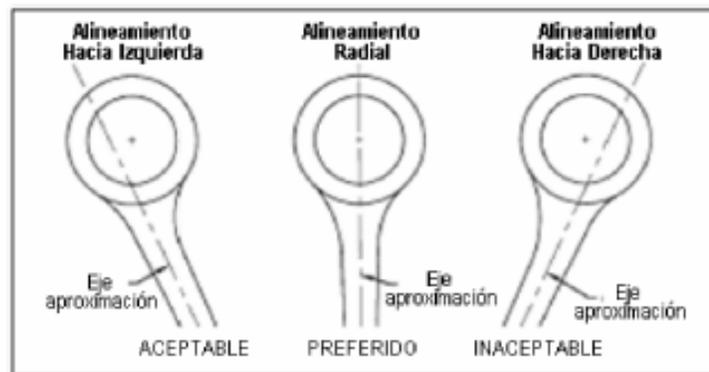
Fuente: Elaboración propia

### 2.6.1. Alineamientos

Una rotonda se encuentra bien ubicada cuando su centro de círculo inscrito coincide con la intersección de los ejes centrales de las vías que llegan a dicha rotonda.

Diseñando correctamente los alineamientos la velocidad baja a través de entradas y salidas, y si no es posible alinear los ejes al centro, un ligero desplazamiento a la izquierda es aceptable; la norma americana comenta que muchas veces el ligero desplazamiento a la izquierda para realzar la curvatura de entrada puede ser beneficioso sólo en casos de círculo inscrito relativamente pequeño. Es importante mencionar que el desplazamiento del eje hacia la derecha es inaceptable, porque la aproximación resulta con un ángulo más tangencial y reduce la oportunidad de que el diseñador pueda colocar la suficiente curvatura de entrada para que los vehículos sean capaces de detenerse al momento de entrar y evitar los choques con los vehículos que están circulando.

Figura 3 Alineamiento radial de las entradas



Fuente: Rotondas: Guía informativa

### 2.6.2. Diámetro de círculo inscrito

Es el diámetro del borde exterior que define la calzada anular. Con formas circulares se puede determinar como la suma de las dimensiones de la isleta central y dos veces la anchura de la calzada anular.

Para diseñar rotondas, la normativa internacional indica que para cada tipo de rotonda existe un tamaño especial de círculo inscrito.

Para rotondas de carril simple, la norma americana indica que el tamaño del círculo inscrito depende de los requerimientos de giro del vehículo de diseño, ya que el diámetro debe ser lo suficiente grande como para que el vehículo de diseño pueda acomodarse. Para las rotondas de carril doble, usualmente dicho acomodamiento del vehículo de diseño no es una restricción.

La normativa americana, aconseja que los diámetros inscritos más pequeños, son mejores, ya que al ser pequeños mantienen velocidades bajas. Por otro lado, dicha normativa indica que, con diámetros más grandes, superiores a 60 m, se inducen altas velocidades de circulación de vehículos y los choques son de mayor gravedad.

Tabla 2 Rangos recomendados de diámetro de círculo inscrito

<b>Configuración de Rotonda</b>	<b>Rango de Diámetro de Círculo Inscrito Común</b>
Mini rotonda	14 a 27 m
Rotonda de un solo carril	27 a 46 m
Rotonda multicarril (2 carriles)	46 a 67 m
Rotonda multicarril (3 carriles)	67 a 91 m

Fuente: Rotondas: Guía informativa

### **2.7.3. Isla central y ancho de calzada**

La isla central y el ancho de calzada se ajustan al diámetro de círculo inscrito.

La calzada circulatoria es la trayectoria curva utilizada por los vehículos para viajar en sentido contrario al reloj alrededor de la isla central.

La isla central es el área situada en el centro de la rotonda alrededor del cual circula el tráfico. Está elevada y está prohibida la circulación a través de ella.

En casos particulares, se sitúa a nivel y es posible franquearla (mini rotondas). También se puede habilitar en el exterior una zona franqueable para facilitar el paso de los vehículos más grandes denominada delantal. La forma no tiene por qué ser circular.

Un delantal es la parte traspasable de la isla central adyacente a la calzada circulatoria que puede ser necesaria para acomodar a los vehículos de gran tamaño. A veces se provee en el exterior de la calzada circulatoria.

La isla central debería ser de forma circular en general. Una calzada circulatoria de radio constante ayuda a promover velocidades constantes alrededor de la isleta central. Las formas ovales o irregulares son más difíciles para maniobrar y pueden ocasionar velocidades altas en las secciones rectas y velocidades reducidas en los arcos. (5)

#### **2.7.4. Radio de entrada y salida**

En este caso, la norma española indica que los radios de entrada se sitúan entre 20 y 50 metros, con la finalidad de realizar un efecto de disminución de velocidad. Para una salida fácil, la norma española sugiere un mínimo de 40 metros como radio de salida

La norma americana establece una relación de radios necesaria para mantener coherencia de velocidades. Indica la norma como deseable que el radio de entrada  $R1$  sea menor que el radio de salida,  $R3$ .

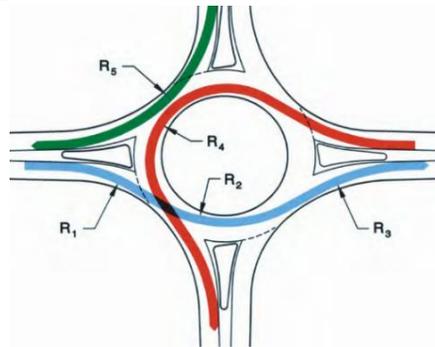
Esto asegura reducción de velocidad en la entrada de la rotonda y también ayuda a reducir la diferencia de velocidades entre en tránsito que entra y el que circula por la rotonda.

En las rotondas de carril doble, el diseño de la curvatura de entrada es más complicado. Superponer pequeños radios de entrada puede resultar en conflictos entre las corrientes de tránsito adyacentes.

Los radios de salida usualmente para minimizar la probabilidad de congestión en las salidas tienen radios más grandes que los de las entradas. La curva de salida debe producir un radio de trayectoria de salida ( $R3$ ) no más pequeño que el radio de la trayectoria de circulación ( $R2$ ). Si el radio de la trayectoria de salida es más pequeño que el radio de la calzada circulatoria, los vehículos viajarán muy rápido para maniobrar la geometría de salida, y pueden chocar en la isleta partidora o contra el tránsito opuesto en el carril de aproximación adyacente.

(5) Rotondas: Guía informativa; Junta de investigación de transporte

Figura 4 Radios de trayectoria de vehículos



Fuente: Rotondas: Guía informativa

### 2.7.5. Ángulo de entrada y salida

La normativa española indica que el ángulo de entrada es, tal vez, el parámetro de mayor importancia en la disposición de una entrada.

Para un buen funcionamiento de la intersección, no conviene que el ángulo sea demasiado grande, porque no fomentaría la reducción de velocidad, facilitaría accidentes graves y el acceso al carril central implicaría una maniobra incómoda. Tampoco conviene que el ángulo sea demasiado pequeño, porque ello supondría una incorporación próxima a la tangencial, que favorece las altas velocidades de incorporación, al mismo tiempo que, dificulta la visibilidad hacia la izquierda, obligando al conductor a un giro casi completo de la cabeza.

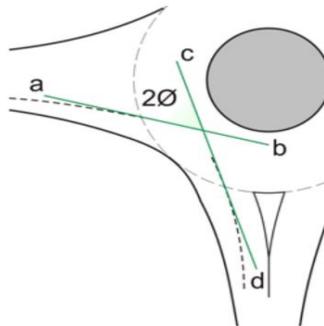
De acuerdo a ello, la normativa española propone ángulos de entrada y salida, que estén comprendidos entre 20 y 60 grados ya que ángulos más grandes favorecen los conflictos en forma de cruce. (6)

De acuerdo a la DNV, el ángulo de entrada no debe ser demasiado grande, porque provocaría maniobras incómodas para acceder a la plataforma circulatoria y podrían producirse accidentes graves con ángulos próximos a los 90°.

(6) Recomendaciones para el diseño de glorietas, Madrid

Tampoco demasiado pequeño, porque supondría una incorporación próxima a la tangencial, que favorece las altas velocidades de incorporación y dificulta la visibilidad hacia la izquierda, obligando al conductor a girar demasiado la cabeza.

Figura 5 Ángulos de entrada a una rotonda



Fuente: DNV, Buenos Aires Argentina

El ángulo  $\emptyset$  es uno de los parámetros fundamentales del diseño de las rotondas. El valor conveniente entre 20 y 40 grados, con un óptimo de 30 grados. Este ángulo es importante para la capacidad y la seguridad de las rotondas. (7)

Hay condiciones de diseño para definir  $\emptyset$ ,

Condición 1:  $\emptyset = 2\emptyset/2$ , donde la distancia entre los lados izquierdo de una entrada y la salida de la siguiente no son más de 98 pies (30 m). En la condición 1, el ángulo agudo es denotado como  $2\emptyset$  en la que el valor real debe ser dividido por dos para obtener  $\emptyset$ .

Condición 2:  $\emptyset = \emptyset$ , si la distancia entre los lados izquierdo de una entrada y la salida más próxima es mayor que 30 m.

### 2.7.6. Ancho de entrada y salida

Según la norma americana, el ancho necesario de entrada para cualquier diseño dado depende del número de carriles y vehículo de diseño. Un ancho de entrada típico para entradas de dos carriles varía entre 7.30 m y 9.10 m y entre 11 m y 13.7 m para entrada de tres carriles. Los anchos típicos de carriles individuales en la entrada varían entre 3.7 m y 4.6 m. (8)

(7) DNV, Buenos Aires Argentina

(8) Rotondas: Guía informativa; Junta de investigación de transporte

La normativa española indica como conveniente que la anchura proyectada para cada entrada quede definida físicamente en obra, sin que queden posibilidades que se formen más líneas de espera de vehículos en los sobre anchos. El mínimo de ancho que recomienda la normativa de diseño de glorietas española es de 4 metros. (9)

### **2.7.7. Visibilidad**

Una buena percepción de la rotonda significa conseguir niveles mínimos de visibilidad de los conductores en la aproximación a la intersección; lo cual requiere un área despejada de obstáculos.

La distancia visual de detención es la distancia a lo largo de un camino requerida por un conductor para percibir y reaccionar ante un objeto en la calzada y frenar hasta una completa detención antes de alcanzar ese objeto.

Debe proveerse en todo punto en una rotonda y en las calzadas de entrada y salida.

$$d = (0.278 * t * V) + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Donde:

d = Distancia de visibilidad para parar (m)

t = Tiempo de reacción para frenar (seg)

V = Velocidad de diseño (km/h)

a = Desaceleración del conductor

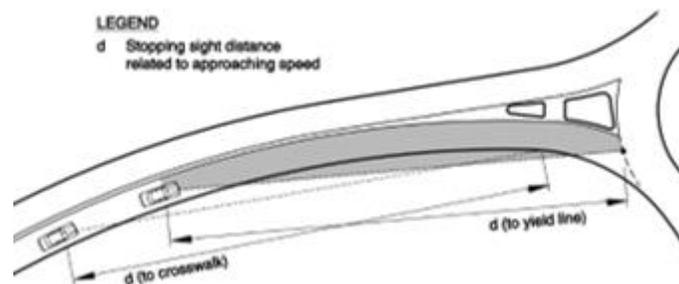
(9) Recomendaciones para el diseño de glorietas, Madrid

Tabla 3 Valores de diseño para distancias visuales de detención

Velocidad (km/h)	Distancia Calculada (m)	Velocidad (mph)	Distancia calculada (pies)
10	8,1	10	46,4
20	18,5	15	77
30	31,2	20	112,4
40	46,2	25	152,7
50	63,4	30	197,8
60	83	35	247,8
70	104,9	40	302,7
80	129	45	362
90	155,5	50	427,2
100	164,2	55	496,7

Fuente: Rotondas: Guía informativa

Figura 6 Distancia visual de detención



Fuente: Rotondas: Guía informativa

### 2.7.8. Islas divisorias

Una isla divisoria es una zona elevada o pintada en un acceso de aproximación a la rotonda, utilizada para separar los tránsitos entrante y saliente, desviar y lentificar el tránsito entrante, y permitir a los peatones cruzar el camino en dos etapas.

Las islas divisorias deben colocarse en todas las rotondas. La normativa internacional indica que están diseñadas para dar protección a los peatones y ayudar a controlar las velocidades, guiar al tránsito en las rotondas, separar físicamente las corrientes de tránsito que entran y las que salen, e impedir movimientos contrarios de vehículos.

Existen beneficios en proveer isletas más grandes, ya que al crecer el ancho de la isleta partidora resulta mayor la separación de corrientes de tránsito que entran y salen del

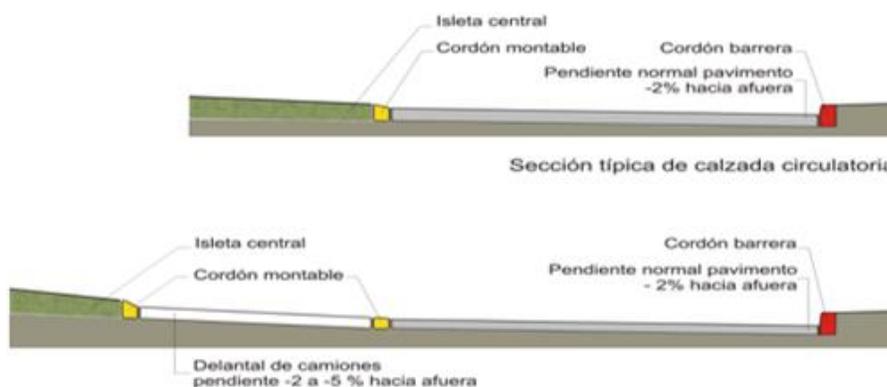
mismo ramal, y aumenta el tiempo para que los conductores que se aproximan distingan entre los vehículos que salen y los que circulan. De esta forma, las isletas divisorias más grandes reducen la confusión para los vehículos que entran a la rotonda.

### 2.7.9. Peralte

Como práctica general para la calzada circulatoria deberá usarse una pendiente transversal del 2.00 % hacia fuera desde la isla central. Esta técnica de peraltado hacia afuera se recomienda por que promueve la seguridad al elevar la cota de isla central, mejora la visibilidad, promueve velocidades de circulación más bajas y minimiza los quiebres en las pendientes transversales de los carriles de entrada y salida.

La pendiente transversal de diseño hacia fuera significa que los vehículos que hacen movimientos directos y los que giran a la izquierda deben maniobrar la rotonda con peralte negativo. Excesivo peralte negativo puede resultar en un incremento de choques de vehículos e incidentes como perdidas de carga de los camiones, particularmente si las velocidades son altas. Sin embargo, en el entorno de la intersección generalmente los conductores esperan viajar a velocidades más lentas y aceptaran mayor fuerza lateral causada por un peralte razonablemente adverso.

Figura 7 Perfil transversal típico de rotondas

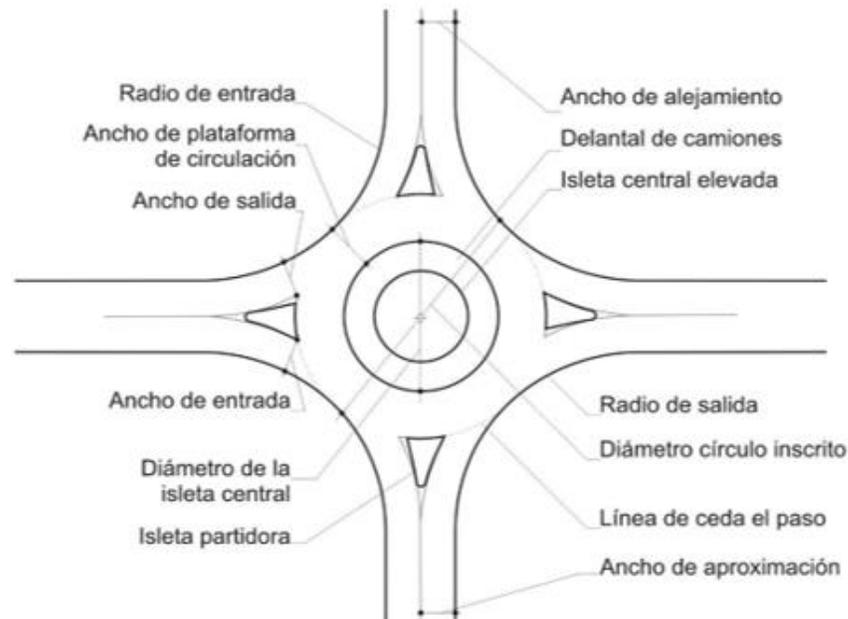


Fuente: Rotondas: Guía informativa

Rasante de los ramales de entrada. En una distancia mínima de 15 m desde la línea de Ceda el Paso, las pendientes de las calzadas de entrada no superarán el 4% (10)

(10) Rotondas: Guía informativa; Junta de investigación de transporte

Figura 8 Elementos de la rotonda



Fuente: DNV; Buenos Aires-Argentina

## 2.8. CATEGORIAS DE ROTONDAS

### 2.8.1. Según su funcionamiento

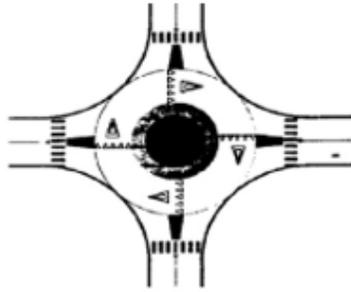
#### **Rotondas convencionales que funcionan por trenzado**

Son iguales que las primeras rotondas que se proyectaron en reino unido, en las que no existía ninguna regla de prioridad, de manera que las incorporaciones se producen por trenzado entre los vehículos que entran y los que ya circulan por la intersección, para que no se produzcan problemas de congestionamiento las longitudes de trenzado deben ser suficientemente grandes, lo que lleva a crear rotondas de tamaño considerable.

#### **Rotondas convencionales con prioridad a la derecha**

Similares a las anteriores salvo en que se establece la norma genérica de prioridad a la derecha, lo que significa dar prioridad a los vehículos entrantes respecto a los que ya circulan por la calzada anular, tienden a ser más grandes y cada vez menos frecuentes.

Figura 9 Rotonda convencional con prioridad a la derecha.

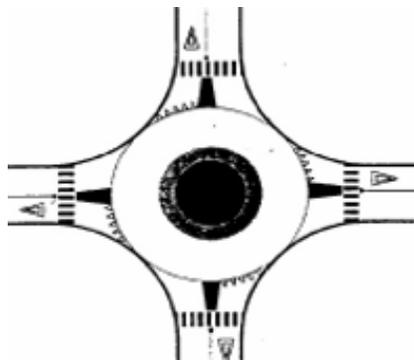


Fuente: <https://laredeltransporte.files.wordpress.com/2014/09/glorietas.jpg>

### **Rotondas modernas con prioridad en el anillo**

Solucionan al problema del congestionamiento de rotondas convencionales, la adopción de la regla de prioridad de los vehículos que circulan por la calzada anular frente a aquellos que pretenden entrar en ella desde los ramales permiten reducir su tamaño, haciéndolas más compactas, de mayor capacidad y más seguras.

Figura 10 Rotonda moderna con prioridad en el anillo.



Fuente: <https://laredeltransporte.files.wordpress.com/2014/09/glorietas.jpg>

### **Rotondas semaforizadas**

Las razones para la implantación de una rotonda controlada por semáforos son varias, pero en general este tipo de rotondas se encuentran en el medio urbano y su semaforización guarda relación con las importantes cargas de tráfico que soportan.

Una rotonda urbana puede sufrir periodos de punta durante los que un flujo dominante de un cierto movimiento impida la incorporación de los vehículos de las otras entradas a

la calzada anular, y llegar a impedir la autorregulación propia de las rotondas y producir colas en algunas entradas cuyos efectos se propaguen hacia atrás

### **2.8.2. Según su geometría**

#### **Rotondas circulares**

Son la gran mayoría de las rotondas. El islote central es un círculo y la calzada anular tiene una anchura constante, ello facilita la comprensión de la intersección por parte de los usuarios además de mejorar la circulación por la calzada anular.

#### **Rotondas ovals o elípticas**

Son aquellas que por diferentes motivos no pueden seguir una planta circular.

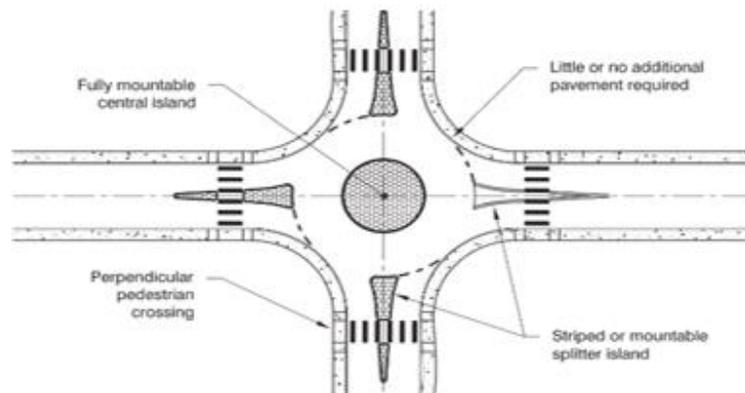
### **2.8.3. Según los diámetros exterior e interior**

#### **Mini rotonda**

Las mini rotondas son rotondas pequeñas con una isleta central totalmente transitable. Ellos son los más comúnmente utilizados en los entornos urbanos de baja velocidad con un diámetro de círculo inscrito de entre 13 a 27 metros.

Una característica distintiva de las mini rotondas es la isla central totalmente transitable para el paso y giro de vehículos grandes, se diseñan para acomodar a los vehículos de pasajeros (autos, camionetas, camiones), sin que tengan que traspasar la isla central. El diseño general de una mini rotonda debe alinear a los vehículos en la entrada para guiar a los conductores hacia la trayectoria querida, y minimizar pasar sobre la isleta central en la medida de lo posible.

Figura 11 Mini rotonda

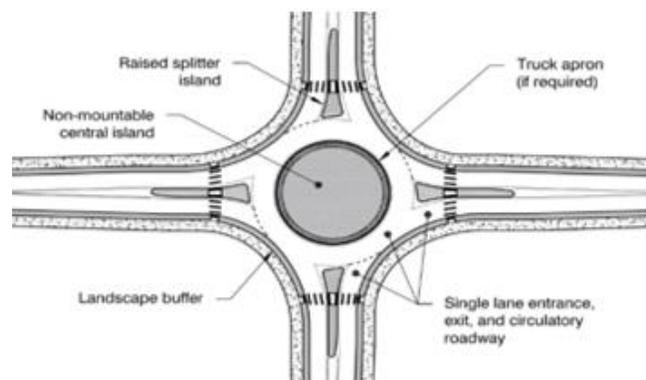


Fuente: NCHRP Reporte 672 (2010)

### Rotondas de un carril

Este tipo de rotonda se caracteriza por tener una entrada de un solo carril en todos los ramales. Se distinguen de las mini rotondas por sus grandes diámetros de círculo inscritos de 27 a 55 metros y por sus islas centrales no transitables. Su diseño permite una velocidad ligeramente superior en la entrada, calzada circulatoria, y salida. Típicamente, el diseño geométrico incluye isletas partidoras ajardinadas, una isleta central no transitable, cruces peatonales, y un delantal de camiones. El tamaño está muy condicionado por el vehículo de diseño y la zona de camino.

Figura 12 Rotonda de un carril



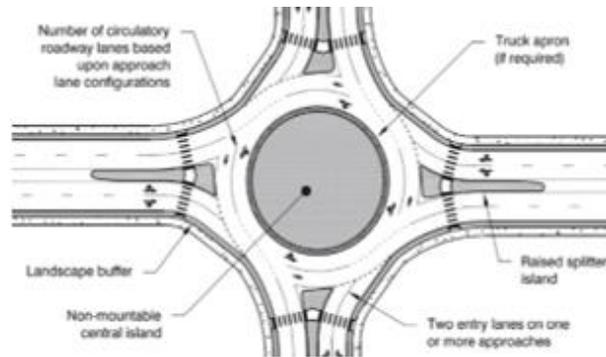
Fuente: NCHRP Reporte 672 (2010)

## Rotondas multicarriles

Las rotondas multicarriles presentan en, al menos un acceso, dos o más carriles con un diámetro de círculo inscrito de 46 a 91 metros. Generalmente esta tipología incluye: isletas deflectoras elevadas e isleta central no franqueable. Estas requieren calzadas circulatorias más anchas para acomodar más de un vehículo circulando lado a lado. La velocidad en la entrada, calzada circulatoria, y la salida son similares o pueden ser ligeramente superiores a las de las rotondas de un solo carril. El diseño geométrico incluirá isletas partidoras ajardinadas, delantal de camiones e isla central no traspasable.

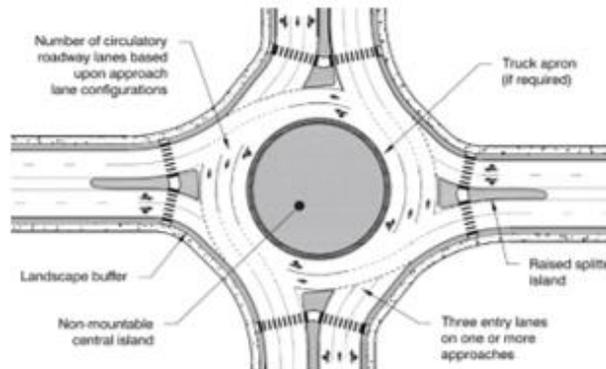
(11)

Figura 13 Rotonda de dos carriles



**Fuente:** NCHRP Reporte 672 (2010)

Figura 14 Rotonda de tres carriles



**Fuente:** NCHRP Reporte 672 (2010)

(11) Rotondas: Guía informativa; Junta de investigación de transporte

#### **2.8.4. Según el contexto en el que se ubican**

##### **Rotondas Urbanas**

Se ubican en zonas urbanas, desde las densamente pobladas como ciudades, a áreas residenciales o polígonos industriales. Las velocidades máximas permitidas en las vías que se cruzan en la intersección son del orden de los 50 km/h. sometidas a tráficos intensos, con periodos de punta muy marcados y tráfico peatonal.

##### **Rotondas suburbanas o peri urbanas**

Se ubican en vías de tráfico importante con velocidades elevadas y normalmente cumplen la función de acceso de una población o polígono industrial.

##### **Rotondas fuera de poblado**

Se utilizan para regular una intersección de tres o cuatro accesos entre dos vías interurbanas, soluciona problemas de siniestralidad que se producen en estos puntos al imponer una reducción de velocidades. El tráfico peatonal es prácticamente inexistente.

(12)

**CAPÍTULO III**

**APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE  
EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS  
EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE  
ROTONDAS**

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE ROTONDAS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Figura 15 Ubicación de la zona de estudio



Fuente:[https://es.Archivo:Bolivia\\_department\\_of\\_tarija.png](https://es.Archivo:Bolivia_department_of_tarija.png)

Este estudio se encuentra ubicado en la avenida circunvalación de la provincia Cercado del departamento de Tarija-Bolivia.

El tramo de estudio se ubica en la avenida Circunvalación entre avenidas Froilán Tejerina y avenida Gran Chaco, a lo largo del tramo existen 3 rotondas.

Las coordenadas de las rotondas son las siguientes:

- Rotonda Torre Petrolera (av. Froilán Tejerina y av. Circunvalación), sus coordenadas son  $21^{\circ}30'51''$  S y  $64^{\circ}44'13.21''$  O. tiene una elevación de 1903 m.s.n.m.
- Rotonda La Hollada (av./calle Colón y av. Circunvalación), sus coordenadas son  $21^{\circ}31'13.98''$  S y  $64^{\circ}43'37.51''$  O, tiene una elevación 1888 m.s.n.m.
- Rotonda del Avión (av. Julio Delio Echazú, av. Gran Chaco y av. Circunvalación), sus coordenadas son  $21^{\circ}31'55.89''$  S y  $64^{\circ}43'04.70''$  O, tiene una elevación 1870 m.s.n.m.

### **3.2. DELIMITACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO**

Figura 16 Delimitación del tramo en estudio



Fuente: Google Earth Pro

### **3.3. RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN**

El relevamiento de los datos para poder analizar una intersección circulatoria es un paso imprescindible, para realizar el estudio. La exactitud de los resultados calculados dependerá del esfuerzo realizado en la determinación de los valores de estos datos.

Los datos principales que se utilizarán para la obtención de los cálculos determinación de horas pico, relevamiento de volúmenes de tráfico, determinación de velocidades de punto y mediciones geométricas.

### **3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1. Determinación de horas pico**

Para aforar las horas pico se realizó un análisis comparativo visual para la elección de la intersección, esto para comenzar el estudio.

Para el estudio de volúmenes se tuvo que determinar las horas pico del tráfico vehicular en el lapso de un día, contando de forma manual.

El libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor, James Cárdenas recomienda que es conveniente que los aforos manuales en intersecciones se

lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Esto para determinar las horas pico.

Los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves).

El aforo se hizo un día martes en una intersección seleccionada (avenida circunvalación y Froilán Tejerina), durante 16 horas seguidas registrando valores cada hora. Para luego obtener la gráfica de volúmenes.

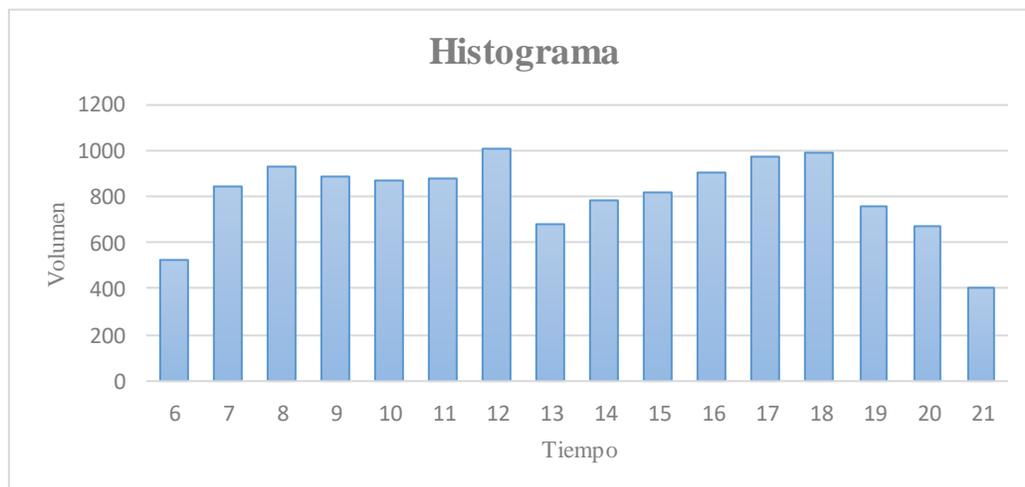
Tabla 4 Volúmenes totales para la determinación de horas pico

Tiempo (horas)	Volumen (vehículos)
06:00-07:00	527
07:00-08:00	845
08:00-09:00	931
09:00-10:00	883
10:00-11:00	866
11:00-12:00	880
12:00-13:00	1003
13:00-14:00	679
14:00-15:00	784
15:00-16:00	817
16:00-17:00	906
17:00-18:00	971
18:00-19:00	987
19:00-20:00	756
20:00-21:00	667
21:00-22:00	402

Fuente: Elaboración propia

## Histograma de horas pico

Figura 17 Histograma rotonda Torre petrolera



Fuente: Elaboración propia

Analizando la gráfica tenemos como horas pico: 8:00-9:00, 12:00-13:00 y 18:00-19:00

## Puntos de aforo

Una vez determinadas las horas pico en cuyos horarios en donde se obtienen los datos, se identifican los puntos de aforo, los cuales se harán en cada intersección rotatoria como también en otras intersecciones seleccionadas pertenecientes al tramo en estudio, identificando también los accesos que estas presentan para recopilar los datos necesarios correspondientes a cada una de ellas.

Tabla 5 Intersecciones de estudio

N°	Nombre de intersección
1	Rotonda Torre Petrolera (avenida circunvalación y avenida Froilán Tejerina)
2	Avenida circunvalación y calle Regimiento Montes
3	Avenida circunvalación y calle Mejillones
4	Avenida circunvalación, calle general trigo y calle 12 de octubre
5	Rotonda La Hollada (avenida circunvalación y avenida/calle Colón)
6	Avenida circunvalación y calle Pando
7	Avenida circunvalación y avenida San Bernardo
8	Avenida circunvalación y avenida La Paz
9	Rotonda del Avión (avenida circunvalación, avenida Delio Echazu y avenida Gran Chaco)

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. RELEVAMIENTO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

Con el propósito de conocer la demanda real, se procedió a realizar el aforo de volúmenes en todos los ingresos o accesos de las intersecciones en estudio, estos conteos se hicieron en las 3 horas pico correspondientes de cada día, dos días hábiles y un día no hábil (8:00 - 9:00, 12:00 - 13:00, 18:00 – 19:00) durante cuatro semanas (un mes). Lo que nos permite conocer el movimiento vehicular en cada intersección con sus accesos con el tipo de vehículo público y privado (vehículo liviano, mediano y pesado), y su movimiento (giro izquierdo, de frente, giro derecho) según corresponde.

Con una correcta ubicación donde hay buena visibilidad se realizó el proceso de aforación manual con observadores que anotaron los vehículos que pasan por las vías designadas en el ingreso de los accesos a las rotondas, para ello se hizo uso de planillas de aforo en función de la clasificación (privado, público, liviano, mediano, pesado, giro izquierda, de frente y giro derecha) para luego obtener los volúmenes correspondientes a cada uno de los movimientos del tránsito en los accesos a la intersección.

Para entender de mejor manera se muestra con un ejemplo de datos de volúmenes vehiculares obtenidos de la rotonda Torre Petrolera (av./circunvalación – av. Froilán Tejerina) La cual cuenta con cuatro accesos.

Figura 18 Accesos rotonda Torre Petrolera



Fuente: Google Earth Pro

Ejemplo aforo vehicular en acceso 1, día 1 en el horario 8:00 – 9:00 am

Tabla 6 Datos de aforo de volumen vehicular acceso 1, primera semana, día 1

Acceso 1		Dirección: Av. Circunvalación y Froilán Tejerina (hacia el barrio San Bernardo)				
Fecha: 17 de agosto		hora: 8:00-9:00				
Vehículo	Vehículos Públicos			Vehículos Privados		
	Giro Izquierda	Frente	Giro Derecha	Giro Izquierda	Frente	Giro Derecha
Pesado		8			24	
Mediano		4	12	4	12	
Liviano	44	306	68	32	244	56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Datos de volúmenes totales Acceso 1

Acceso 1	Intersección		Rotonda Torre Petrolera			
	Día	Hora pico	Volúmenes totales (Veh/h)	Movimiento		
				Giro izquierda	Frente	Giro derecha
Primera Semana	Martes	8:00-9:00	814	80	598	136
		12:00-13:00	926	180	558	188
		18:00-19:00	844	144	526	174
	Jueves	8:00-9:00	832	136	460	236
		12:00-13:00	896	200	496	200
		18:00-19:00	876	124	620	132
	Sábado	8:00-9:00	812	108	452	252
		12:00-13:00	408	82	216	110
		18:00-19:00	312	40	220	52
Segunda Semana	Martes	8:00-9:00	878	116	504	258
		12:00-13:00	990	224	578	188
		18:00-19:00	916	144	604	168
	Jueves	8:00-9:00	828	156	496	176
		12:00-13:00	1020	140	684	196
		18:00-19:00	908	116	632	160
	Sábado	8:00-9:00	824	108	468	248
		12:00-13:00	616	148	352	116
		18:00-19:00	468	56	328	84
Tercera Semana	Martes	8:00-9:00	926	66	582	278
		12:00-13:00	992	196	592	204
		18:00-19:00	964	140	628	196
	Jueves	8:00-9:00	856	88	564	204
		12:00-13:00	920	212	504	204
		18:00-19:00	906	144	590	172
	Sábado	8:00-9:00	828	80	608	140
		12:00-13:00	600	84	332	184
		18:00-19:00	408	72	256	80
Cuarta Semana	Martes	8:00-9:00	812	84	556	172
		12:00-13:00	884	200	500	184
		18:00-19:00	858	144	510	204
	Jueves	8:00-9:00	824	112	488	224
		12:00-13:00	1032	240	560	232
		18:00-19:00	942	136	646	160
	Sábado	8:00-9:00	836	124	492	220
		12:00-13:00	608	100	408	100
		18:00-19:00	328	64	192	72

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1. Procesamiento de volúmenes vehiculares

#### 3.5.1.1. Depuración de datos de volúmenes de tráfico

En toda muestra estadística que se realice se debe calcular la dispersión de datos es decir entre que valores máximos y mínimos puede estar comprendido el valor obtenido en los aforos de cada punto y tramo.

Para obtener este rango se procede a ordenar todos los datos, encontrar la media aritmética, la desviación estándar y se define el rango de depuración.

Se calcula la media de cada grupo de los datos de volúmenes vehiculares como se muestra en la tabla, de las cuatro semanas con su correspondiente horario de aforo, seguidamente se calcula la desviación estándar para poder establecer los rangos para determinar qué datos serán los que no corresponden para el cálculo final.

Se procede a la depuración de datos alejados los cuales se muestran en la tabla. Una vez depurados se procede a realizar un nuevo cálculo para la obtención de la media de cada acceso, con estos valores se calcula la media de cada uno de los accesos.

Para las demás intersecciones y accesos se realiza el mismo procedimiento **anexo 3**.

Tabla 8 Depuración de volúmenes totales Acceso 1

Acceso 1	Intersección		Rotonda Torre Petrolera			
	Día	Hora pico	Volúmenes totales (Veh/h)	Movimiento		
				Giro izquierda	Frente	Giro derecha
Primera Semana	Martes	8:00-9:00	814	80	598	136
		12:00-13:00	926	180	558	188
		18:00-19:00	844	144	526	174
	Jueves	8:00-9:00	832	136	460	236
		12:00-13:00	896	200	496	200
		18:00-19:00	876	124	620	132
	Sábado	8:00-9:00	812	108	452	252
		12:00-13:00	408	82	216	110
		18:00-19:00	312	40	220	52
Segunda Semana	Martes	8:00-9:00	878	116	504	258
		12:00-13:00	990	224	578	188
		18:00-19:00	916	144	604	168
	Jueves	8:00-9:00	828	156	496	176
		12:00-13:00	1020	140	684	196
		18:00-19:00	908	116	632	160
	Sábado	8:00-9:00	824	108	468	248
		12:00-13:00	616	148	352	116
		18:00-19:00	468	56	328	84

<b>Tercera Semana</b>	<b>Martes</b>	8:00-9:00	926	66	582	278
		12:00-13:00	992	196	592	204
		18:00-19:00	964	140	628	196
	<b>Jueves</b>	8:00-9:00	856	88	564	204
		12:00-13:00	920	212	504	204
		18:00-19:00	906	144	590	172
	<b>Sábado</b>	8:00-9:00	828	80	608	140
		12:00-13:00	600	84	332	184
		18:00-19:00	408	72	256	80
<b>Cuarta Semana</b>	<b>Martes</b>	8:00-9:00	812	84	556	172
		12:00-13:00	884	200	500	184
		18:00-19:00	858	144	510	204
	<b>Jueves</b>	8:00-9:00	824	112	488	224
		12:00-13:00	1032	240	560	232
		18:00-19:00	942	136	646	160
	<b>Sábado</b>	8:00-9:00	836	124	492	220
		12:00-13:00	608	100	408	100
		18:00-19:00	328	64	192	72

<b>Media</b>	<b>127</b>	<b>494</b>	<b>175</b>
<b>Desviacion</b>	<b>50,00</b>	<b>129,34</b>	<b>55,29</b>
<b>Intervalo Superior</b>	<b>177</b>	<b>624</b>	<b>230</b>
<b>Intervalo Inferior</b>	<b>77</b>	<b>365</b>	<b>120</b>
<b>Media corregida</b>	<b>118</b>	<b>533</b>	<b>182</b>

<b>DATOS MENSUALES</b>			
<b>VOLUMEN TOTAL (Veh/h)</b>	<b>GIRO IZQUIERDA</b>	<b>FRENTE</b>	<b>GIRO DERECHA</b>
<b>833</b>	<b>118</b>	<b>533</b>	<b>182</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE PUNTO

Para determinar la velocidad de punto se midió una distancia de antes de llegar al acceso, aproximadamente se marcó unos 25 metros donde se empezó a cronometrar el tiempo que tarda en pasar cada 5 vehículos. Durante las mismas horas pico, días, accesos e intersecciones ya mencionados y las cuales también fueron registradas en planillas de aforo.

Dividiendo la distancia prefijada que se midió de 25 metros, entre el tiempo que se requirió para recorrerla, en segundos. El resultado obtenido, en metros por segundo, se convierte en kilómetros por hora.

$$Velocidad\ de\ punto\ (km/h) = \frac{Distancia\ (25\ m)}{Tiempo\ medido\ (seg)}$$

Tabla 9 Datos de velocidades de punto rotonda Torre Petrolera día 1

		Martes							
		Acceso 1		Acceso 4		Acceso 3		Acceso 2	
		Circunvalacion		Froilan Tejerina		Circunvalacion		Froilan Tejerina	
	Hora	Tiempo medido (seg)	Velocidad (km/hr)						
Primera semana	8:00-9:00	5,63	15,99	7,98	11,28	7,39	12,18	4,5	20,00
		6,96	12,93	6,29	14,31	6,58	13,68	5,3	16,98
		5,58	16,13	6,32	14,24	7,11	12,66	5,76	15,63
		6,03	14,93	7	12,86	4,63	19,44	4,95	18,18
		5,81	15,49	6,57	13,70	8,02	11,22	4,35	20,69
	12:00-13:00	6,8	13,24	5,11	17,61	6,23	14,45	5,2	17,31
		5,18	17,37	6,7	13,43	7,83	11,49	4,9	18,37
		6,23	14,45	4,87	18,48	5,35	16,82	5,5	16,36
		5,94	15,15	6,99	12,88	8,73	10,31	5,51	16,33
		5,25	17,14	5,03	17,89	7,52	11,97	5,32	16,92
	18:00-19:00	5,62	16,01	6,71	13,41	6,75	13,33	5,6	16,07
		6,8	13,24	5,75	15,65	6,11	14,73	4,5	20,00
		5,27	17,08	6,36	14,15	8,54	10,54	4,92	18,29
		6,03	14,93	4,98	18,07	6,32	14,24	5,45	16,51
		6,09	14,78	5,23	17,21	7,66	11,75	4,9	18,37

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1. Depuración de datos de velocidad de punto

En toda muestra estadística que se realice se debe calcular la dispersión de datos es decir entre que valores máximos y mínimos puede estar comprendido el valor obtenido en los aforos de cada punto y tramo.

Para obtener este rango se procede a ordenar todos los datos, encontrar la media aritmética, la desviación estándar y se define el rango de depuración.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculos de la velocidad a través de la depuración; sin embargo, el resto de los cálculos se encuentra en **Anexo 5**.

Tabla 10 Depuración de datos de velocidades de punto (km/h)

		Martes							
		Acceso 1		Acceso 4		Acceso 3		Acceso 2	
		Circunvalacion		Froilan Tejerina		Circunvalacion		Froilan Tejerina	
	Hora	Tiempo medido (seg)	Velocidad (km/hr)						
Primera semana	8:00-9:00	5,63	15,99	7,98	11,28	7,39	12,18	4,5	20,00
		6,96	12,93	6,29	14,31	6,58	13,68	5,3	16,98
		5,58	16,13	6,32	14,24	7,11	12,66	5,76	15,63
		6,03	14,93	7	12,86	4,63	19,44	4,95	18,18
		5,81	15,49	6,57	13,70	8,02	11,22	4,35	20,69
	12:00-13:00	6,8	13,24	5,11	17,61	6,23	14,45	5,2	17,31
		5,18	17,37	6,7	13,43	7,83	11,49	4,9	18,37
		6,23	14,45	4,87	18,48	5,35	16,82	5,5	16,36
		5,94	15,15	6,99	12,88	8,73	10,31	5,51	16,33
		5,25	17,14	5,03	17,89	7,52	11,97	5,32	16,92
	18:00-19:00	5,62	16,01	6,71	13,41	6,75	13,33	5,6	16,07
		6,8	13,24	5,75	15,65	6,11	14,73	4,5	20,00
5,27		17,08	6,36	14,15	8,54	10,54	4,92	18,29	
6,03		14,93	4,98	18,07	6,32	14,24	5,45	16,51	
6,09		14,78	5,23	17,21	7,66	11,75	4,9	18,37	
Segunda semana	8:00-9:00	6,23	14,45	6	15,00	5,56	16,19	5,22	17,24
		5,43	16,57	5,52	16,30	6,48	13,89	5,59	16,10
		5,66	15,90	5,06	17,79	8,24	10,92	5,86	15,36
		5,87	15,33	7,64	11,78	6,13	14,68	6,15	14,63
		6,01	14,98	6,37	14,13	5,97	15,08	4,85	18,56
	12:00-13:00	6,17	14,59	6,85	13,14	6,6	13,64	5,9	15,25
		5,38	16,73	7,12	12,64	7,12	12,64	6,7	13,43
		5,11	17,61	6,63	13,57	6,27	14,35	4,87	18,48
		5,7	15,79	5,94	15,15	5,93	15,18	5,63	15,99
		8,46	10,64	7,25	12,41	7,3	12,33	4,97	18,11
	18:00-19:00	6,26	14,38	6,05	14,88	6,45	13,95	5,68	15,85
		5,41	16,64	7,3	12,33	5,41	16,64	7,75	11,61
4,98		18,07	6,99	12,88	7,36	12,23	6,36	14,15	
6,87		13,10	7,1	12,68	8,24	10,92	5,98	15,05	
6,05		14,88	5,27	17,08	6,05	14,88	6,23	14,45	
Tercera semana	8:00-9:00	6,06	14,85	6,28	14,33	5,1	17,65	6,27	14,35
		5,25	17,14	7,16	12,57	5,85	15,38	4,88	18,44
		6,35	14,17	9,24	9,74	6,24	14,42	5,51	16,33
		5	18,00	5,87	15,33	4,98	18,07	4,58	19,65
		6,09	14,78	8,34	10,79	7	12,86	4,88	18,44
	12:00-13:00	6,64	13,55	7,61	11,83	6,35	14,17	6,88	13,08
		6,55	13,74	6,89	13,06	6,9	13,04	6,69	13,45
		5,97	15,08	5,67	15,87	7,28	12,36	5,72	15,73
		6,32	14,24	6,34	14,20	9,67	9,31	5,37	16,76
		5,12	17,58	7	12,86	6,23	14,45	5,65	15,93
	18:00-19:00	4,92	18,29	7,58	11,87	6,86	13,12	4,53	19,87
		5,99	15,03	6,07	14,83	6,94	12,97	6,67	13,49
6,23		14,45	5,98	15,05	7,8	11,54	6,24	14,42	
5,97		15,08	7,64	11,78	6,31	14,26	5,94	15,15	
5,69		15,82	6,49	13,87	7,12	12,64	5,46	16,48	
Cuarta semana	8:00-9:00	6,23	14,45	6,18	14,56	7,36	12,23	5,24	17,18
		5,9	15,25	7,44	12,10	6,68	13,47	7,39	12,18
		6,28	14,33	6,12	14,71	7,24	12,43	4,82	18,67
		5,67	15,87	6,5	13,85	7,42	12,13	5,61	16,04
		5,23	17,21	7,56	11,90	6,83	13,18	5,89	15,28
	12:00-13:00	5,88	15,31	7,52	11,97	5,96	15,10	6	15,00
		5,36	16,79	6,75	13,33	6,52	13,80	5,34	16,85
		6,19	14,54	6,41	14,04	7,44	12,10	5,67	15,87
		4,76	18,91	6,73	13,37	6,57	13,70	6,27	14,35
		5,41	16,64	7,58	11,87	6,98	12,89	4,96	18,15
	18:00-19:00	5,68	15,85	7,85	11,46	6,35	14,17	5,87	15,33
		6,75	13,33	6,29	14,31	7,2	12,50	4,97	18,11
6,36		14,15	5,37	16,76	6,04	14,90	5,48	16,42	
4,98		18,07	6,65	13,53	5,86	15,36	6,07	14,83	
6,23		14,45	6,63	13,57	6,49	13,87	5,39	16,70	
Media		15,42		13,94		13,57		16,38	
Desviacion		1,5763541		1,9475228		1,9067784		1,9866899	
Intervalo Superior		17,00		15,89		15,48		18,37	
Intervalo Inferior		13,85		11,99		11,67		14,39	

Fuente Elaboración propia

Tabla 11 Media corregida

Media total Acceso 1	15,76
Media total Acceso 2	16,59
Media total Acceso 3	13,43
Media total Acceso 4	14,15

Fuente: Elaboración propia

Promediando tenemos un valor de **velocidad de circulación media= 15 km/h**

### **Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño según AASHTO para los diferentes tipos de rotondas es:

Tabla 12 Velocidades máximas de diseño para diferentes tipos de rotondas

<b>Categoría de intersección</b>	<b>Recomendaciones de máximas velocidades de diseño</b>
Mini Ronda	25 km/h
Rotondas urbanas de una sola vía	35 km/h
Rotondas urbanas de doble vía	40 km/h
Rurales de una sola vía	40 km/h
Rurales de doble vía	50 km/h

Fuente: AASHTO

Sin embargo, la velocidad de circulación media (15km/h) para la rotonda torre petrolera al encontrarse dentro del rango de la velocidad de diseño de una mini rotonda será asumida como la velocidad de diseño.

Velocidad de diseño = 25 km/h

### **3.7. DETERMINACIÓN DE MEDICIONES GEOMÉTRICAS**

Para la determinación de mediciones geométricas de las rotondas en estudio se hizo uso de una wincha métrica para tener conocimiento general de algunos elementos

geométricos y posteriormente para obtener datos más precisos se realizó un levantamiento topográfico en cada rotonda haciendo uso de la estación total Sokkia Set5x prestada por gabinete de topografía de la universidad. Dicho levantamiento topográfico se lo realizó durante tres días, haciendo levantamientos de puntos a nivel asfalto y a nivel vereda en las islas centrales, islas deflectoras y jardineras a poco más de 25 metros de distancia antes de llegar a los accesos o ingresos a las rotondas. Con la finalidad de obtener las mediciones geométricas de los parámetros de diseño de las rotondas en estudio para su posterior análisis.

### **3.7.1. Características geométricas**

#### **ROTONDA TORRE PETROLERA (av. Circunvalación y av. Froilán Tejerina)**

Intersección rotatoria con una isla central ovalada, con cuatro ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos de la avenida Circunvalación y los accesos de la avenida Froilan de 9 metros. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento, tiene un porcentaje de vehículos pesados entre 1.9% y 4.3% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

#### **ROTONDA LA HOLLADA (av./calle Colón y av. Circunvalación)**

Es una intersección rotatoria con una isla central circular, con cuatro ramales de ingreso, cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos de la avenida Circunvalación, el acceso 4 tiene un ancho de carril de 6.10 metros y el acceso 2 tiene un ancho de carril de 8 metros. Un solo ingreso tiene giro izquierdo, de frente y giro derecho, un ingreso tiene solo giro derecho, giro de frente, un ingreso tiene solo giro izquierdo y giro derecho, y un ingreso tiene solo giro de frente y giro izquierdo. No cuenta con estacionamiento, tiene un porcentaje de vehículo pesado entre 1.6% y 4.0% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Sin embargo, se pudo evidenciar en campo que existen vehículos que ingresan a este acceso (acceso 4 unidad educativa José Manuel Ávila) cuando no deberían hacerlo, se hizo una investigación parcial al respecto **Anexo 6**

## **ROTONDA DEL AVIÓN (av. Julio Delio Echazú, av. Gran Chaco y av. Circunvalación)**

Intersección rotatoria con una isla central, con cuatro ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos de la avenida Circunvalación y los accesos de la avenida Gran Chaco y Delio Echazu de 8 metros, Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento, tiene un porcentaje de vehículo pesados entre 1.50% y 1.80% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Esta rotonda no cuenta con un sistema de semaforización.

### **3.8. ANÁLISIS DE ROTONDAS DE ESTUDIO**

Es importante mencionar a lo largo de los años, muchos países han perfeccionado el diseño de rotondas mediante proyectos de investigación que han ido mejorando aspectos operacionales y de seguridad, entre otros.

Se ha determinado estudiar a un tramo en específico de la avenida circunvalación el cual está conformado por tres rotondas las cuales destacan por el diseño geométrico particular que presentan las mismas y la forma en la que su geometría actúa con los volúmenes vehiculares. Se reconoce que el tráfico de otras rotondas en la avenida circunvalación podría ser más conflictivo que alguna de las rotondas en estudio, pero el alcance del proyecto va dirigido al diseño geométrico que estas presentan y a su vez la regulación de tráfico que generan los elementos geométricos de estas rotondas al estar las tres rotondas conectadas en un mismo tramo.

Se han seleccionado los parámetros más importantes como parámetros de entrada y de diseño geométrico en si para el presente estudio según estándares internacionales al momento de analizar los elementos geométricos que conforman las intersecciones rotatorias en estudio.

### 3.8.1. ROTONDA TORRE PETROLERA

Figura 19 Rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

### DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE TIPO DE VEHICULOS

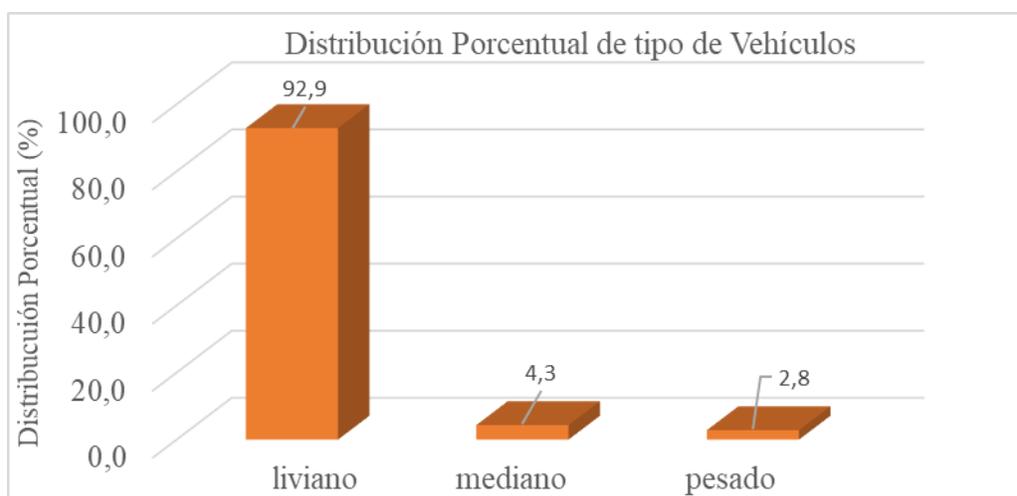
Tabla 13 Distribución porcentual de vehículos en acceso 1

Rotonda Torre Petrolera			Acceso 1			
			Liviano	Mediano	Pesados	Totales
Primera semana	Martes	8:00-9:00	750	32	32	814
		12:00-13:00	870	44	12	926
		18:00-19:00	798	28	8	834
	Jueves	8:00-9:00	780	36	16	832
		12:00-13:00	808	40	48	896
		18:00-19:00	842	26	8	876
	Sábado	8:00-9:00	736	36	40	812
		12:00-13:00	352	28	28	408
		18:00-19:00	304	4	4	312
Segunda semana	Martes	8:00-9:00	810	24	44	878
		12:00-13:00	940	32	18	990
		18:00-19:00	872	32	12	916
	Jueves	8:00-9:00	800	24	4	828
		12:00-13:00	928	36	56	1020
		18:00-19:00	838	58	12	908
	Sábado	8:00-9:00	776	24	24	824
		12:00-13:00	604	8	4	616
		18:00-19:00	432	32	4	468

Tercera semana	Martes	8:00-9:00	826	54	46	926
		12:00-13:00	900	52	40	992
		18:00-19:00	918	42	4	964
	Jueves	8:00-9:00	820	20	48	888
		12:00-13:00	854	38	28	920
		18:00-19:00	830	58	28	916
	Sábado	8:00-9:00	748	48	32	828
		12:00-13:00	364	36	12	412
		18:00-19:00	354	46	8	408
Cuarta semana	Martes	8:00-9:00	704	60	48	812
		12:00-13:00	784	44	56	884
		18:00-19:00	750	48	60	858
	Jueves	8:00-9:00	728	52	44	824
		12:00-13:00	932	40	60	1032
		18:00-19:00	874	64	4	942
	Sábado	8:00-9:00	720	56	60	836
		12:00-13:00	564	36	8	608
		18:00-19:00	304	20	4	328
Media		728	38	27		
Desviación		190	14	20		
Intervalo Superior		918	52	47		
Intervalo Inferior		538	23	7		
Media corregida		783	31	19	833	
Porcentaje		92,9	4,3	2,8	100	

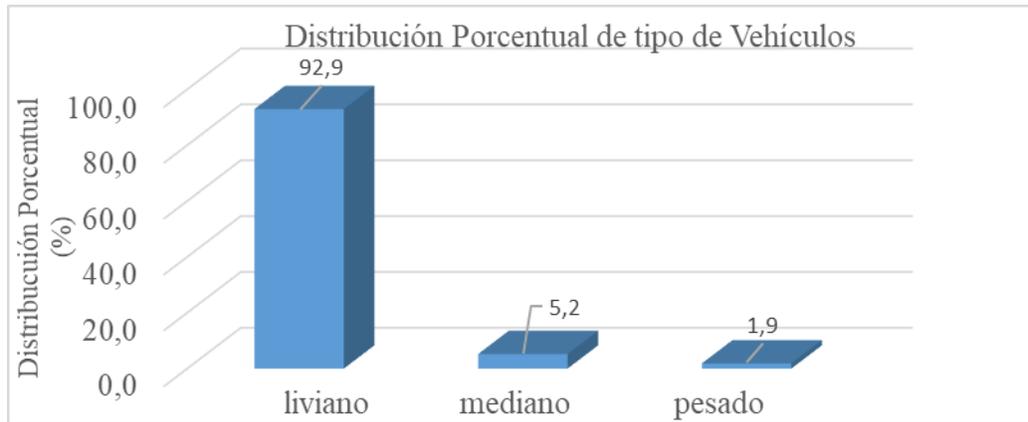
Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Distribución porcentual acceso 1



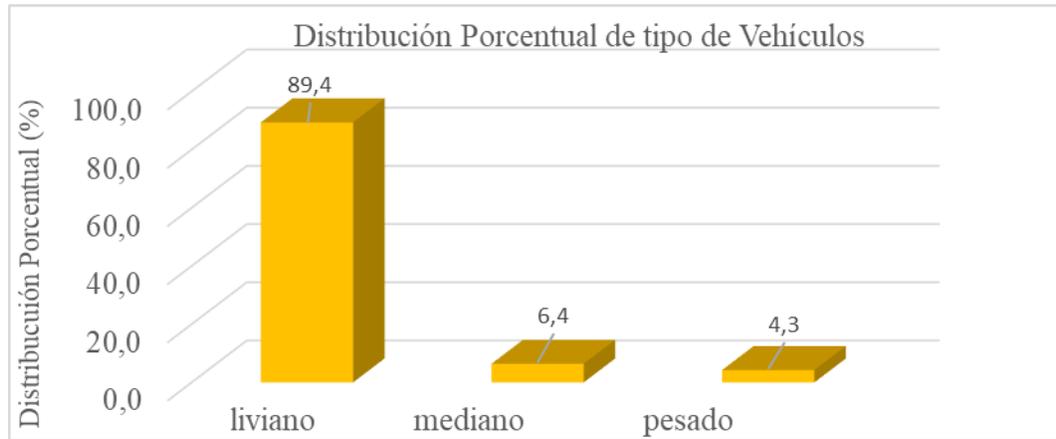
Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Distribución porcentual acceso 2



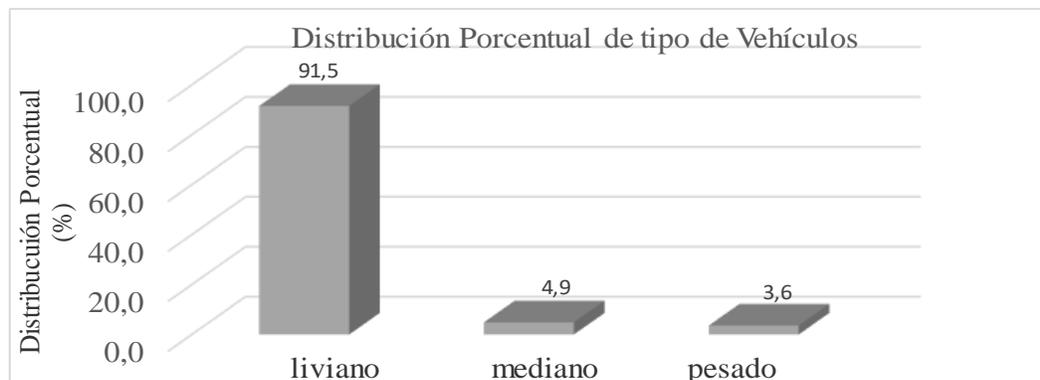
Fuente: Elaboración propia

Figura 22 Distribución porcentual acceso 3



Fuente: Elaboración propia

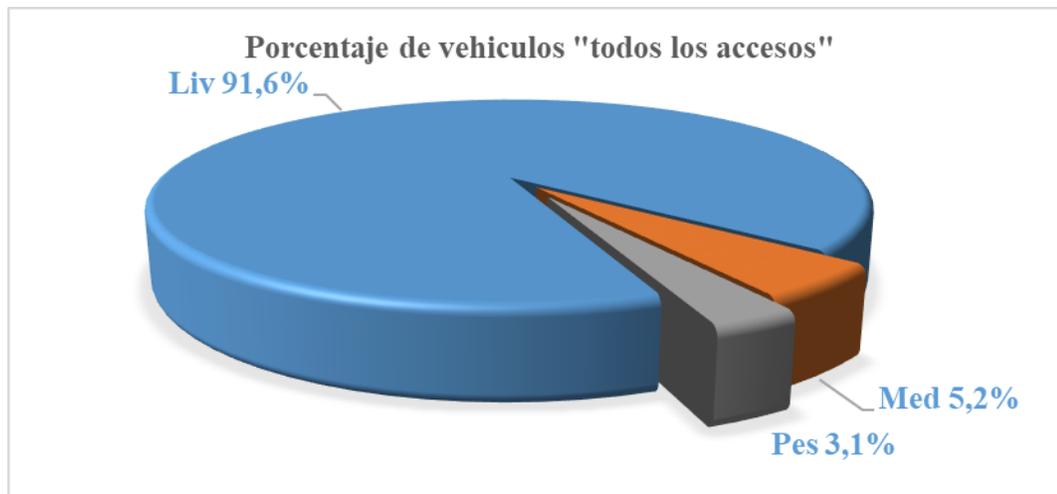
Figura 23 Distribución porcentual acceso 4



Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vehículos "todos los accesos"				
	Liviano	Mediano	Pesados	Totales
Totales	747	42	26	815
Porcentaje	91,6	5,2	3,1	100

Figura 24 Porcentaje de tipos de vehículos rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.1. Alineamientos

La disposición actual de la rotonda Torre Petrolera muestra su centro desplazado con respecto a lo que sería la intersección de los ejes.

Realizando un análisis comparativo para el alineamiento observado en la figura, podemos observar que no se asemeja a lo que recomiendan las normativas de Argentina, España y Estados Unidos. En esa posición, los ejes 1 (rojo) y 3 (amarillo) se encuentran cercanos a un eje radial, con una ligera inclinación a la izquierda lo cual según la normativa es aceptable. El eje 2 (naranja) y el eje 4 (celeste) presentan una pequeña inclinación a la derecha, pero se alejan del centro de la rotonda lo cual podría generar congestión vehicular.

La ubicación de la rotonda será óptima cuando las líneas de los ejes de aproximación pasen por su centro. Esto permite que los vehículos mantengan velocidades bajas a

través de las entradas y salidas. Si no es posible alinear los ramales al punto central, un ligero desplazamiento del ramal a la izquierda es aceptable.

Figura 25 Alineamiento rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.2. Diámetro de círculo inscrito

Al analizar a la rotonda Torre petrolera se observó que el ancho de calzada circulatoria no es constante, al tener medidas que varían entre los 13.32 m y 13.97 m

Lo más relevante, al tener un diámetro de isla central de forma ovalada hace que por ende también tenga no uno sino dos diámetros de círculo inscrito lo cual resultaría en algo peligroso ya que los accesos 2 y 4 que se encuentran en la avenida Froilán Tejerina realizarían el movimiento en dirección de frente a través de la rotonda de forma normal haciendo un movimiento en curva al entrar a la rotonda según como lo describe la normativa para posteriormente salir de la intersección rotatoria, a diferencia de los accesos 1 y 3 que se encuentran en la avenida Circunvalación de los cuales el movimiento en dirección de frente realizaría una curva muy breve lo cual haría que la velocidad de entrada a la rotonda sea mayor, de esta forma generaría desde congestión vehicular hasta accidentes de tránsito.

Realizando un análisis comparativo con lo que respecta a lo que pudimos obtener en la medida de los dos diámetros de círculo inscrito para la rotonda de dos carriles podemos observar que se cumple únicamente con lo que lo que recomienda la normativa de España, a excepción de la normativa colombiana al carecer de información de este parámetro y de las normativas argentina, americana y peruana al tener un valor por debajo del mínimo.

Diámetro de círculo inscrito rotonda Torre Petrolera (m)	51.68 a 43.27
--	---------------

Tabla 14 Diámetro de círculo inscrito para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Mín (m)	Max (m)	Mín (m)	Max (m)
Argentina	Urbana	35	43	45	60
	Rural	36	45	55	67
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbana	25-32	36-43	46	55
	Rural	36	43	55	60
España	Urbana	28-30	40	35-45	55
	Rural	35	45	55	60
Perú	Urbano/rural	Mínimo 50 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 26 Diámetro de círculo inscrito rotonda Torre petrolera



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.3. Isla central y ancho de calzada

Como anteriormente se mencionó el diámetro de la isla central de la rotonda en estudio presenta una forma ovalada o irregular lo que nos da dos diámetros de diferentes tamaños

Lo cual haría más difícil poder maniobrar, puede ocasionar velocidades altas en las secciones rectas y velocidades reducidas en los arcos. La isla central no es franqueable, según teoría sería lo adecuado a razón de que esa característica es única de mini rotondas.

Analizando el porcentaje de vehículos pesados en la rotonda en estudio (3%), el no presentar delantal traspasable para vehículos pesados alrededor del cordón de la isla central, no sería impedimento ni generaría problemas de congestión vehicular al faltar este elemento.

Diámetro de isla central rotonda Torre Petrolera (m)	24.68 a 15.37
--	---------------

Analizando de manera comparativa se puede observar que los diámetros de isla central, para calzada circulatoria de doble carril, medidos cumplen con las medidas que recomiendan las normativas de España y Colombia, a excepción de la normativa argentina, americana y peruana al estar por debajo del mínimo de las mismas.

Tabla 15 Diámetros de isla central para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Mínimo 35 m			
Colombia	Urbano/rural	4 a 60 m			
Estados Unidos	Urbano/rural	Depende del tipo de vehículo		25,4	41,8
España	Urbano/rural	15 a 30 m			
Perú	Urbano/rural	Mínimo 25 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Medición manual de diámetro de isla central



Fuente: Elaboración propia

El ancho de calzada circulatoria no es constante. Al realizar un análisis comparativo el ancho de calzada circulatoria cumple con lo que sugiere la normativa de Estados Unidos y Argentina a excepción de la normativa colombiana y peruana al carecer de información y a excepción de la normativa española al presentar medidas de ancho de calzada circulatoria por encima del máximo de dicha normativa.

Calzada circulatoria rotonda Torre Petrolera (m)	13.32 a 13.97
--	---------------

Tabla 16 Anchos de calzada circulatoria para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
<b>Argentina</b>	Urbano/rural	Igual o 20% superior al ancho de la entrada más amplia			
<b>Colombia</b>	Urbano/rural	-			
<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	4,3	4,9	8,5-9,8	12,8-14,6
<b>España</b>	Urbano/rural	5,3	8	8	12,6
<b>Perú</b>	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

#### 3.8.1.4. Radio de entrada y salida

La normativa americana recomienda el cálculo del radio mínimo de curvatura circular mediante la relación:

### Relación entre peralte, fricción, velocidad y radio de la curva circular

Debido a la fuerza centrífuga, el rozamiento es mayor en curvas que en rectas y por tanto la fuerza centrífuga ejerce en el centro de gravedad del vehículo y su carga. La ecuación propuesta por la AASHTO, que relaciona estas variables es:

$$V = \sqrt{127R(e + f)} \quad \text{ec. 3.1}$$

$$R = \frac{V^2}{127(e+f)} \quad \text{ec.3.2}$$

Donde:

V = Velocidad de diseño 25 (km/h)

R = Radio (m)

e = Peralte mínimo supuesto m/m. (entre 0% y 8% máximo recomendado), asume 2%

f = Coeficiente de fricción

Existe una fórmula norteamericana aproximada que da valores para el coeficiente de fricción y que está en función de la velocidad de diseño.

$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{V}} \quad \text{ec. 3.3}$$

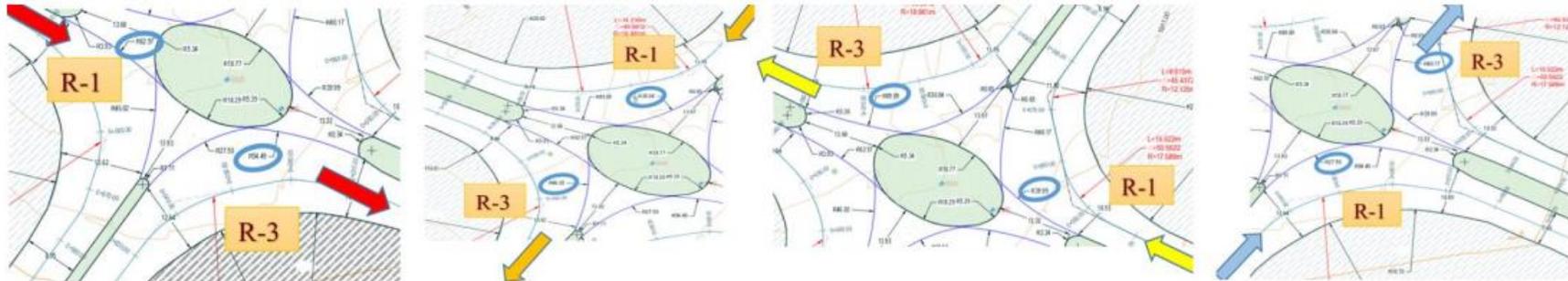
$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{25}} = 0.24$$

Para calcular el radio mínimo de la curvatura se reemplaza los valores en la ecuación 3.2

$$R_{min} = \frac{25^2}{127(0.02 + 0.24)} = 18.93m \text{ no aceptable}$$

Los radios de entrada y salida en la rotonda en estudio son:

Figura 28 Radios de entrada y salida de los accesos de la rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1**

Radio de entrada: 62.57 m.  
Radio de salida: 54.49 m.

**Acceso 2**

Radio de entrada: 30.04 m.  
Radio de salida: 46.02 m.

**Acceso 3**

Radio de entrada: 39.99 m.  
Radio de salida: 89.09 m.

**Acceso 4**

Radio de entrada: 27.50 m.  
Radio de salida: 40.17 m.

Tabla 17 Radios de entrada y radios de salida para rotondas

Entrada		Un carril		Doble carril		Salida		Un carril		Doble carril	
País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)	País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	20		25	30	Argentina	Urbano/rural	15	20	20	40
Colombia	Urbano/rural	-				Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	15	30	53	84	Estados Unidos	Urbano/rural	10 a 15 m			
España	Urbano/rural	15 a 25 m				España	Urbano/rural	Mínimo 40 m			
Perú	Urbano/rural	Mínimo 30 m				Perú	Urbano/rural	Mínimo 40 m			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Radio de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 1, el radio de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información y de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas.

**Acceso 1 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 2 Radio de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el radio de entrada cumpliendo con lo que sugiere la normativa de Perú como también de Argentina al solo haber una diferencia de 0.04 metros con el valor máximo. A excepción de la normativa colombiana al carecer de información, a excepción de la normativa americana al tener un valor por debajo del mínimo establecido por la misma y excepción de la normativa española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indica la misma para radios de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Radio de salida:** Al realizar el análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España, Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 3 Radio de entrada:** El análisis comparativo para el radio de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa peruana a excepción de la normativa colombiana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas y a excepción de la normativa americana al presentar un valor de radio de entrada para carril doble por debajo de lo que sugiere la misma.

**Acceso 3 Radio de salida:** Al analizar de manera comparativa el radio de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al no presentar datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 4 Radio de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el radio de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Argentina y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información, a excepción de la normativa americana al tener la medida de radio de entrada en campo menor a lo que indica dicha norma y a excepción de la normativa española al presentar un valor de radio de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 4 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

### 3.8.1.5. Ángulo de entrada y salida

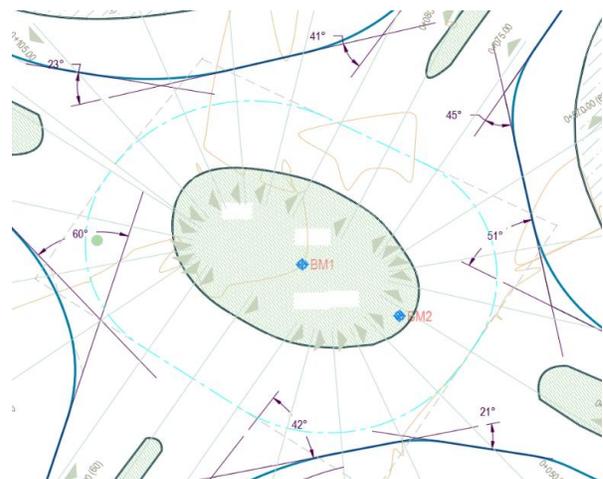
Los ángulos de entrada y salida son los siguientes:

Tabla 17 Ángulos de entrada y salida

Acceso	Ángulo de entrada	Ángulo de salida
1	60°	23°
2	41°	45°
3	51°	21°
4	42°	60°

Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Ángulos de entrada para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
Argentina	Urbano/rural	30°			
Colombia	Urbano/rural	20° a 60°			
Estados Unidos	Urbano/rural	Mínimo 20°			
España	Urbano/rural	20° a 60°			
Perú	Urbano/rural	60°			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Ángulos de salida para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
Argentina	Urbano/rural	-			
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	Mínimo 20°			
España	Urbano/rural	20° a 60°			
Perú	Urbano/rural	30°			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Ángulo de entrada:** Al realizar el análisis comparativo en el acceso 1, el ángulo de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Colombia, Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ángulo de entrada en campo mayor a los 30° que sugiere dicha norma.

**Acceso 1 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos y a excepción la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por debajo de los 30° de ángulo de salida que establece dicha norma.

**Acceso 2 Ángulo de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el ángulo de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Colombia, Estados Unidos y España a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de entrada por debajo de los 60° que sugiere la misma y a excepción de la

normativa argentina al tener la medida de ángulo de entrada en campo mayor a lo que indica la misma para ángulos de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Ángulo de salida:** Mediante un análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España y Estados Unidos a excepción de la normativa colombiana y argentina al carecer de datos y de la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 3 Ángulo de entrada:** El análisis comparativo para el ángulo de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa colombiana, española y americana a excepción de la normativa peruana al tener el valor de ángulo de entrada medido por debajo de los 60° que sugiere dicha norma, y a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ángulo de entrada en campo mayor a los 30° que indica dicha norma para carril doble.

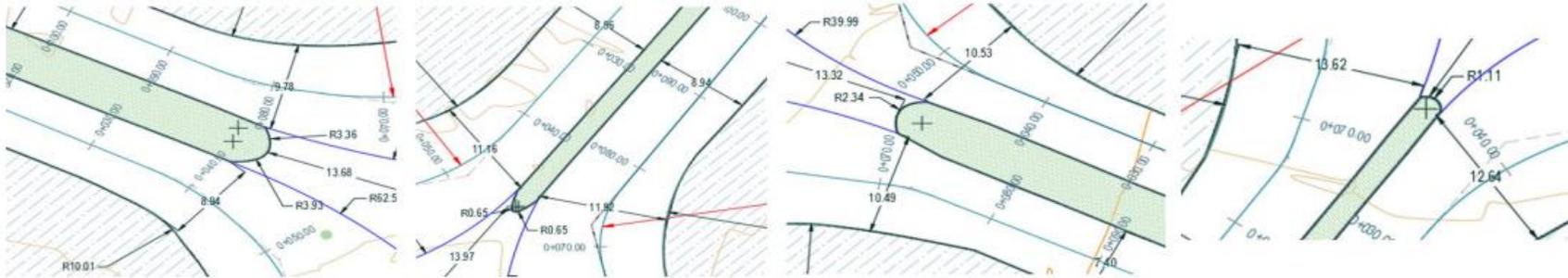
**Acceso 3 Ángulo de salida:** Al analizar de manera comparativa el radio de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España, a excepción de la normativa colombiana y argentina al no presentar datos y de la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por debajo del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 4 Ángulo de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el ángulo de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia, Estados Unidos y España, a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de entrada por debajo de lo que sugiere dicha norma y a excepción de la normativa argentina al presentar un valor de ángulo de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 4 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España, a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos y a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de salida por encima de los 30°.

### 3.8.1.6. Ancho de entrada y salida

Figura 30 Anchos de entrada y salida de la rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
Ancho de entrada	8.94	11.16	10.53	12.64
Ancho de salida	9.78	11.92	10.49	13.62

Tabla 21 Anchos de entrada y salida para rotondas

Entrada		Un carril		Doble carril		Salida		Un carril		Doble carril	
País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)	País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Menor distancia entre cordones en el punto de ceda el paso				Argentina	Urbano/rural	5		8	9
Colombia	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m				Colombia	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m			
Estados Unidos	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1	Estados Unidos	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1
España	Urbano/rural	Mínimo 4 m				España	Urbano/rural	5		9	
Perú	Urbano/rural	-				Perú	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Ancho de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 1, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Argentina, Colombia, Estados Unidos y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información.

**Acceso 1 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener el dato de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 2 Ancho de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el ancho de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al excederse la medida obtenida a la medida máxima para anchos de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Ancho de salida:** Al realizar el análisis comparativo del ancho de salida medido se puede observar que corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 3 Ancho de entrada:** El análisis comparativo para el ancho de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa colombiana y española a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a lo que indica dicha norma para carril doble.

**Acceso 3 Ancho de salida:** Al analizar de manera comparativa el ancho de salida medido el mismo corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia a excepción

de la normativa peruana al no presentar datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 4 Ancho de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al presentar un valor de ancho de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 4 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

#### **3.8.1.7. Visibilidad**

Se observo en campo que la visibilidad de la rotonda Torre Petrolera cumple con lo que establecen las normativas de Argentina, Colombia, España, Estados Unidos y Perú ya que al analizar la aproximación a esta intersección giratoria desde la perspectiva del conductor se pudo garantizar una zona despejada de obstáculos

#### **DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA PARAR**

La normativa americana recomienda la siguiente ecuación para determinar la distancia de visibilidad para parar.

$$d = (0.278 * t * V) + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Donde:

d = Distancia de visibilidad para parar (m)

t = Tiempo de reacción para frenar asume 2.5 seg.

V = Velocidad de diseño 25 km/h

a = Desaceleración del conductor asume 3.4 m/s<sup>2</sup> .

$$d = (0.278 * 2.5 * 25) + 0.039 \frac{25^2}{3.4} = 24.5 \text{ m}$$

La distancia de visibilidad para parar calculada es de 24.5 metros.

Por otro lado, haciendo uso de la tabla 2.3 interpolamos para la velocidad de diseño de 25km/h dándonos como resultado una distancia de visibilidad para parar de 24.85 metros.

### 3.8.1.8. Islas divisorias

La rotonda Torre Petrolera no presenta islas divisorias como tal. Cuenta con jardineras que cumplen con la función de separar el flujo de tráfico que entra con el que sale de la intersección.

Figura 29 Jardineras en lugar de islas divisorias



Fuente: Elaboración Propia

### 3.8.1.9. Peralte

La norma aconseja tomar 2 a 3% hacia el exterior. Para el proyecto se adoptó el 2%

Figura 30 Sección típica de calzada circularia



Fuente: Elaboración Propia

Realizando un análisis comparativo se pudo observar que algunas de las secciones de la rotonda en estudio están a 2.00% hacia afuera de la isla central como indican las normativas de Argentina, Colombia y Estados Unidos, como también hay secciones que están por encima del 2.00% algunas secciones más que otras.

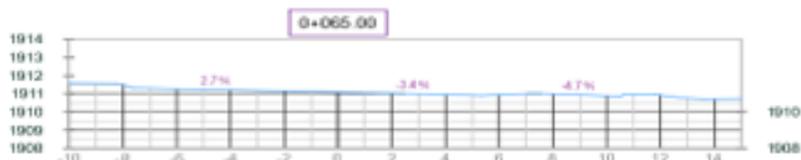
A continuación, se mostrará algunas secciones transversales de la calzada circularia de la rotonda Torre Petrolera, para poder observar a mayor detalle revisar los planos.

Figura 31 Sección 0+000.00



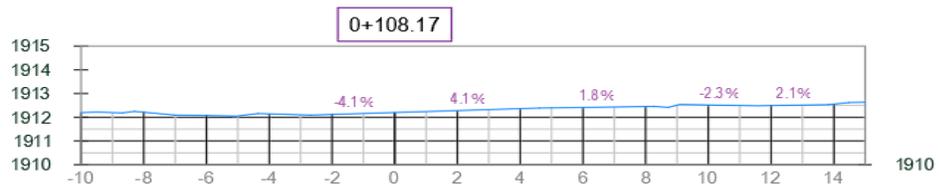
Fuente: Elaboración propia

Figura 32 Sección 0+065.00



Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Sección 0+108.17



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.10. Análisis de semaforización y señalización

Tabla 20 Tiempo de fases y ciclo de la rotonda Torre Petrolera

Acceso	Tiempo en segundos				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	3	0	21	26	50
2	3	0	29	18	50
3	3	0	21	26	50
4	3	0	29	18	50

Fuente: Elaboración propia

#### Señales verticales

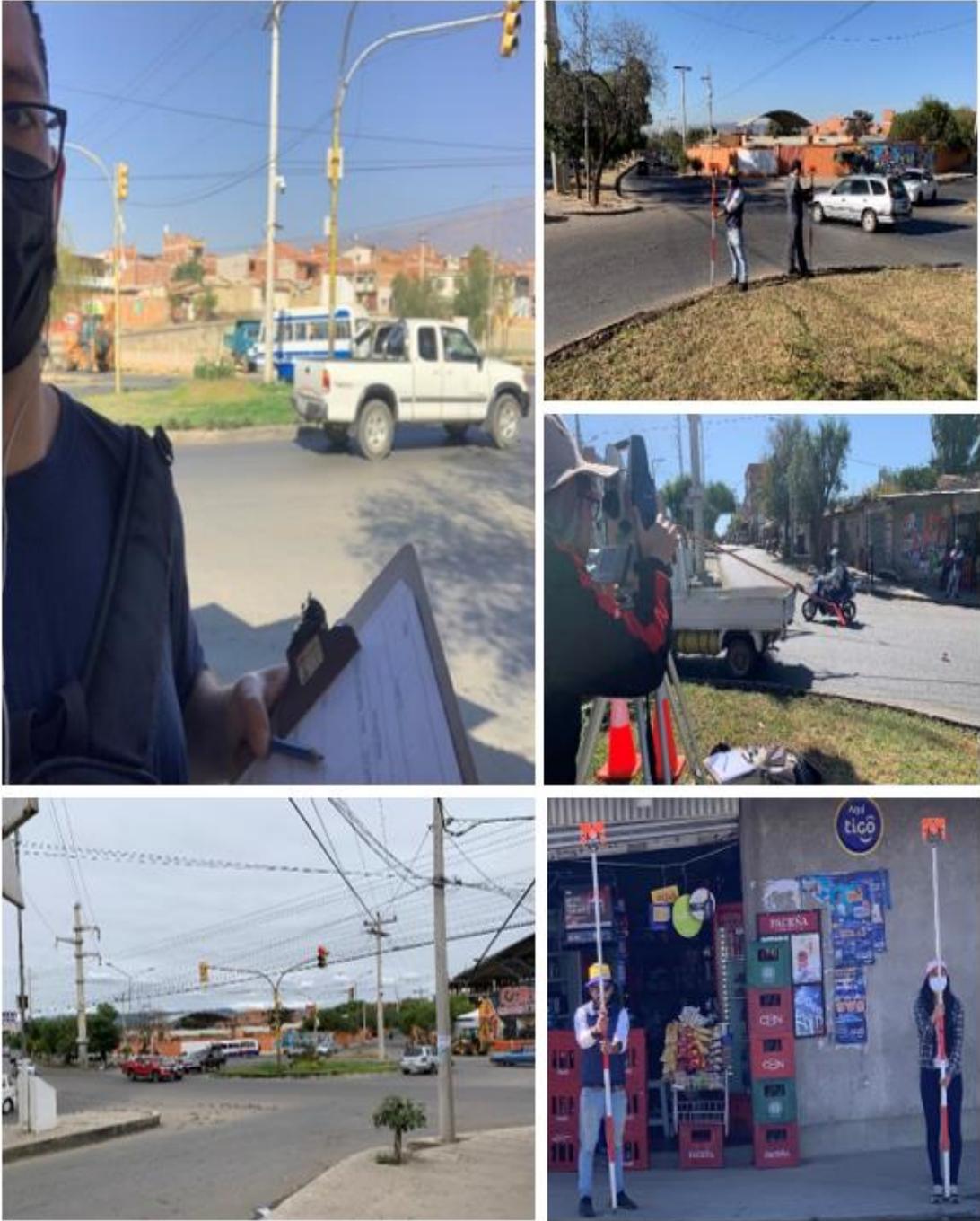
Se pudo observar que ninguno de los cuatro accesos de la rotonda cuenta con señalización vertical, lo cual generaría dificultad a la circulación de los vehículos.

#### Señales horizontales

Las señales horizontales no se encuentran en condiciones adecuadas, no es visible la línea de parada y flechas direccionales, no existen líneas de paso peatonal, tampoco cuenta con línea de separación de carriles dentro de la rotonda.

**3.8.2. ROTONDA LA HOLLADA**

Figura 34 Rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

## DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE TIPO DE VEHICULOS

Tabla 21 Distribución porcentual de vehículos en acceso 1

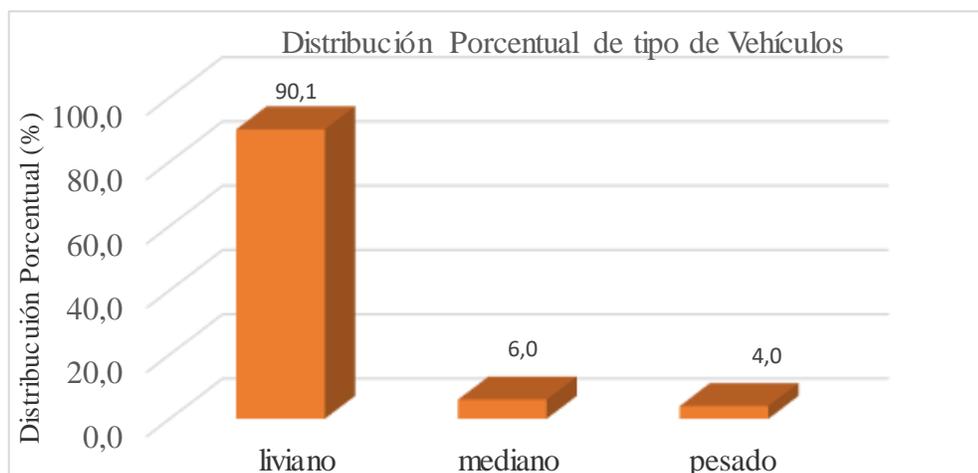
Rotonda La Hollada			Acceso 1			
			Liviano	Mediano	Pesados	Totales
Primera semana	Martes	8:00-9:00	938	30	16	984
		12:00-13:00	740	60	32	832
		18:00-19:00	806	54	32	892
	Jueves	8:00-9:00	784	40	36	860
		12:00-13:00	802	54	56	912
		18:00-19:00	808	48	32	888
	Sábado	8:00-9:00	802	42	32	876
		12:00-13:00	650	66	72	788
		18:00-19:00	706	38	20	764
Segunda semana	Martes	8:00-9:00	720	40	36	796
		12:00-13:00	622	62	32	716
		18:00-19:00	700	40	20	760
	Jueves	8:00-9:00	804	32	24	860
		12:00-13:00	600	44	56	700
		18:00-19:00	706	58	24	788
	Sábado	8:00-9:00	800	60	40	900
		12:00-13:00	688	40	52	780
		18:00-19:00	608	28	12	648
Tercera semana	Martes	8:00-9:00	732	40	36	808
		12:00-13:00	680	44	32	756
		18:00-19:00	700	40	16	756
	Jueves	8:00-9:00	822	42	28	892
		12:00-13:00	768	40	20	828
		18:00-19:00	614	38	28	680
	Sábado	8:00-9:00	656	48	44	748
		12:00-13:00	618	38	16	672
		18:00-19:00	420	44	28	492
Cuarta semana	Martes	8:00-9:00	600	72	28	700
		12:00-13:00	654	54	32	740
		18:00-19:00	604	48	20	672
	Jueves	8:00-9:00	680	32	36	748
		12:00-13:00	670	38	24	732
		18:00-19:00	600	40	24	664
	Sábado	8:00-9:00	558	54	44	656
		12:00-13:00	556	24	12	592
		18:00-19:00	408	24	4	436

Media	684	44	30
Desviación	110	11	14
Intervalo Superior	794	56	44
Intervalo Inferior	574	33	17

Media corregida	690	50	35	775
Porcentaje	90,1	6,0	4,0	100

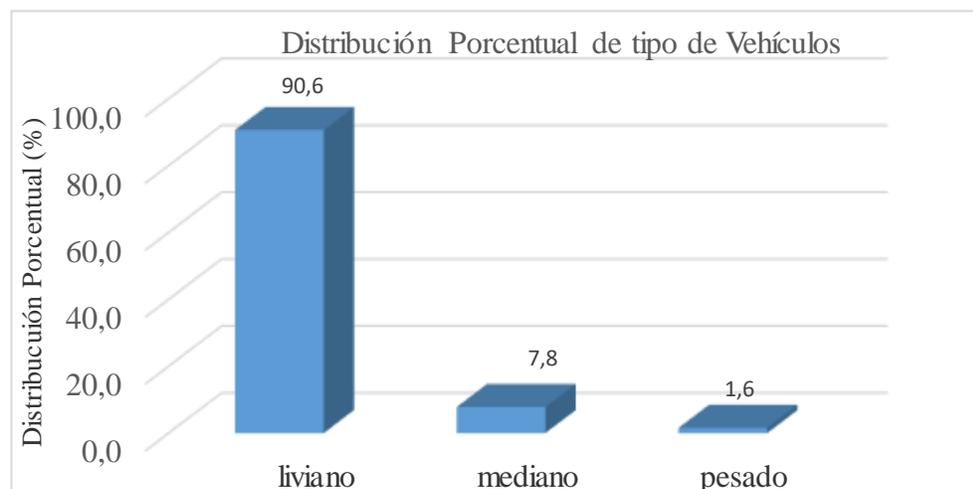
Fuente: Elaboración Propia

Figura 35 Distribución porcentual acceso 1



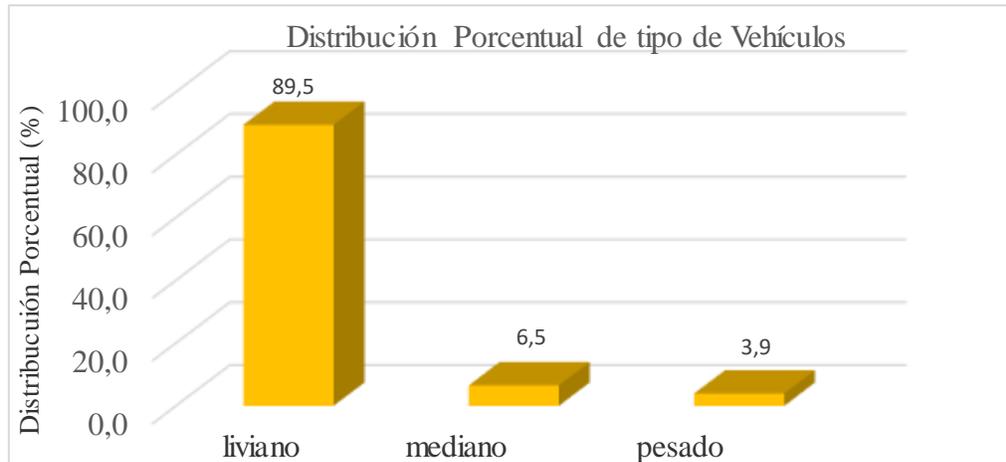
Fuente: Elaboración Propia

Figura 36 Distribución porcentual acceso 2



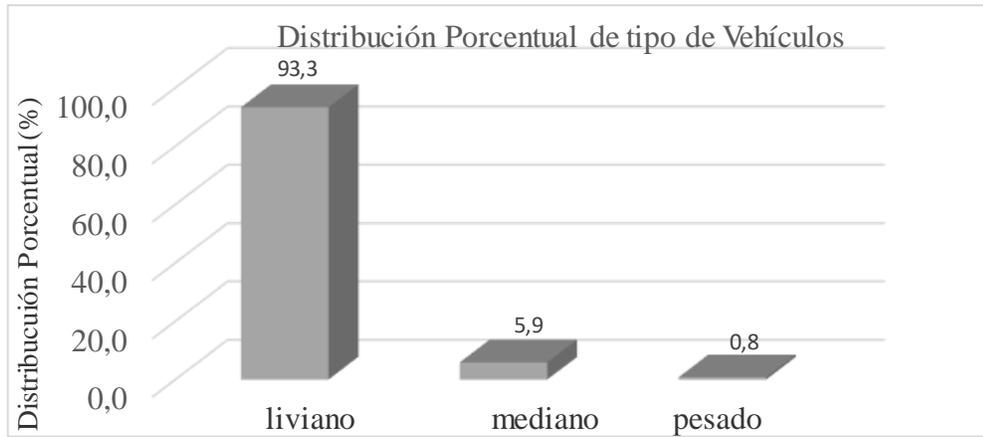
Fuente: Elaboración Propia

Figura 37 Distribución porcentual acceso 3



Fuente: Elaboración Propia

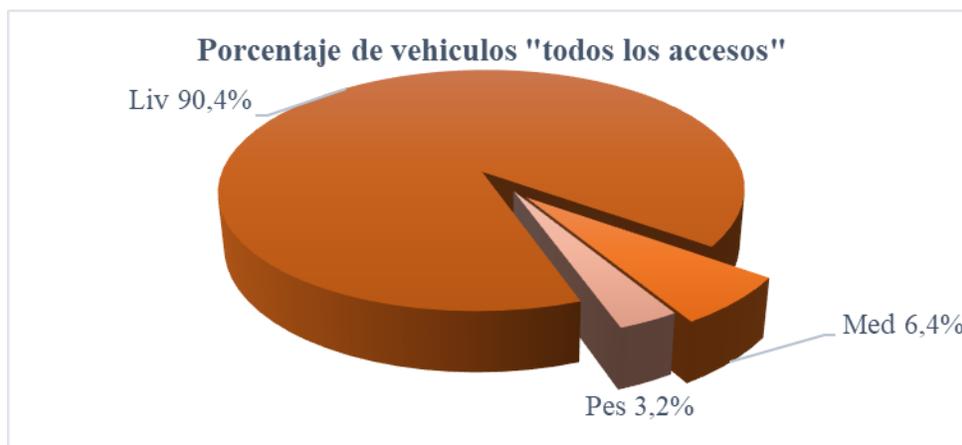
Figura 38 Distribución porcentual acceso 4



Fuente: Elaboración Propia

Porcentaje de vehículos "todos los accesos"				
	<b>Liviano</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesados</b>	<b>Totales</b>
<b>Totales</b>	455	32	16	504
<b>Porcentaje</b>	90,4	6,4	3,2	100

Figura 39 Porcentaje de tipos de vehículos rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.1. Alineamientos

La rotonda tiene el centro desplazado en relación a su intersección de ejes.

Realizando un análisis comparativo para el alineamiento observado en la figura, podemos observar que no se asemeja a lo que recomiendan las normativas de Argentina, España y Estados Unidos. El eje 1 (rojo) se encuentra inclinado a la derecha y bastante alejado del centro de la rotonda por lo cual lo hace inaceptable. El eje 3 (amarillo) se encuentra inclinado a la izquierda, pero alejado del centro de la rotonda, los ejes 2 (celeste) y 4 (naranja) se encuentran un poco inclinados a la izquierda, pero alejados ligeramente del centro de la rotonda.

La jardinera y el acceso 1(rojo) deberían adecuarse al alineamiento de la rotonda, se inclina mucho a la derecha lo cual según normativa no es permitido a razón de que al tener el alineamiento a la derecha permitiría a los vehículos del carril de ese acceso ingresar a la rotonda a mayor velocidad haciendo un movimiento de giro demasiado corto o casi sin tener que girar al momento de recorrer de frente la intersección lo cual podría generar accidentes.

Figura 40 Alineamiento rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.2. Diámetro de círculo inscrito

Analizando a la rotonda La Hollada, tiene un diámetro de círculo inscrito de forma circular y de tamaño pequeño.

La normativa americana aconseja que los diámetros de círculo inscritos más pequeños, son mejores, ya que al ser pequeños mantienen velocidades bajas. Según normativa americana el rango de diámetro de círculo inscrito común para una rotonda multi carril (2 carriles) es de 46 a 67 metros lo que haría que la rotonda La Hollada no pertenezca a este rango y se asemeje al rango de una rotonda de un solo carril (32 a 46 m). Sin embargo, como bien se dijo anteriormente las rotondas con diámetro de círculo inscrito más pequeño mantienen velocidades bajas lo cual las hace más seguras.

Realizando un análisis comparativo con lo que respecta a lo que pudimos obtener en la medida del diámetro de círculo inscrito para la rotonda de dos carriles podemos observar que se cumple únicamente con lo que recomienda la normativa de España, a excepción de la normativa colombiana al carecer de información de este parámetro y de las normativas argentina, americana y peruana al tener un valor por debajo del mínimo.

Diámetro de círculo inscrito rotonda La Hollada (m)	35.56
---	-------

Tabla 22 Diámetros de círculo inscritos para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbana	35	43	45	60
	Rural	36	45	55	67
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbana	25-32	36-43	46	55
	Rural	36	43	55	60
España	Urbana	28-30	40	35-45	55
	Rural	35	45	55	60
Perú	Urbano/rural	Mínimo 50 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 41 Diámetro de círculo inscrito rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.3. Isla central y ancho de calzada

El diámetro de la isla central de la rotonda en estudio presenta una forma circular.

La isla central es notablemente pequeña, casi como una mini rotonda, pero con la excepción a la misma que no presenta una isla central franqueable y que tampoco presenta un delantal para vehículos de alto tonelaje.

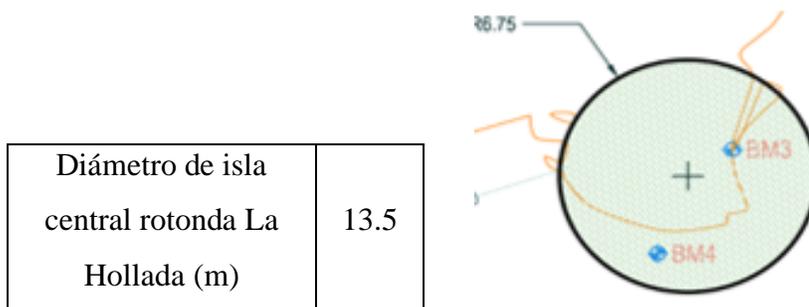
Analizando de manera comparativa se puede observar que el diámetro de isla central para calzada circulatoria de doble carril medido cumple únicamente con las medidas que recomienda la normativa de Colombia, a excepción de la normativa argentina, americana, española y peruana al estar por debajo del mínimo de las mismas.

Tabla 23 Diámetros de isla central para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Mín (m)	Max (m)	Mín (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Mínimo 35 m			
Colombia	Urbano/rural	4 a 60 m			
Estados Unidos	Urbano/rural	Depende del tipo de vehículo		25,4	41,8
España	Urbano/rural	15 a 30 m			
Perú	Urbano/rural	Mínimo 25 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Diámetro de isla central rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

El ancho de calzada circulatoria no es constante. Al realizar un análisis comparativo el ancho de calzada circulatoria cumple con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos y España a excepción de la normativa colombiana y peruana al carecer de información y a excepción de la normativa argentina ya que no cumple con lo que indica dicha normativa ya que los 12.16 metros medidos de calzada circulatoria en rotondas de doble carril se encuentran por debajo de la medida de ancho de entrada (14.07 metros).

Calzada circulatoria rotonda La Hollada (m)	9.90 a 12.16
---	--------------

Tabla 24 Ancho de calzada circulatoria para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Mín (m)	Max (m)	Mín (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Igual o 20% superior al ancho de la entrada más amplia			
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	4,3	4,9	8,5-9,8	12,8-14,6
España	Urbano/rural	5,3	8	8	12,6
Perú	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.4. Radio de entrada y salida

La normativa americana recomienda el cálculo del radio mínimo de curvatura circular mediante la relación:

#### Relación entre peralte, fricción, velocidad y radio de la curva circular

Debido a la fuerza centrífuga, el rozamiento es mayor en curvas que en rectas y por tanto la fuerza centrífuga ejerce en el centro de gravedad del vehículo y su carga. La ecuación propuesta por la AASHTO, que relaciona estas variables es:

$$V = \sqrt{127R(e + f)} \quad \text{ec. 3.1}$$

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \quad \text{ec.3.2}$$

Donde:

V = Velocidad de diseño 25 (km/h)

R = Radio (m)

e = Peralte mínimo supuesto m/m. (entre 0% y 8% máximo recomendado), asume 2%

f = Coeficiente de fricción

Existe una fórmula norteamericana aproximada que da valores para el coeficiente de fricción y que está en función de la velocidad de diseño.

$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{V}} \quad \text{ec. 3.3}$$

$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{25}} = 0.24$$

Para calcular el radio mínimo de la curvatura se reemplaza los valores en la ecuación 3.2

$$R_{min} = \frac{25^2}{127(0.02+0.24)} = 18.93 \text{ m no aceptable}$$

Los radios de entrada y salida en la rotonda en estudio son:

Figura 45 Radios de entrada y salida de los accesos de la rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1**

Radio de entrada: 35.96 m.

Radio de salida: 84.05 m.

**Acceso 2**

Radio de entrada: 59.04 m.

Radio de salida: 55.88 m.

**Acceso 3**

Radio de entrada: 77.65 m.

Radio de salida: 60.62 m.

**Acceso 4**

Radio de entrada: 30.67 m.

Radio de salida: 66.92 m.

Tabla 27 Radios de entrada y salida para rotondas

Entrada		Un carril		Doble carril		Salida		Un carril		Doble carril	
País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)	País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	20		25	30	Argentina	Urbano/rural	15	20	20	40
Colombia	Urbano/rural	-				Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	15	30	53	84	Estados Unidos	Urbano/rural	10 a 15 m			
España	Urbano/rural	15 a 25 m				España	Urbano/rural	Mínimo 40 m			
Perú	Urbano/rural	Mínimo 30 m				Perú	Urbano/rural	Mínimo 40 m			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Radio de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 1, el radio de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información a excepción de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas y excepción de la normativa americana al presentar un valor de radio de entrada para dos carriles por debajo del mínimo de la misma.

**Acceso 1 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 2 Radio de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el radio de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos y Perú. A excepción de la normativa colombiana al carecer de información, a excepción de la normativa española y argentina al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican la mismas para radios de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Radio de salida:** Al realizar el análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España, Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 3 Radio de entrada:** El análisis comparativo para el radio de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa peruana y americana a excepción de la normativa colombiana al carecer de información y a excepción de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas.

**Acceso 3 Radio de salida:** Al analizar de manera comparativa el radio de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al no presentar datos y de la normativa

argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 4 Radio de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el radio de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información, a excepción de la normativa americana al tener la medida de radio de entrada en campo menor a lo que indica dicha norma y a excepción de la normativa española y argentina al presentar un valor de radio de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dichas normativas.

**Acceso 4 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

### 3.8.2.5. Ángulo de entrada y salida

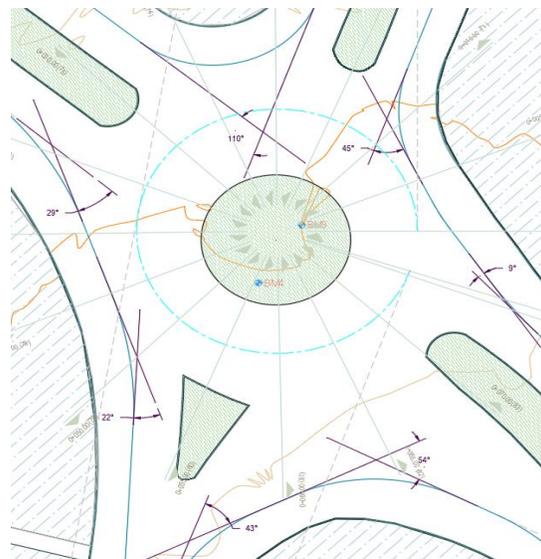
Los ángulos de entrada y salida son los siguientes:

Tabla 25 Ángulos de entrada y salida

Acceso	Ángulo de entrada	Ángulo de salida
1	9°	54°
2	110°	45°
3	29°	110°
4	43°	22°

Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Ángulos de entrada para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
Argentina	Urbano/rural	30°			
Colombia	Urbano/rural	20° a 60°			
Estados Unidos	Urbano/rural	Mínimo 20°			
España	Urbano/rural	20° a 60°			
Perú	Urbano/rural	60°			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Ángulos de salida para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
Argentina	Urbano/rural	-			
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	Mínimo 20°			
España	Urbano/rural	20° a 60°			
Perú	Urbano/rural	30°			

Fuente: Elaboración propia

**ACCESO 1 Ángulo de entrada:** Al realizar el análisis comparativo en el acceso 1, el ángulo de entrada medido no cumple con ninguna de las normativas al presentar un valor por debajo del mínimo 20°.

**ACCESO 1 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos y a excepción la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por encima de los 30° de ángulo de salida que establece dicha norma.

**ACCESO 2 Ángulo de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta la medida de ángulo de entrada que se excede a lo que indican las normativas citadas para ángulos de entrada en rotondas de doble carril.

**ACCESO 2 Ángulo de salida:** Mediante un análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España

y Estados Unidos a excepción de la normativa colombiana y argentina al carecer de datos y de la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**ACCESO 3 Ángulo de entrada:** El análisis comparativo para el ángulo de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa colombiana, española y americana a excepción de la normativa peruana y argentina al tener el valor de ángulo de entrada medido por debajo de lo que sugieren dichas normas.

**ACCESO 3 Ángulo de salida:** Al analizar de manera comparativa el ángulo de salida medido el mismo no corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú, a excepción de la normativa colombiana y argentina al no presentar datos.

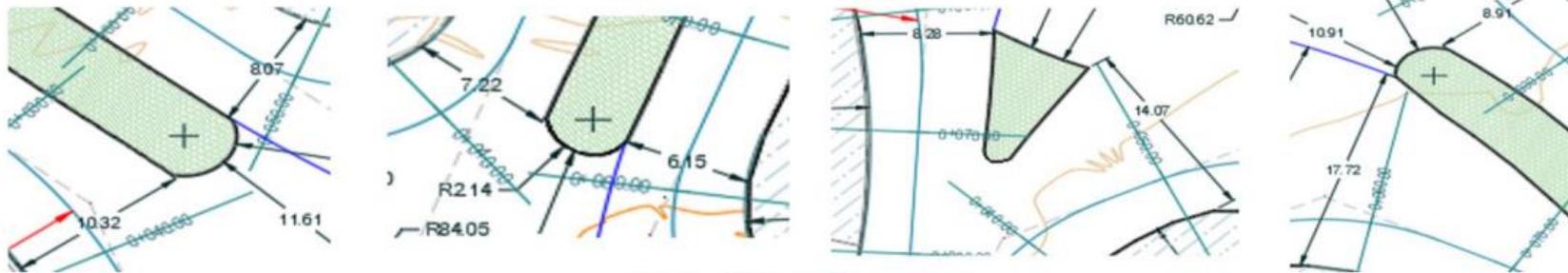
**ACCESO 4 Ángulo de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el ángulo de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia, Estados Unidos y España, a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de entrada por debajo de lo que sugiere dicha norma y a excepción de la normativa argentina al presentar un valor de ángulo de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**ACCESO 4 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España, a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos y a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de salida por debajo de los 30°.

#### **3.8.2.6. Ancho de entrada y salida**

Los anchos de entrada y salida son:

Figura 47 Anchos de entrada y salida de la rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

	Acceso 3	Acceso 2	Acceso 4	Acceso 1
Ancho de entrada	10.32	7.22	14.07	8.91
Ancho de salida	8.07	6.15	8.28	17.72

Tabla 31 Anchos de entrada y salida para rotondas

Entrada		Un carril		Doble carril		Salida		Un carril		Doble carril	
País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)	País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Menor distancia entre cordones en el punto de ceda el paso				Argentina	Urbano/rural	5		8	9
Colombia	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m				Colombia	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m			
Estados Unidos	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1	Estados Unidos	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1
España	Urbano/rural	Mínimo 4 m				España	Urbano/rural	5		9	
Perú	Urbano/rural	-				Perú	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Ancho de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 1, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia, Estados Unidos y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información y a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 2 según sugiere dicha normativa para anchos de entrada para doble carril.

**Acceso 1 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido no corresponde con lo que sugieren las normativas de Argentina, Estados Unidos, España y Colombia a excepción de la normativa peruana al carecer de datos.

**Acceso 2 Ancho de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el ancho de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Argentina, Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, y excepción de la normativa americana al tener la medida de ancho de entrada en campo menor a lo que indica las mismas para anchos de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Ancho de salida:** Al realizar el análisis comparativo del ancho de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener el dato de ancho de salida obtenido por debajo del mínimo que establece dichas normas.

**Acceso 3 Ancho de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 3, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 2 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al presentar un valor de ancho de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 3 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Argentina, Colombia y Estados Unidos, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y

de la normativa española al tener el dato de ancho de salida obtenido por debajo del mínimo que establece dicha norma.

**Acceso 4 Ancho de entrada:** El análisis comparativo para el ancho de entrada del acceso 4 nos indica que el ancho de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 2 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al presentar un valor de ancho de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 4 Ancho de salida:** Al analizar de manera comparativa el ancho de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Argentina, Colombia y Estados Unidos, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y de la normativa española al tener el dato de ancho de salida obtenido por debajo del mínimo que establece dicha norma.

#### **3.8.2.7. Visibilidad**

Se observó en campo que la visibilidad de la rotonda La Hollada cumple con lo que establecen las normativas de Argentina, Colombia, España, Estados Unidos y Perú ya que al analizar la aproximación a esta intersección giratoria desde la perspectiva del conductor se pudo garantizar una zona despejada de obstáculos

#### **DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA PARAR**

La normativa americana recomienda la siguiente ecuación para determinar la distancia de visibilidad para parar.

$$d = (0.278 * t * V) + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Donde:

d = Distancia de visibilidad para parar (m)

t = Tiempo de reacción para frenar asume 2.5 seg.

V = Velocidad de diseño 25 km/h

a = Desaceleración del conductor asume 3.4 m/s<sup>2</sup> .

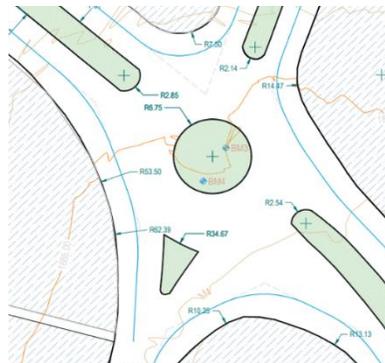
$$d = (0.278 * 2.5 * 25) + 0.039 \frac{25^2}{3.4} = 24.5 \text{ m}$$

La distancia de visibilidad para parar calculada es de 24.5 metros.

### 3.8.2.8. Islas divisorias

Las islas divisorias de la rotonda La Hollada no presentan una forma como tal de isla divisoria a excepción de la isla divisoria del acceso 4, pero las demás podrían ser comparadas con la continuación de las jardineras que cumplen con la función de separar los flujos de tráfico de entrada y salida.

Figura 44 Jardineras en lugar de islas divisorias



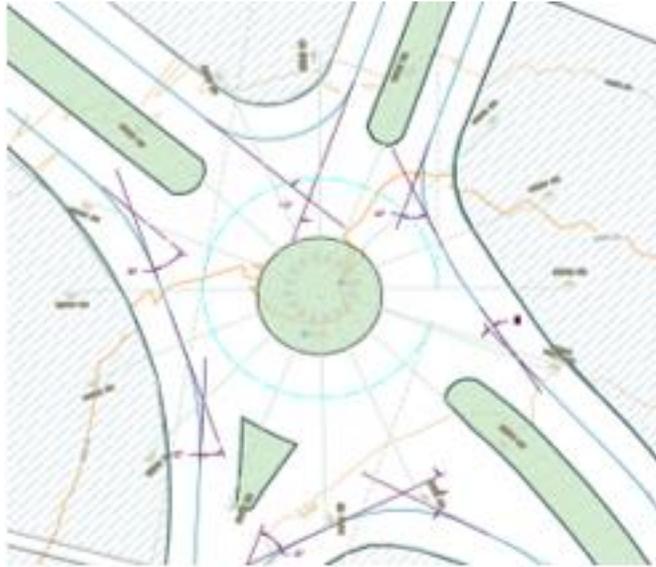
Fuente: Elaboración propia

La isla divisoria del acceso 4 (unidad educativa José Manuel Ávila) es de un tamaño pequeño, pero analizando más a detalle al acceso 4 la isla divisoria no debería estar ahí al ser un acceso de un solo carril. Para más detalles del asunto en cuestión se anexo carta dirigida a dirección de regulación y control de movilidad urbana en anexo 6.

### 3.8.2.9. Peralte

La norma aconseja tomar 2 a 3% hacia el exterior. Para el proyecto se adoptó el 2%

Figura 45 Sección típica de calzada circulatoria



Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis comparativo se pudo observar que algunas de las secciones de la rotonda en estudio están a 2.00% hacia afuera de la isla central como indican las normativas de Argentina, Colombia y Estados Unidos, como también hay secciones que están por encima del 2.00% algunas secciones más que otras.

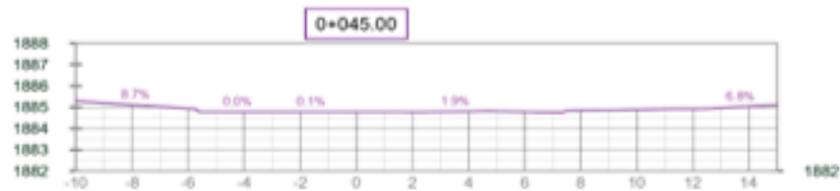
A continuación, se mostrará algunas secciones de peralte de la calzada circulatoria de la rotonda La Hollada, para poder observar a mayor detalle revisar los planos.

Figura 46 Sección 0+000.00



Fuente: Elaboración propia

Figura 47 Sección 0+045.00



Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Sección 0+075.45



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.10. Análisis de semaforización y señalización

Tabla 28 Tiempo de fases y ciclo de la rotonda La Hollada

Acceso	Tiempo en segundos				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	3	0	19	20	42
2	3	0	21	18	42
3	3	0	19	20	42
4	3	0	21	18	42

Fuente: Elaboración propia

#### Señales verticales

Se pudo observar que ninguno de los cuatro accesos de la rotonda cuenta con señalización vertical, lo cual generaría dificultad a la circulación de los vehículos.

#### Señales horizontales

Las señales horizontales no se encuentran en condiciones adecuadas, no es visible la línea de parada y flechas direccionales, no existen líneas de paso peatonal, tampoco cuenta con línea de separación de carriles dentro de la rotonda.

### 3.8.3. ROTONDA DEL AVIÓN

Figura 49 Rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

### DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE TIPO DE VEHICULOS

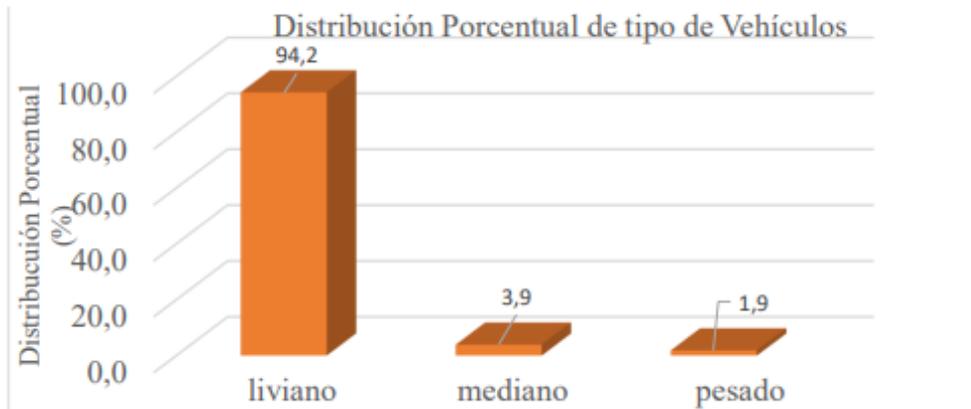
Tabla 29 Distribución porcentual de vehículos en acceso 1

Rotonda del Avión			Acceso 1			
			Liviano	Mediano	Pesados	Totales
Primera semana	Martes	8:00-9:00	700	64	36	800
		12:00-13:00	700	40	12	752
		18:00-19:00	804	32	24	860
	Jueves	8:00-9:00	812	32	32	876
		12:00-13:00	688	28	12	728
		18:00-19:00	820	48	20	888
	Sábado	8:00-9:00	665	27	16	708
		12:00-13:00	610	32	12	654

		18:00-19:00	530	34	20	584
Segunda semana	Martes	8:00-9:00	764	28	16	808
		12:00-13:00	800	44	16	860
		18:00-19:00	580	20	12	612
	Jueves	8:00-9:00	780	24	16	820
		12:00-13:00	678	34	24	736
		18:00-19:00	660	22	12	694
	Sábado	8:00-9:00	710	30	16	756
		12:00-13:00	550	38	24	612
		18:00-19:00	460	28	8	496
Tercera semana	Martes	8:00-9:00	753	35	24	812
		12:00-13:00	700	44	8	752
		18:00-19:00	744	20	12	776
	Jueves	8:00-9:00	650	30	20	700
		12:00-13:00	724	24	12	760
		18:00-19:00	700	52	20	772
	Sábado	8:00-9:00	560	28	8	596
		12:00-13:00	640	20	12	672
		18:00-19:00	492	12	4	508
Cuarta semana	Martes	8:00-9:00	600	36	12	648
		12:00-13:00	800	28	16	844
		18:00-19:00	708	24	12	744
	Jueves	8:00-9:00	660	20	12	692
		12:00-13:00	750	14	8	772
		18:00-19:00	680	20	4	704
	Sábado	8:00-9:00	630	18	8	656
		12:00-13:00	604	24	16	644
		18:00-19:00	520	16	12	548
		Media	673	30	15	
		Desviación	94	11	7	
		Intervalo Superior	767	41	22	
		Intervalo Inferior	578	19	8	
		Media corregida	676	24	10	710
		PORCENTAJE	94,2	3,9	1,9	100

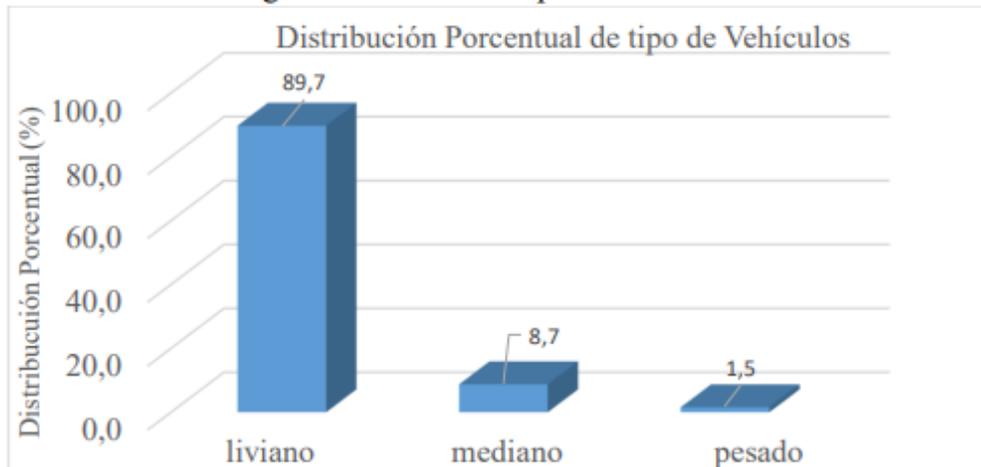
Fuente: Elaboración propia

Figura 55 Distribución porcentual acceso 1



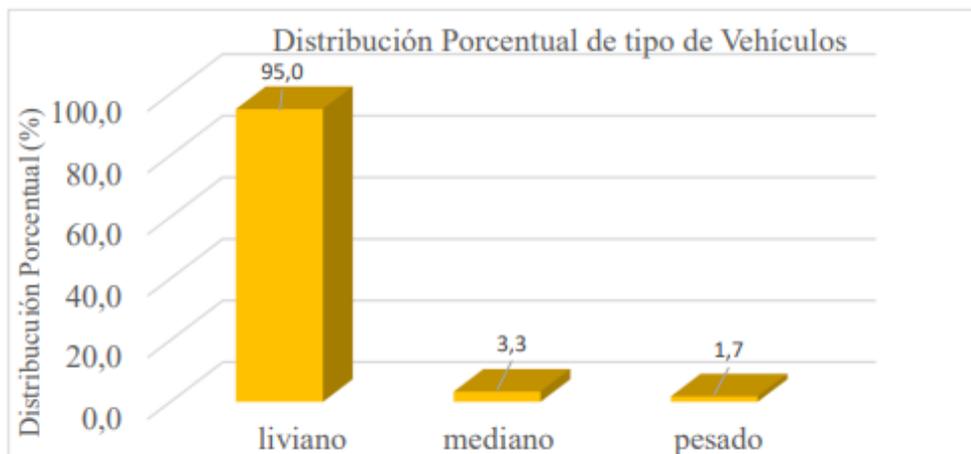
Fuente: Elaboración propia

Figura 54 Distribución porcentual acceso 2



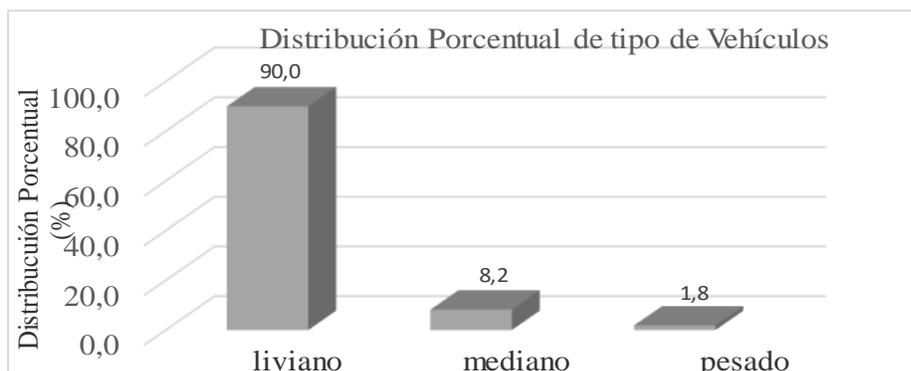
Fuente: Elaboración propia

Figura 56 Distribución porcentual acceso 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 50 Distribución porcentual acceso 4



Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vehículos "todos los accesos"				
	Liviano	Mediano	Pesados	Totales
Totales	456	24	9	488
Porcentaje	93,4	4,8	1,8	100

Figura 51 Porcentaje de tipos de vehículo rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.1. Alineamientos

La rotonda del avión tiene el centro desplazado con respecto a lo que sería la intersección de los ejes.

Realizando un análisis comparativo para el alineamiento observado en la figura, podemos observar que se asemeja parcialmente a lo que recomiendan las normativas de Argentina, España y Estados Unidos. Los ejes 1 (rojo) y 3 (amarillo) se encuentran

cercanos a un eje radial, pero con una ligera inclinación a la derecha lo cual según la normativa no es aceptable. El eje 4 (naranja) también se encuentra cercano a un eje radial, pero presenta una pequeña inclinación a la derecha y el eje 2 (celeste) presenta una inclinación a la derecha y un notable alejamiento del centro de la rotonda lo cual según normativa no es permitido por riesgos de ingresar a la intersección rotatoria con velocidades altas.

Sin embargo, se puede observar que de las rotondas en estudio la rotonda del avión es la mejor alineada con tres ejes cercanos a un eje radial, pero con ligeras inclinaciones a la derecha.

Figura 52 Alineamientos rotonda del avión



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.2. Diámetro de círculo inscrito

La rotonda del Avión, tiene un diámetro de círculo inscrito de forma circular.

La normativa americana indica que para el diámetro de círculo inscrito de una rotonda multi carril (2 carriles) tiene un rango de 46 a 67 metros lo que haría que la rotonda del avión si pertenezca a esta clasificación.

Realizando un análisis comparativo con lo que respecta a lo que pudimos obtener en la medida del diámetro de círculo inscrito para la rotonda de dos carriles podemos observar que se cumple con lo que recomiendan todas las normativas, a excepción de la normativa colombiana al carecer de información de este parámetro.

Diámetro de círculo inscrito de rotonda del Avión (m)	51.37
---	-------

Tabla 30 Diámetro de círculo inscrito para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbana	35	43	45	60
	Rural	36	45	55	67
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbana	25-32	36-43	46	55
	Rural	36	43	55	60
España	Urbana	28-30	40	35-45	55
	Rural	35	45	55	60
Perú	Urbano/rural	Mínimo 50 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 53 Diámetro de círculo inscrito rotonda del avión



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.3. Isla central y ancho de calzada

El diámetro de la isla central de la rotonda en estudio presenta una forma circular y la medida para la clasificación de una isla central para rotondas de dos carriles.

La isla central no cuenta con delantal para vehículos de alto tonelaje sin embargo tomando en cuenta el 1.8% de vehículos pesados que circulan en la intersección no sería un impedimento para la circulación vehicular de la misma ni causante de congestión vehicular.

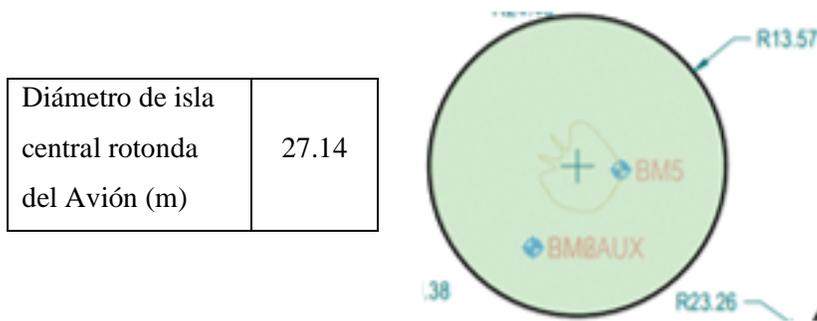
Analizando de manera comparativa se puede observar que el diámetro de isla central para calzada circulatoria de doble carril medido cumple con las medidas que recomienda la normativa de Colombia, Estados Unidos, España y Perú, únicamente a excepción de la normativa argentina al estar por debajo del mínimo de la misma.

Tabla 31 Diámetros de isla central para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Mínimo 35 m			
Colombia	Urbano/rural	4 a 60 m			
Estados Unidos	Urbano/rural	Depende del tipo de vehículo		25,4	41,8
España	Urbano/rural	15 a 30 m			
Perú	Urbano/rural	Mínimo 25 m			

Fuente: Elaboración propia

Figura 54 Diámetro de isla central rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

El ancho de calzada circulatoria no es constante. Al realizar un análisis comparativo el ancho de calzada circulatoria cumple con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos, España y Argentina a excepción de la normativa colombiana y peruana al carecer de información de anchos de calzada circulatoria en rotondas de doble carril.

Calzada circulatoria rotonda del avión (m)	11.75 a 12.48
--	---------------

Tabla 32 Anchos de calzada circulatorias para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
Argentina	Urbano/rural	Igual o 20% superior al ancho de la entrada más amplia			
Colombia	Urbano/rural	-			
Estados Unidos	Urbano/rural	4,3	4,9	8,5-9,8	12,8-14,6
España	Urbano/rural	5,3	8	8	12,6
Perú	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.4. Radio de entrada y salida

La normativa americana recomienda el cálculo del radio mínimo de curvatura circular mediante la relación:

#### Relación entre peralte, fricción, velocidad y radio de la curva circular

Debido a la fuerza centrífuga, el rozamiento es mayor en curvas que en rectas y por tanto la fuerza centrífuga ejerce en el centro de gravedad del vehículo y su carga. La ecuación propuesta por la AASHTO, que relaciona estas variables es:

$$V = \sqrt{127R(e + f)} \quad \text{ec. 3.1}$$

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \quad \text{ec.3.2}$$

Donde:

V = Velocidad de diseño 25 (km/h)

R = Radio (m)

e = Peralte mínimo supuesto m/m. (entre 0% y 8% máximo recomendado), asume 2%

f = Coeficiente de fricción

Existe una fórmula norteamericana aproximada que da valores para el coeficiente de fricción y que está en función de la velocidad de diseño.

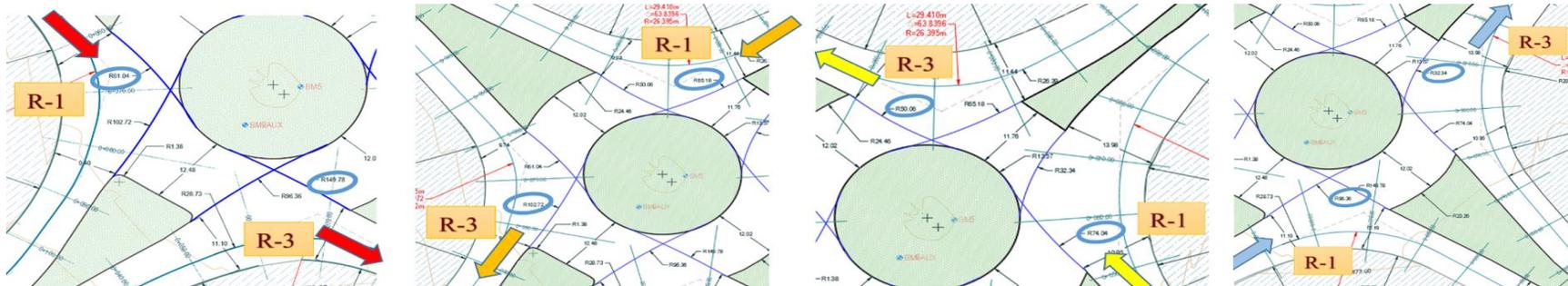
$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{V}} \quad \text{ec. 3.3}$$

$$f = \frac{0.7}{\sqrt[3]{25}} = 0.24$$

Para calcular el radio mínimo de la curvatura se reemplaza los valores en la ecuación 3.2

$$R_{min} = \frac{25^2}{127(0.02+0.24)} = 18.93 \text{ m} \quad \text{no aceptable}$$

Figura 55 Radios de entrada y salida de los accesos de la rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1**

Radio de entrada: 61.04 m.

Radio de salida: 149.78 m.

**Acceso 2**

Radio de entrada: 65.18 m.

Radio de salida: 102.72 m.

**Acceso 3**

Radio de entrada: 74.04 m.

Radio de salida: 50.06 m.

**Acceso 4**

Radio de entrada: 96.36 m.

Radio de salida: 32.34 m.

Tabla 33 Radios de entrada y salida para rotondas

Entrada		Un carril		Doble carril		Salida		Un carril		Doble carril	
País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)	País	Tipo	Min (m)	Max (m)	Min (m)	Max (m)
<b>Argentina</b>	Urbano/rural	20		25	30	<b>Argentina</b>	Urbano/rural	15	20	20	40
<b>Colombia</b>	Urbano/rural	-				<b>Colombia</b>	Urbano/rural	-			
<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	15	30	53	84	<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	10 a 15 m			
<b>España</b>	Urbano/rural	15 a 25 m				<b>España</b>	Urbano/rural	Mínimo 40 m			
<b>Perú</b>	Urbano/rural	Mínimo 30 m				<b>Perú</b>	Urbano/rural	Mínimo 40 m			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Radio de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 1, el radio de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información y de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas.

**Acceso 1 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 2 Radio de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el radio de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información, y excepción de la normativa española y argentina al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indica las mismas para radios de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Radio de salida:** Al realizar el análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España, Estados Unidos y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos y de la normativa argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 3 Radio de entrada:** El análisis comparativo para el radio de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa peruana y americana a excepción de la normativa colombiana al carecer de información, y a excepción de la normativa argentina y española al tener la medida de radio de entrada en campo mayor a lo que indican dichas normas para carril doble.

**Acceso 3 Radio de salida:** Al analizar de manera comparativa el radio de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al no presentar datos y de la normativa

argentina al tener el dato de radio de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 4 Radio de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el radio de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de información y a excepción de la normativa americana, argentina y española al presentar un valor de radio de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dichas normativas.

**Acceso 4 Radio de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el radio de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Argentina, Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa colombiana al carecer de datos.

### 3.8.3.5. Ángulo de entrada y salida

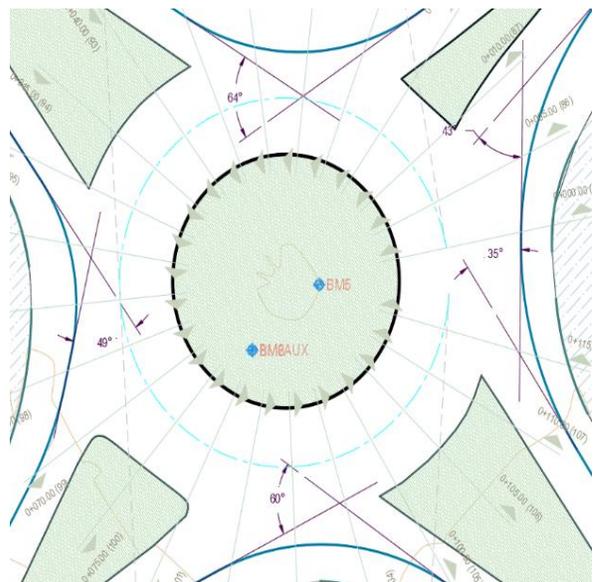
Los ángulos de entrada y salida son los siguientes:

Tabla 34 Ángulos de entrada y salida

Acceso	Ángulo de entrada	Ángulo de salida
1	49°	64°
2	64°	43°
3	35°	60°
4	60°	49°

Fuente: Elaboración propia

Figura 56 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Ángulos de entrada para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
<b>Argentina</b>	Urbano/rural	30°			
<b>Colombia</b>	Urbano/rural	20° a 60°			
<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	Mínimo 20°			
<b>España</b>	Urbano/rural	20° a 60°			
<b>Perú</b>	Urbano/rural	60°			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Ángulos de salida para rotondas

País	Tipo	Un carril		Doble carril	
		Min	Max	Min	Max
<b>Argentina</b>	Urbano/rural	-			
<b>Colombia</b>	Urbano/rural	-			
<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	Mínimo 20°			
<b>España</b>	Urbano/rural	20° a 60°			
<b>Perú</b>	Urbano/rural	30°			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Ángulo de entrada:** Al realizar el análisis comparativo en el acceso 1, el ángulo de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Colombia, Estados Unidos y España a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de entrada por debajo de los 60° que sugiere dicha norma y a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ángulo de entrada en campo mayor a los 30° que sugiere dicha norma.

**Acceso 1 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido no corresponde con lo que sugieren las normativas de Perú, Estados Unidos y España a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos.

**Acceso 2 Ángulo de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el ángulo de entrada no está cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Argentina, Colombia, Estados Unidos, España y Perú para ángulos de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Ángulo de salida:** Mediante un análisis comparativo del radio de salida medido se puede afirmar que corresponde con lo que sugieren las normativas de España y Estados Unidos a excepción de la normativa colombiana y argentina al carecer de datos y de la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

**Acceso 3 Ángulo de entrada:** El análisis comparativo para el ángulo de entrada del acceso 3 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa colombiana, española y americana a excepción de la normativa peruana al tener el valor de ángulo de entrada medido por debajo de los 60° que sugiere dicha norma, y a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ángulo de entrada en campo mayor a los 30° que indica dicha norma para carril doble.

**Acceso 3 Ángulo de salida:** Al analizar de manera comparativa el radio de salida medido el mismo corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España, a excepción de la normativa colombiana y argentina al no presentar datos y de la normativa peruana al tener el dato de ángulo de salida obtenido por encima del máximo que establece dicha norma.

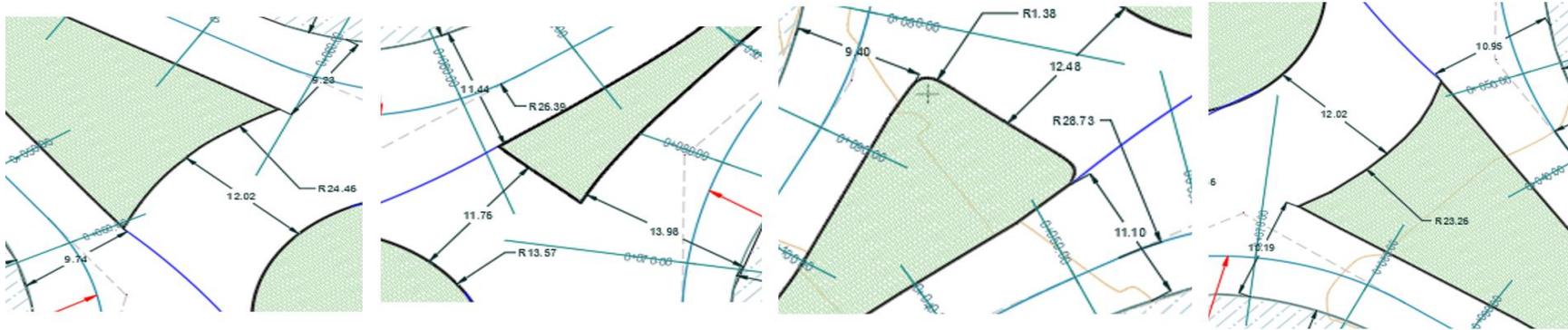
**Acceso 4 Ángulo de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 4, el ángulo de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia, Estados Unidos, España y Perú a excepción de la normativa argentina al presentar un valor de ángulo de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 4 Ángulo de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ángulo de salida medido corresponde con lo que sugieren las normativas de Estados Unidos y España, a excepción de la normativa argentina y colombiana al carecer de datos y a excepción de la normativa peruana al presentar una medida de ángulo de salida por encima de los 30°.

#### **3.8.3.6. Ancho de entrada y salida**

Los anchos de entrada y salida son:

Figura 57 Anchos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

	<b>Acceso 1</b>	<b>Acceso 2</b>	<b>Acceso 4</b>	<b>Acceso 3</b>
<b>Ancho de entrada</b>	9.74	11.44	11.10	10.95
<b>Ancho de salida</b>	9.23	13.96	9.40	10.19

Tabla 37 Anchos de entrada y salida para rotondas

<b>Entrada</b>		<b>Un carril</b>		<b>Doble carril</b>		<b>Salida</b>		<b>Un carril</b>		<b>Doble carril</b>	
<b>País</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min (m)</b>	<b>Max (m)</b>	<b>Min (m)</b>	<b>Max (m)</b>	<b>País</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min (m)</b>	<b>Max (m)</b>	<b>Min (m)</b>	<b>Max (m)</b>
<b>Argentina</b>	Urbano/rural	Menor distancia entre cordones en el punto de ceda el paso				<b>Argentina</b>	Urbano/rural	5	8	9	
<b>Colombia</b>	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m				<b>Colombia</b>	Urbano/rural	Mínimo 4,5 m			
<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1	<b>Estados Unidos</b>	Urbano/rural	4,2	6,5	7,3	9,1
<b>España</b>	Urbano/rural	Mínimo 4 m				<b>España</b>	Urbano/rural	5	9		
<b>Perú</b>	Urbano/rural	-				<b>Perú</b>	Urbano/rural	-			

Fuente: Elaboración propia

**Acceso 1 Ancho de entrada:** Mediante un análisis comparativo en el acceso 1, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere las normativas de Argentina, Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información y a excepción de la normativa americana al presentar un valor medido de ancho de entrada por encima del máximo de dicha norma.

**Acceso 1 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener el dato de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 2 Ancho de entrada:** Analizando de manera comparativa el acceso 2, presenta el ancho de entrada cumpliendo con lo que sugiere las normativas de Colombia y España a excepción de la normativa peruana, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al excederse la medida obtenida a la medida máxima para anchos de entrada en rotondas de doble carril.

**Acceso 2 Ancho de salida:** Al realizar el análisis comparativo del ancho de salida medido se puede observar que corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 4 Ancho de entrada:** El análisis comparativo para el ancho de entrada del acceso 4 nos indica que cumple con lo sugerido por la normativa colombiana y española a excepción de la normativa peruana, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a lo que indica dicha norma para carril doble.

**Acceso 4 Ancho de salida:** Al analizar de manera comparativa el ancho de salida medido el mismo corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia a excepción

de la normativa peruana al no presentar datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

**Acceso 3 Ancho de entrada:** Mediante el análisis comparativo en el acceso 3, el ancho de entrada cumple con lo que sugiere la normativa de Colombia y España a excepción de la normativa peruana al carecer de información, a excepción de la normativa argentina al tener la medida de ancho de entrada en campo mayor a la del acceso 1 según sugiere dicha normativa y a excepción de la normativa americana al presentar un valor de ancho de entrada para doble carril por encima de lo sugerido por dicha normativa.

**Acceso 3 Ancho de salida:** Realizando un análisis comparativo podemos observar que el ancho de salida medido corresponde con lo que sugiere la normativa de Colombia, a excepción de la normativa peruana al carecer de datos y a excepción de la normativa argentina, americana y española al tener la medida de ancho de salida obtenido por encima del máximo que establecen dichas normas.

#### **3.8.3.7. Visibilidad**

Se observo en campo que la visibilidad de la rotonda del Avión cumple con lo que establecen las normativas de Argentina, Colombia, España, Estados Unidos y Perú ya que al analizar la aproximación a esta intersección giratoria desde la perspectiva del conductor se pudo garantizar una zona despejada de obstáculos.

#### **DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA PARAR**

La normativa americana recomienda la siguiente ecuación para determinar la distancia de visibilidad para parar.

$$d = (0.278 * t * V) + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Donde:

d = Distancia de visibilidad para parar (m)

t = Tiempo de reacción para frenar asume 2.5 seg.

V = Velocidad de diseño 25 km/h

a = Desaceleración del conductor asume 3.4 m/s<sup>2</sup> .

$$d = (0.278 * 2.5 * 25) + 0.039 \frac{25^2}{3.4} = 24.5 \text{ m}$$

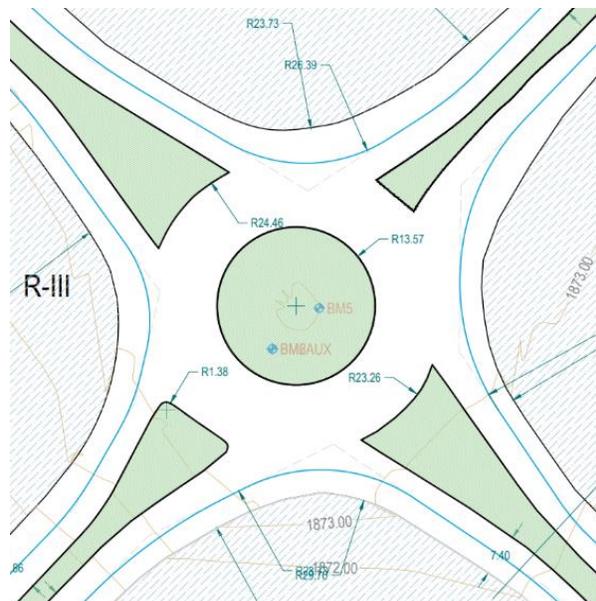
La distancia de visibilidad para parar calculada es de 24.5 metros.

### 3.8.3.8. Islas divisorias

De las tres rotondas en estudio, esta es la única con presencia de islas divisorias en todos sus accesos, las funciones que cumplen son de separar el flujo de tráfico que entra con el que sale de la intersección rotatoria, también cumplen la función de desviar y lentificar el tránsito entrante, y permitir a los peatones cruzar el camino en dos etapas.

La rotonda del avión cuenta con islas divisorias de gran tamaño, analizando de manera comparativa las normativas citadas para este estudio recomiendan islas divisorias más grandes para tener una mayor separación de corrientes de tránsito y un mayor control en las velocidades.

Figura 58 Islas divisorias rotonda del Avión

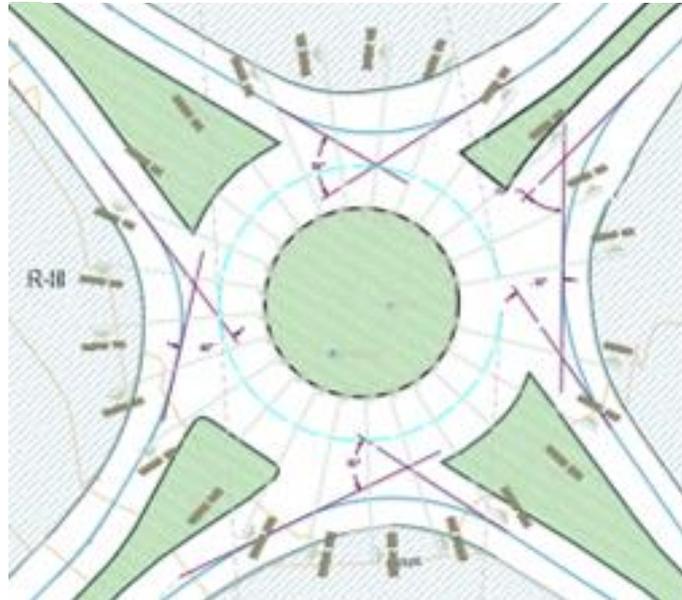


Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.9. Peralte

La norma aconseja tomar 2 a 3% hacia el exterior. Para el proyecto se adoptó el 2%

Figura 59 Sección típica de calzada circulatoria

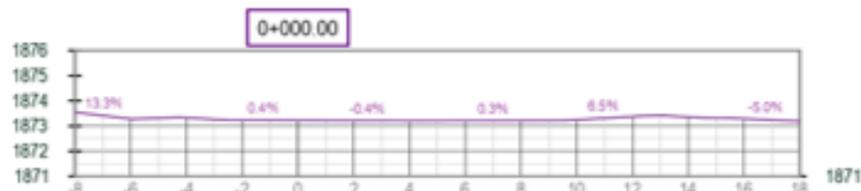


Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis comparativo se pudo observar que algunas de las secciones de la rotonda en estudio están a 2.00% hacia afuera de la isla central como indican las normativas de Argentina, Colombia y Estados Unidos, como también hay secciones que están por encima del 2.00% algunas secciones más que otras.

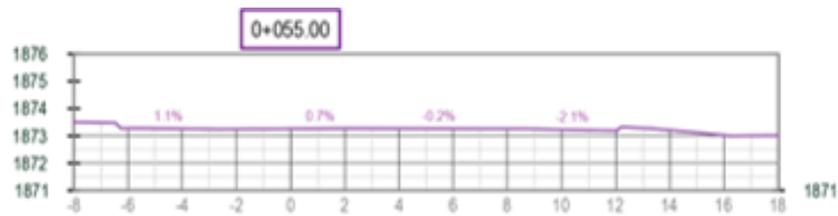
A continuación, se mostrará algunas secciones de peralte de la calzada circulatoria de la rotonda del Avión, para poder observar a mayor detalle revisar los planos.

Figura 60 Sección 0+000.00



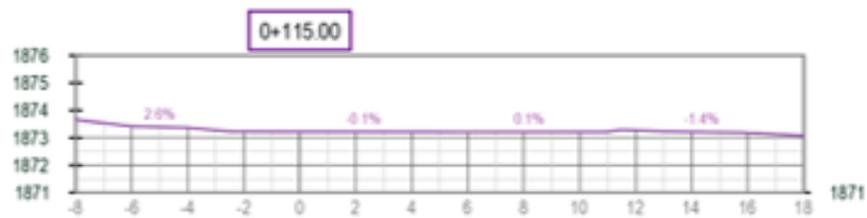
Fuente: Elaboración propia

Figura 61 Sección 0+055.00



Fuente: Elaboración propia

Figura 62 Sección 0+115.00



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.10. Análisis de semaforización y señalización

La rotonda del Avión no cuenta con semáforos.

#### Señales verticales

Se pudo observar que ninguno de los cuatro accesos de la rotonda cuenta con señalización vertical, lo cual generaría dificultad a la circulación de los vehículos.

#### Señales horizontales

Las señales horizontales no se encuentran en condiciones adecuadas, no es visible la línea de parada y flechas direccionales, no existen líneas de paso peatonal, tampoco cuenta con línea de separación de carriles dentro de la rotonda.

## TABLAS DE RESUMEN

Tabla 38 Tabla resumen de volumen vehicular

<b>Volumen Total (veh/h)</b>				
<b>Intersección</b>	<b>Acceso 1</b>	<b>Acceso 2</b>	<b>Acceso 3</b>	<b>Acceso 4</b>
<b>Rotonda Torre Petrolera</b>	833	769	828	791
<b>Rotonda La Hollada</b>	775	261	709	319
<b>Rotonda del Avión</b>	710	248	728	241

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39 Tabla resumen de velocidad de punto

<b>Velocidad Total (km/h)</b>				
<b>Intersección</b>	<b>Acceso 1</b>	<b>Acceso 2</b>	<b>Acceso 3</b>	<b>Acceso 4</b>
<b>Rotonda Torre Petrolera</b>	15,76	16,59	13,43	14,15
<b>Rotonda La Hollada</b>	14,94	17,44	14,83	17,47
<b>Rotonda del Avión</b>	16,54	18,19	17,23	17,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Tabla resumen de semaforización

<b>Semaforización (seg.)</b>				
<b>Rotonda Torre Petrolera</b>				
<b>Acceso</b>	<b>T. rojo</b>	<b>T. amarillo</b>	<b>T. verde</b>	<b>T. ciclo</b>
<b>1</b>	21	3	26	50
<b>2</b>	29	3	18	50
<b>3</b>	21	3	26	50
<b>4</b>	29	3	18	50
<b>Rotonda La Hollada</b>				
<b>Acceso</b>	<b>T. rojo</b>	<b>T. amarillo</b>	<b>T. verde</b>	<b>T. ciclo</b>
<b>1</b>	19	3	20	42
<b>2</b>	21	3	18	42
<b>3</b>	19	3	20	42
<b>4</b>	21	3	18	42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Tabla resumen de medidas geométricas

<b>Medidas geométricas</b>				
<b>Intersección</b>		<b>Rotonda Torre Petrolera</b>	<b>Rotonda La Hollada</b>	<b>Rotonda Del Avión</b>
<b>Elemento</b>				
Diámetro de círculo inscrito (m)		51,68-43,27	35,56	51,37
Diámetro de isla central (m)		24,68-15,37	13,5	27,14
Ancho de calzada circulatoria (m)		13,32-13,97	9,90-12,16	11,75-12,48
Radio de entrada (m)	Acceso 1	62,57	35,96	61,04
	Acceso 2	30,04	59,04	65,18
	Acceso 3	39,99	77,65	74,04
	Acceso 4	27,5	30,67	96,36
Radio de salida (m)	Acceso 1	54,49	84,05	149,78
	Acceso 2	46,02	55,88	102,72
	Acceso 3	89,09	60,62	50,06
	Acceso 4	40,17	66,92	32,34
Ángulo de entrada (°)	Acceso 1	60	9	49
	Acceso 2	41	110	64
	Acceso 3	51	29	35
	Acceso 4	42	43	60
Ángulo de salida (°)	Acceso 1	23	54	64
	Acceso 2	45	45	43
	Acceso 3	21	110	60
	Acceso 4	60	22	49
Ancho de entrada (m)	Acceso 1	8,94	8,91	9,74
	Acceso 2	11,16	7,22	11,44
	Acceso 3	10,53	10,32	10,95
	Acceso 4	12,64	14,07	11,1
Ancho de salida (m)	Acceso 1	9,78	17,72	9,23
	Acceso 2	11,92	6,15	13,96
	Acceso 3	10,49	8,07	10,19
	Acceso 4	13,62	8,28	9,4
Islas divisorias (unidad)		0	1	4
Peralte		Igual o mayor al 2%	Igual o mayor al 2%	Igual o mayor al 2%

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**PROPUESTAS DE SOLUCIÓN**

## CAPÍTULO IV

### PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Luego de realizar el análisis a los parámetros de diseño geométrico en las rotondas en estudio se pudo evidenciar que algunas de sus medidas no se encuentran dentro de lo que sugieren las normativas de Argentina, Colombia, Estados Unidos, España y Perú.

Partiendo por la finalidad de las rotondas la cual es descongestionar el tráfico vehicular se proponen las siguientes propuestas.

#### 4.1. PROPUESTA A CORTO PLAZO

Como propuesta a corto plazo tenemos a la adecuada señalización de los accesos a las rotondas de estudio, las cuales regularan el flujo vehicular de una manera segura y ordenada.

Tabla 42 Señales horizontales y verticales a implementar

<b>Líneas longitudinales</b>	<b>Señales preventivas</b>	<b>Cantidad</b>	
Líneas de separación de carriles.	Rotonda	12	12
<b>Líneas transversales</b>	<b>Señales reglamentarias</b>	<b>Cantidad</b>	
Líneas de parada, ingreso a la rotonda.	Prohibido estacionar antes y después de las rotondas	24	48
Líneas de cruce peatonal tipo cebra, ingreso a la rotonda.	Pare en la línea de parada	12	
	Velocidad máxima, antes de la rotonda	12	
<b>Flechas</b>	<b>Señales informativas</b>	<b>Cantidad</b>	
Flechas direccionales	Estación de servicio	1	2
	Parada de autos	1	
	<b>Total, señales</b>	<b>62</b>	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1. Ubicación de las señales a implementar

En anexos se adjuntan los planos en los cuales se muestra la solución que se propone en cuanto a la señalización correspondiente, cabe recalcar que las señales como líneas de carril, líneas de eje, pasos peatonales están normados según indica la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC. Las flechas de viraje que se colocan en el plano ya mencionado, están de acuerdo a las dimensiones que nos proporciona la Secretaría de Movilidad Urbana de la ciudad de Tarija.

Tabla 43 Presupuesto general propuesta a corto plazo

Nº	Descripción	Unid.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Demarcación del pavimento fajas amarillas y blancas	m	241,2	11	2.653,20
2	Pintado de símbolos en pavimento horizontal	m2	255,48	33	8.430,84
3	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	Pza	12	966,19	11.594,28
4	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	Pza	48	1276,50	61.272,00
5	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	Pza	2	1190,30	2.380,60
	<b>Total presupuesto:</b>				<b>86.330,92</b>
Son: Ochenta y Seis Mil Trescientos Treinta con 92/100 Bolivianos					

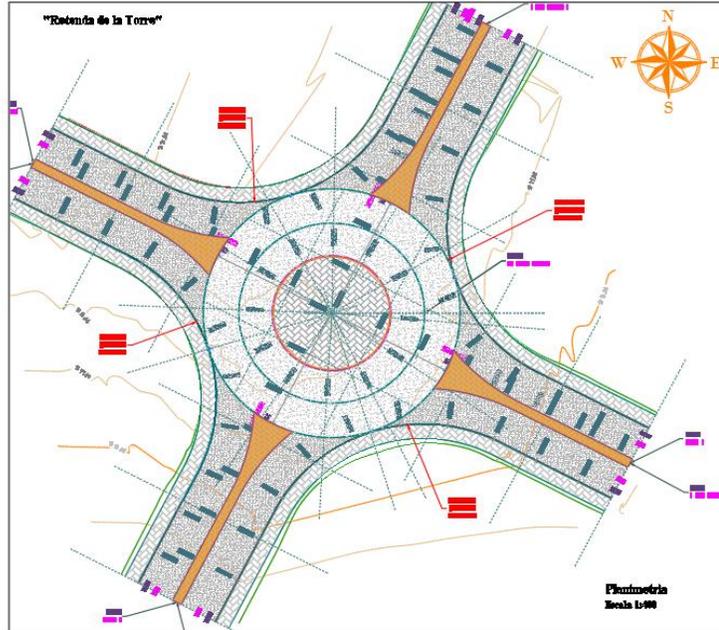
Fuente: Elaboración propia

## 4.2 PROPUESTA A LARGO PLAZO

### 4.2.1. Rotonda Torre Petrolera

Se propone que las líneas de los ejes de aproximación pasen por su centro. Esto permitirá que los vehículos mantengan velocidades bajas a través de las entradas y salidas.

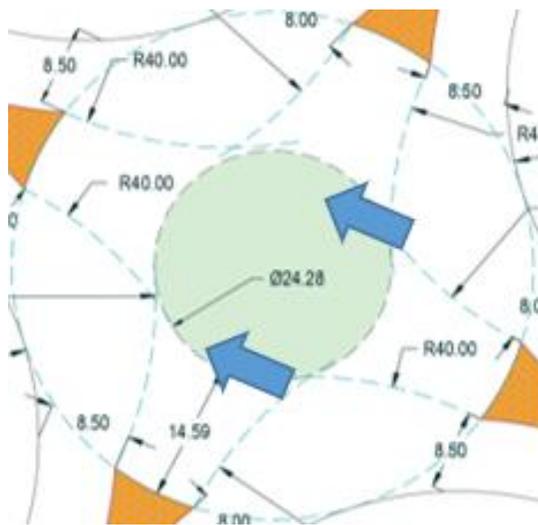
Figura 63 Alineamiento rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

Se propone una isla central de forma circular de diámetro 24.28 m y una calzada circulatoria constante de 14.59 metros, ambas nos darían un diámetro de círculo inscrito nuevo de 53.46 m el cual pertenece al rango de rotondas multicarril de la normativa americana.

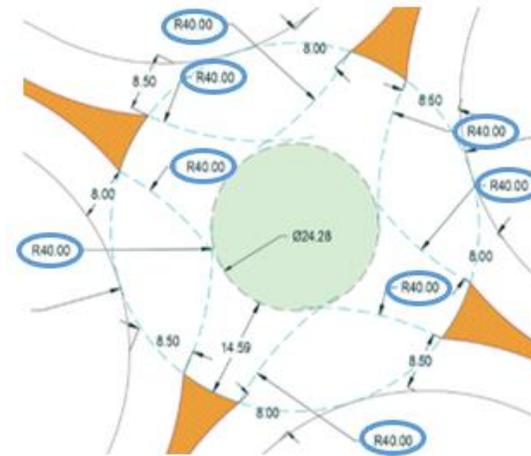
Figura 64 Isla central - ancho de calzada – diámetro de círculo inscrito



Fuente: Elaboración propia

Se propone que los radios de entrada se sitúen entre 20 y 50 metros y los radios de salida tengan los 40 metros mínimos de radio de salida como sugiere la normativa española, con la finalidad de asegurar la reducción de velocidad en la entrada a la rotonda.

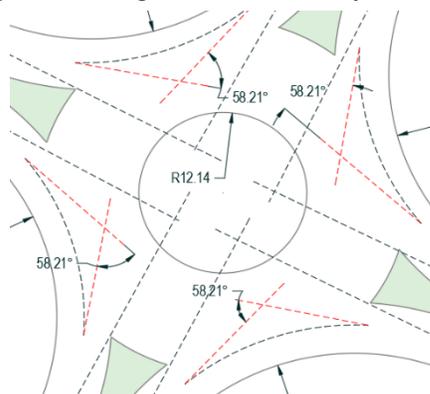
Figura 65 Radios de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone ángulos de entrada y salida de 20 a 60 grados según normativa española con la finalidad de fomentar la reducción de velocidad y evitar accidentes de tránsito.

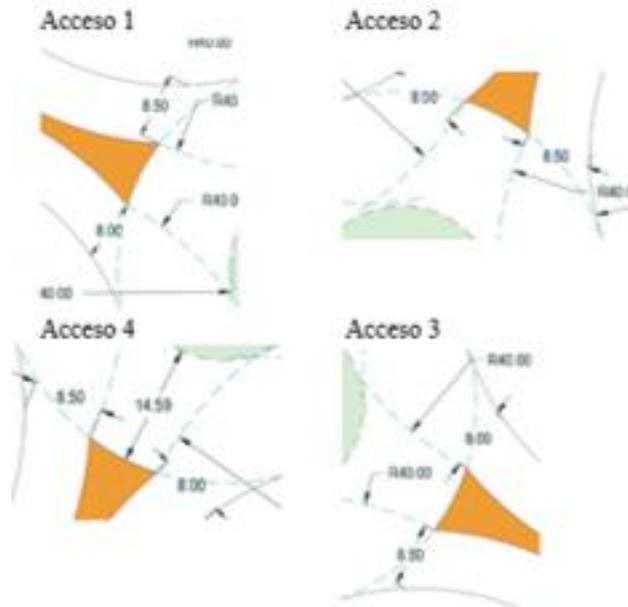
Figura 66 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone que las entradas de la rotonda tengan anchos de entrada de 7.30 a 9.10 metros al ser de dos carriles según la normativa americana.

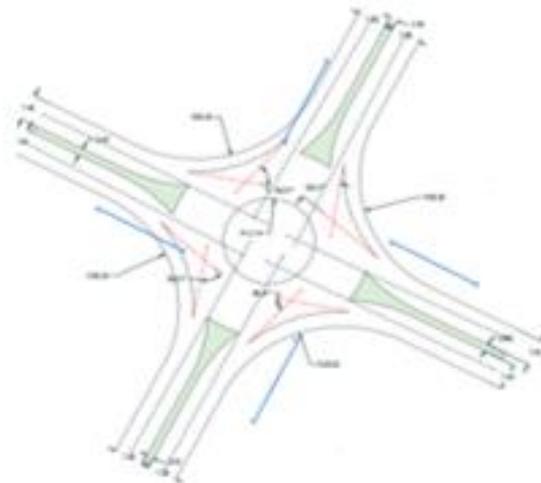
Figura 67 Anchos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone una distancia de visibilidad de detención de 25 metros, siendo el mismo, un valor redondeado respecto de los obtenidos en los cálculos.

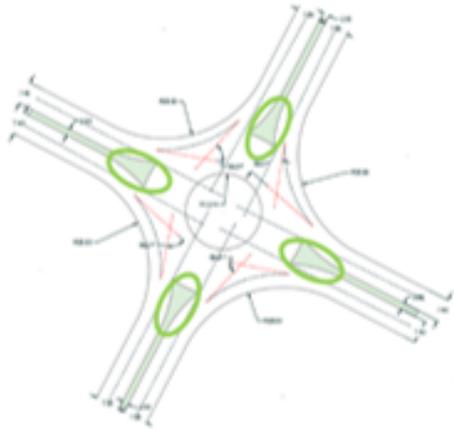
Figura 68 Distancia de visibilidad de detención



Fuente: Elaboración propia

Se propone que la rotonda cuente con islas deflectoras que cumplan con la función de separar el flujo de tráfico de ingreso como el de salida y que las mismas no presenten un tamaño tan grande, como lo recomienda la normativa, puesto de que esta intersección rotatoria presenta semáforos y hace que los vehículos no dependan de la regla de prioridad en el anillo sino más bien que dependan del semáforo. También se propone reducir el ancho de las jardineras

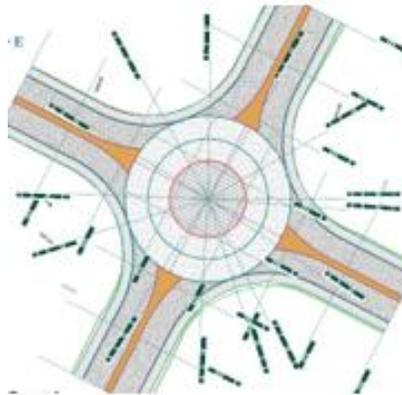
Figura 69 Islas deflectoras



Fuente: Elaboración propia

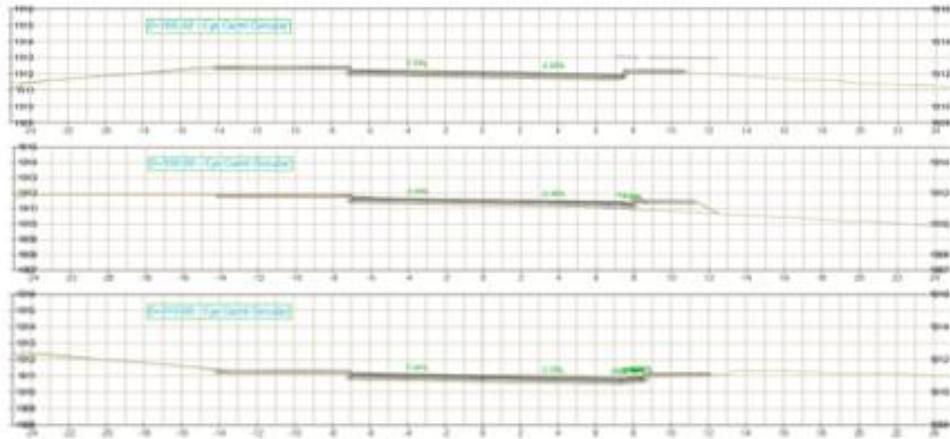
Se propone un peralte de 2% hacia el exterior alrededor de la calzada circulatoria

Figura 70 Sección de calzada circulatoria



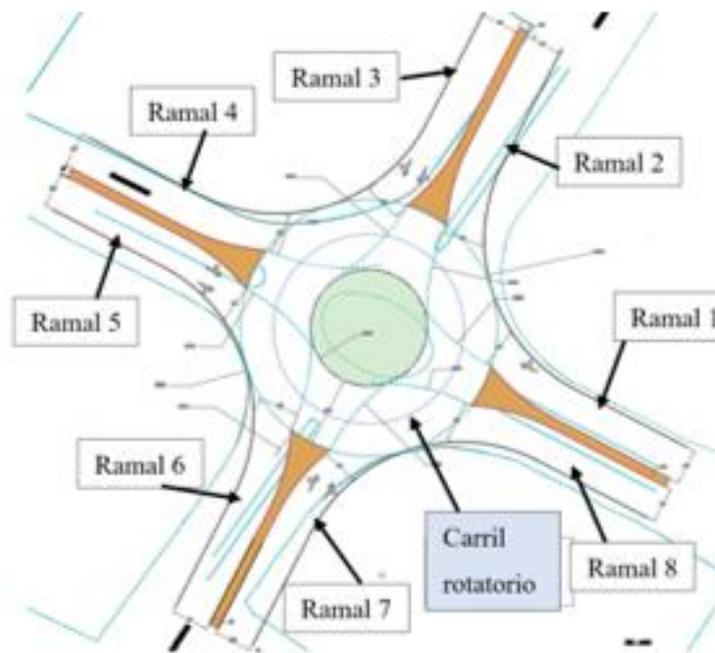
Fuente: Elaboración propia

Figura 71 Secciones transversales de carril circular



Fuente: Elaboración propia

Figura 72 Partes de la rotonda Torre Petrolera



Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 Presupuesto general de la intersección Rotonda Torre Petrolera

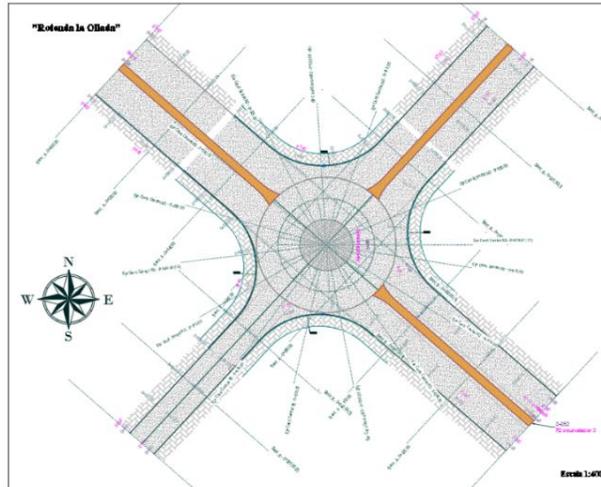
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	925,27	40	37.010,80
2	Transporte y botado de escombros	m <sup>3</sup>	1018,21	52	52.946,92
3	Transporte de material relleno	m <sup>3</sup>	110,98	57	6.325,86
4	Conformación de terraplén relleno y compactado	m <sup>3</sup>	110,98	77	8.545,46
5	Transporte de material capa base	m <sup>3</sup>	421,50	78	32.877,00
6	Colocación capa base	m <sup>3</sup>	410,45	151	61.977,95
7	Pavimento rígido	m <sup>3</sup>	584,08	289	168.799,12
8	Cordón de piedra	m	558,50	239	133.481,50
9	Aceras de cemento	m <sup>3</sup>	89,58	305	27.321,90
10	Demarcación del pavimento fajas amarillas y blancas	m	85,20	11	937,20
11	Pintado de símbolos en pavimentó horizontal	m <sup>2</sup>	91,51	33	3.019,83
	<b>Total, presupuesto:</b>				<b>533.243,54</b>
Son: Quinientos Treinta y Tres Mil Doscientos Cuarenta y Tres con 54/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 Rotonda La Hollada

Se propone una ubicación óptima de la rotonda, las líneas de los ejes de aproximación pasaran por su centro. Esto permitirá que los vehículos mantengan velocidades bajas en sus entradas y salidas.

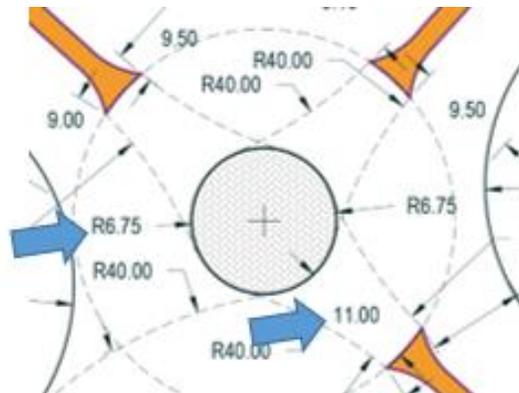
Figura 73 Alineamientos rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

Se propone una calzada circulatoria constante de 11 metros y mantener la isla central original de 13.5 metros de diámetro, ambas nos darían un diámetro de círculo inscrito nuevo de 35.5 m el cual no pertenece al rango de rotondas multicarril de la normativa, sin embargo, se considera como adecuada la isla central existente, como bien menciona la normativa: a menor diámetro de isla central menor velocidad de acceso y menores posibilidades de accidentes.

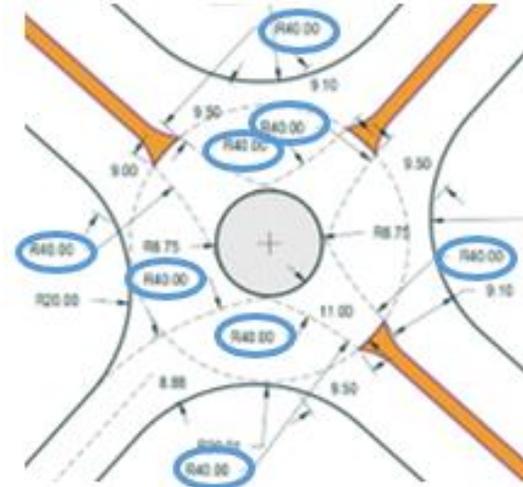
Figura 74 Isla central - ancho de calzada – diámetro de círculo inscrito



Fuente: Elaboración propia

Se propone radios de entrada que se sitúan entre 20 y 50 metros y los radios de salida a 40 metros mínimo del radio de salida como sugiere la normativa española, con la finalidad de asegurar la reducción de velocidad en la entrada a la rotonda.

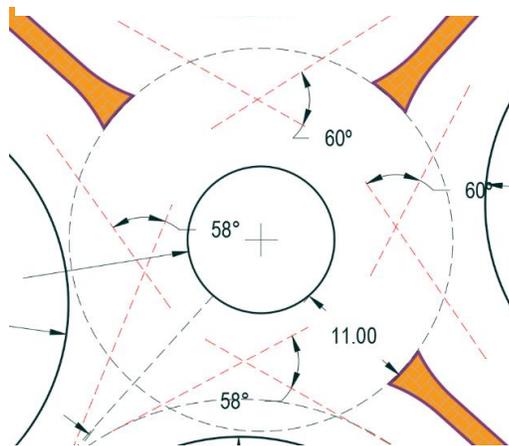
Figura 75 Radios de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone ángulos de entrada y salida de 20 a 60 grados según normativa española con la finalidad de fomentar la reducción de velocidad y evitar accidentes de tránsito.

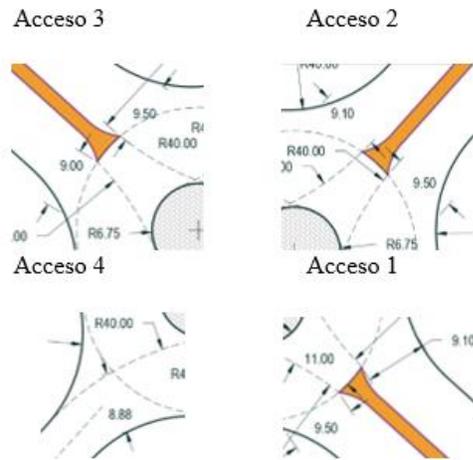
Figura 76 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone que las entradas de la rotonda tengan anchos de entrada de 7.30 a 9.10 metros, al ser de dos carriles según la normativa americana.

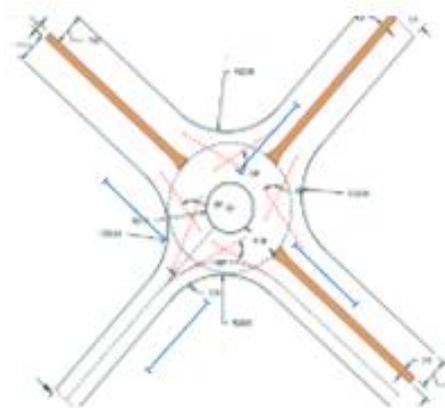
Figura 77 Anchos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone una distancia de visibilidad de detención de 25 metros, siendo el mismo un valor redondeado de los obtenidos en los cálculos.

Figura 78 Distancia de visibilidad para parar

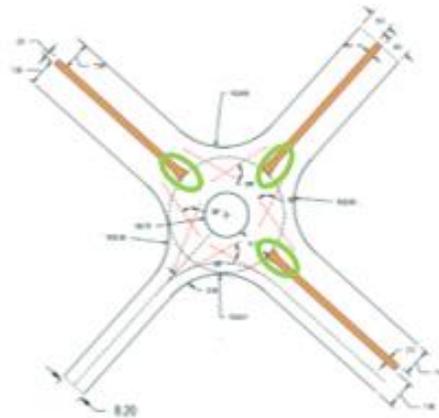


Fuente: Elaboración propia

Se propone que la rotonda cuente con islas deflectoras que cumplan con la función de separar el flujo de tráfico que entra con el que sale y que las mismas no presenten un tamaño tan grande como recomendaría la normativa a razón de que esta intersección rotatoria presenta semáforos, lo cual hace que los vehículos no dependan de la regla de

prioridad en el anillo sino más bien que dependan del semáforo, a excepción del acceso 4 de la calle Colón (Jardín de Niños José Manuel Ávila) la misma que no contará con isla deflectora, al ser carril de entrada mas no de salida. También se reduce el ancho de las jardineras

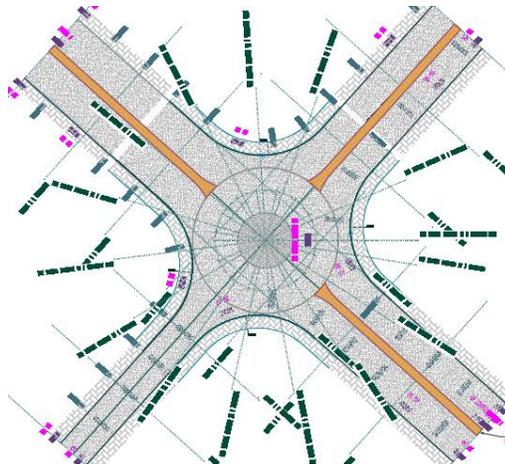
Figura 79 Islas deflectoras



Fuente: Elaboración propia

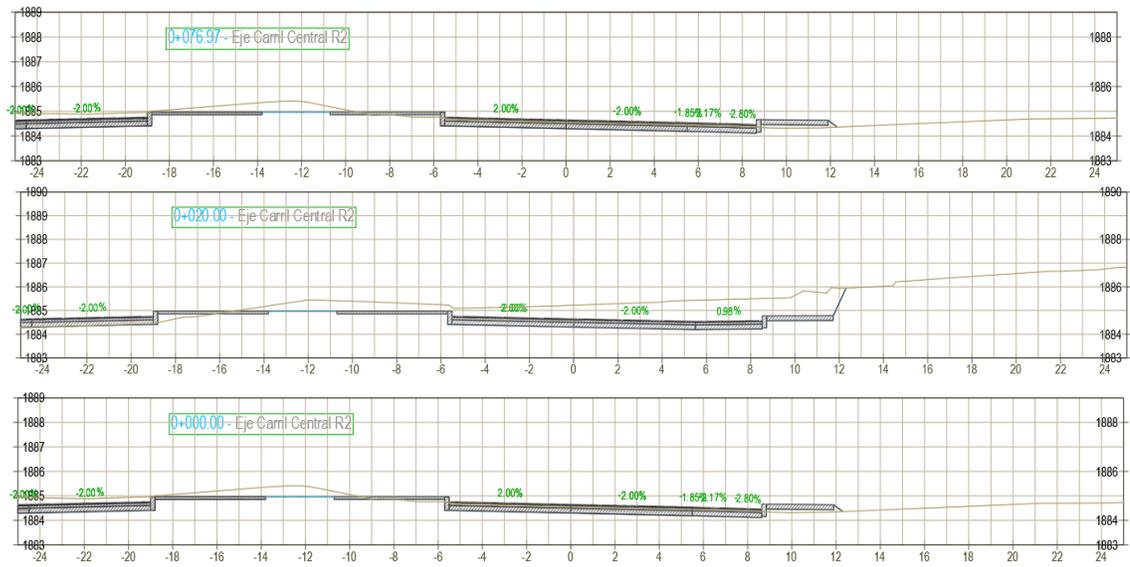
Se propone un peralte de 2% hacia el exterior, alrededor de la calzada circulatoria

Figura 80 Sección de calzada circulatoria



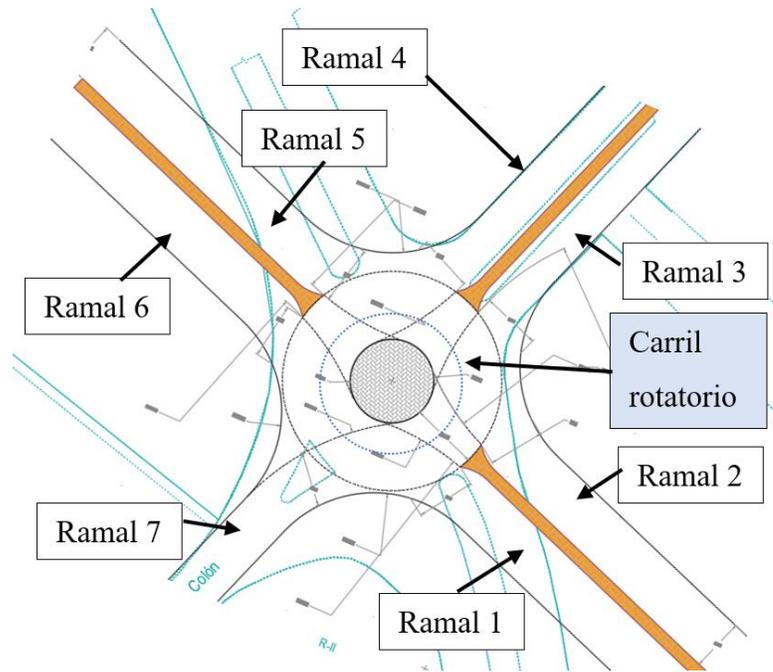
Fuente: Elaboración propia

Figura 81 Secciones transversales de carril circular



Fuente: Elaboración propia

Figura 82 Partes de la rotonda La Hollada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 45 Presupuesto general de la intersección Rotonda La Hollada

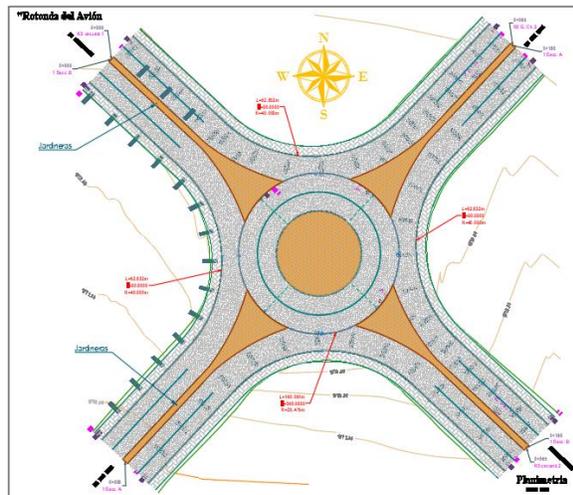
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	1125,56	40	45.022,40
2	Transporte y botado de escombros	m <sup>3</sup>	1127,12	52	58.610,24
3	Transporte de material relleno	m <sup>3</sup>	276,49	57	15.759,93
4	Conformación de terraplén relleno y compactado	m <sup>3</sup>	276,49	77	21.289,73
5	Transporte de material capa base	m <sup>3</sup>	290,50	78	22.659,00
6	Colocación capa base	m <sup>3</sup>	289,64	151	43.735,64
7	Pavimento rígido	m <sup>3</sup>	482,73	289	139.508,97
8	Cordón de piedra	m	584,15	239	139.611,85
9	Aceras de cemento	m <sup>3</sup>	81,82	305	24.955,10
10	Demarcación del pavimento fajas amarillas y blancas	m	74,10	11	815,10
11	Pintado de símbolos en pavimento horizontal	m <sup>2</sup>	76,94	33	2.539,02
	<b>Total, presupuesto:</b>				<b>514.506,98</b>
Son: Quinientos Catorce Mil Quinientos Seis con 98/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Rotonda del Avión

Se propone que las líneas de los ejes de aproximación pasen por su centro. Esto permitirá que los vehículos mantengan velocidades bajas en sus entradas y salidas.

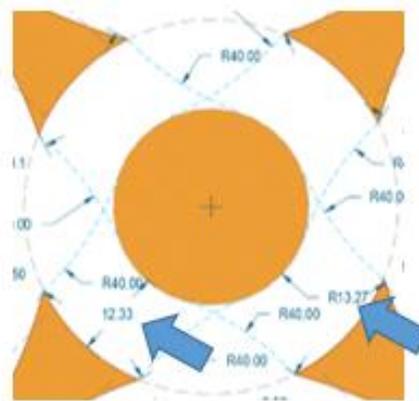
Figura 83 Alineamientos rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

Se propone una calzada circulatoria constante de 12.33 metros y una isla central de 26.54 metros de diámetro, ambas nos darán un diámetro de círculo inscrito nuevo de 51.2 m que pertenece al rango de rotondas multicarril de la normativa americana.

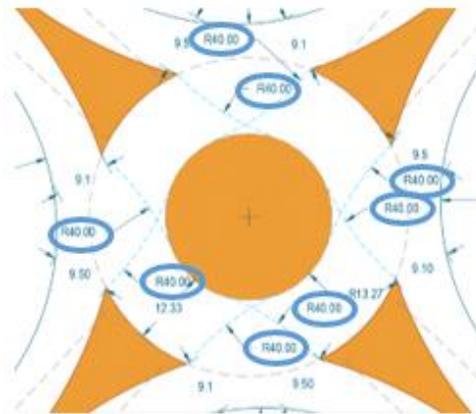
Figura 84 Isla central - ancho de calzada – diámetro de círculo



Fuente: Elaboración propia

Se propone radios de entrada menores que los radios de salida como sugiere la normativa americana. Los radios de entrada se sitúan entre 20 y 50 metros y los radios de salida superan los 40 metros como sugiere la normativa española, con la finalidad de asegurar la reducción de velocidad en la entrada a la rotonda.

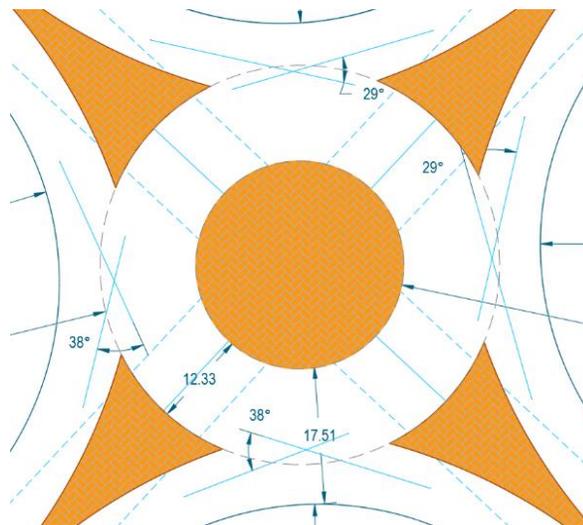
Figura 85 Radios de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone ángulos de entrada y salida de 20 a 60 grados según normativa española con la finalidad de fomentar la reducción de velocidad y evitar accidentes de tránsito.

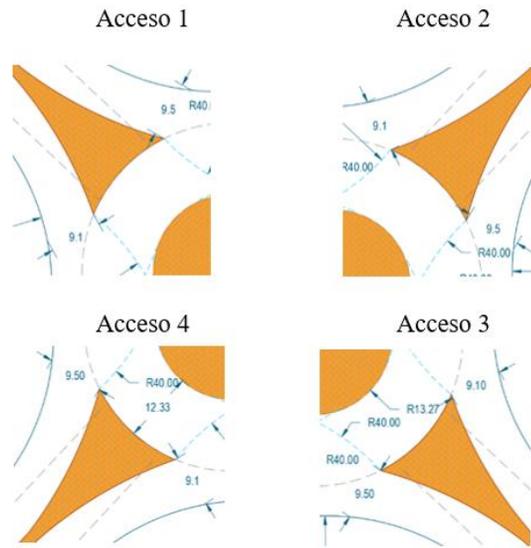
Figura 86 Ángulos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone que las entradas de la rotonda tengan anchos de entrada de 7.30 a 9.10 metros al ser de dos carriles según la normativa americana.

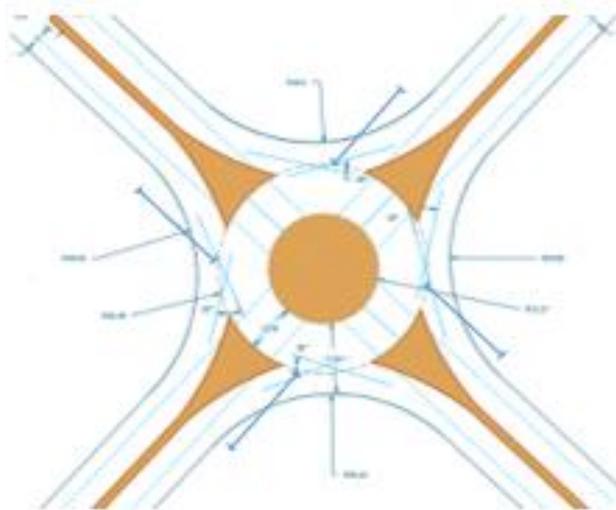
Figura 87 Anchos de entrada y salida



Fuente: Elaboración propia

Se propone una distancia de visibilidad de detención de 25 metros siendo el mismo, un valor redondeado de los obtenidos en los cálculos.

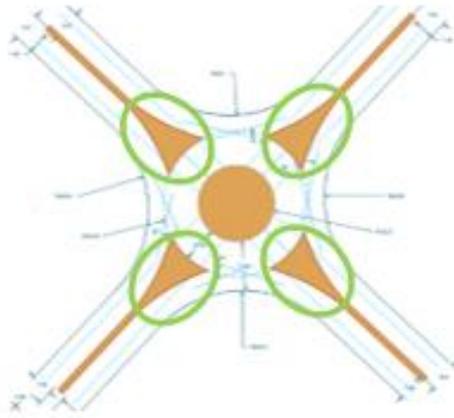
Figura 88 Distancia de visibilidad de detención



Fuente: Elaboración propia

Se propone que la rotonda cuente con islas deflectoras que cumplan con la función de separar el flujo de tráfico que entra como el que sale, en este caso se decidió mantener un tamaño mayor al de las otras intersecciones rotatorias, de esta forma regular a los vehículos que entran a la intersección, debida a que esta intersección al no contar con semáforos dependerá de la regla de prioridad (los vehículos que circulan en la rotonda tienen prioridad que los vehículos que ingresan en ella). También se redujo el ancho de las jardineras

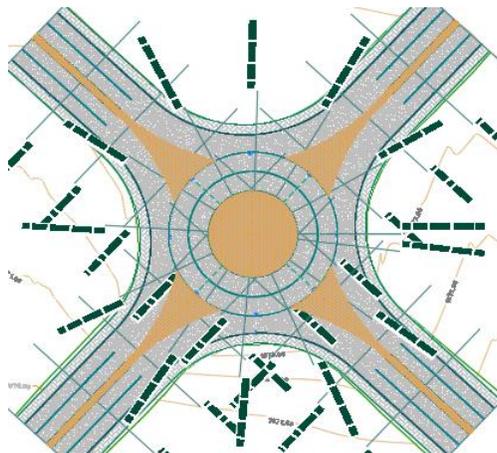
Figura 89 Islas deflectoras



Fuente: Elaboración propia

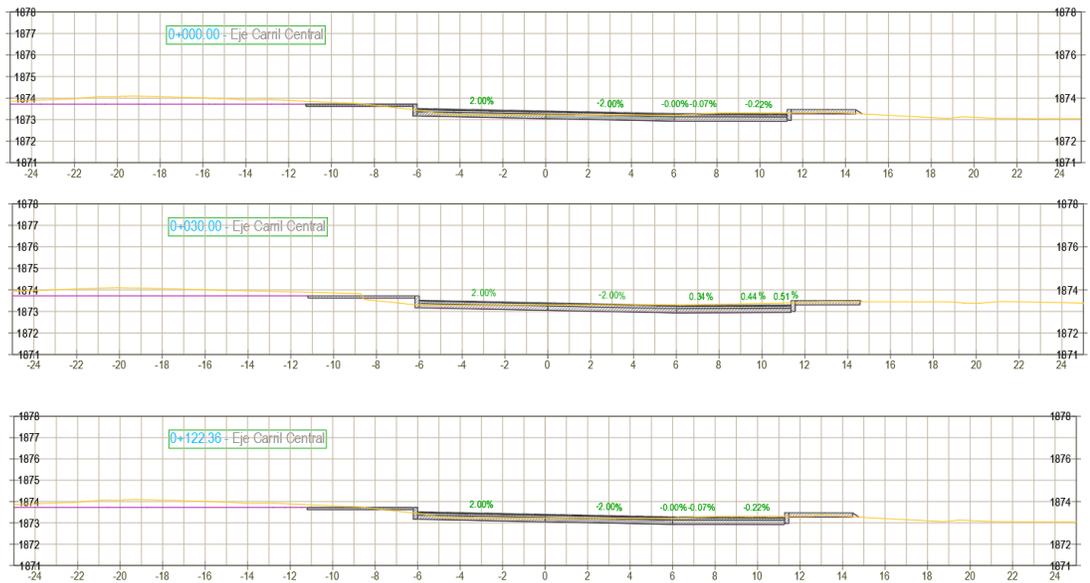
Se propone un peralte de 2% hacia afuera de la isla central alrededor de la calzada circulatoria

Figura 90 Sección de calzada circulatoria



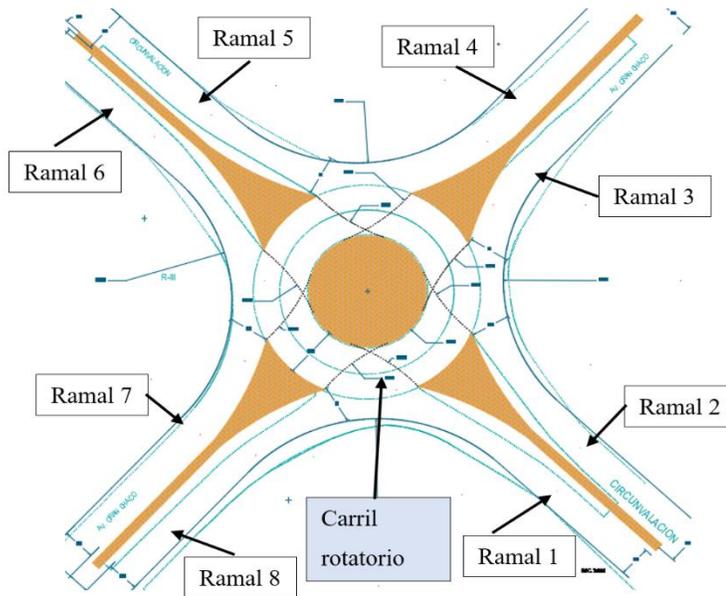
Fuente: Elaboración propia

Figura 92 Secciones transversales de carril circular



Fuente: Elaboración propia

Figura 91 Partes de la rotonda del Avión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 46 Presupuesto general de la intersección Rotonda del Avión

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	97,06	40	3.882,40
2	Transporte y botado de escombros	m <sup>3</sup>	97,88	52	5.089,76
3	Transporte de material relleno	m <sup>3</sup>	16,34	57	931,38
4	Conformación de terraplén relleno y compactado	m <sup>3</sup>	16,34	77	1.258,18
5	Transporte de material capa base	m <sup>3</sup>	143,65	78	11.204,70
6	Colocación capa base	m <sup>3</sup>	142,09	151	21.455,59
7	Pavimento rígido	m <sup>3</sup>	125,37	289	36.231,93
8	Cordón de piedra	m	478,56	239	114.375,84
9	Demarcación del pavimento fajas amarillas y blancas	m	81,90	11	900,90
10	Pintado de símbolos en pavimento horizontal	m <sup>2</sup>	87,03	33	2.871,99
<b>Total, presupuesto:</b>					<b>198.202,67</b>
Son: Ciento Noventa y Ocho Mil Doscientos Dos con 67/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO Y SOCIO AMBIENTAL

Tabla 47 Análisis técnico, económico y socio ambiental

Aspecto	Desarrollo
Técnico	Las propuestas presentadas a largo plazo son las mejores en el ámbito técnico ya que se ha tomado en cuenta a las normativas de cinco países diferentes al momento de analizar y seleccionar los elementos que conforman la geometría recomendada en el presente proyecto para cada intersección rotatoria en estudio.
Económico	Las propuestas a corto plazo son las más económicas a diferencia de las propuestas a largo plazo ya que al presentar el valor de 84.883,72 bolivianos contempla a las tres rotondas con el pintado y colocado de señalización.
Socio ambiental	En el ámbito social y ambiental las propuestas a corto plazo son las que generaran menores inconvenientes a la población durante el proceso de desarrollo de las mismas así mismo también provocaran menor contaminación y un nulo retiro de árboles en jardineras y zonas cercanas de las intersecciones rotatorias en estudio.

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Los relevamientos geométricos permitieron definir el punto de partida para la evaluación de los parámetros de diseño geométrico en las rotondas de estudio.
- Los volúmenes de tráfico determinados en el tramo de estudio están por debajo de lo que recomienda el departamento de transportes del estado de Nueva York (1000 veh/h) para accesos de dos carriles a las intersecciones rotatorias. Las velocidades de punto (km/h) en las intersecciones seleccionadas en el tramo de estudio permiten establecer que las mismas son lentas, menores a la velocidad mínima de 25 km/h para mini rotondas según AASHTO y estarían contribuyendo a la congestión del tráfico en el área de estudio.
- El análisis de los elementos geométricos, permite identificar que se debería modificar los diámetros de círculo inscrito y de isla central circulares, anchos de calzada circulatoria constantes, radios de entrada y salida de 40 metros, ángulos de entrada y salida de 20 a 60 grados, anchos de entrada de 7.30 a 9.10 metros y que sean menores a los anchos de salida y visibilidad de 25 metros.
- El análisis comparativo a los parámetros de diseño geométrico permitió encontrar que tanto la rotonda Torre Petrolera y la rotonda La Hollada no se ajustan a lo planteado por las normas citadas. Mientras que para el caso de la rotonda del Avión se ajusta parcialmente. Todo esto de acuerdo a la norma de referencia Roundabouts An Informational Guide.

- Al realizar las propuestas de solución a corto y largo plazo se determinó que la propuesta de solución a corto plazo presenta un valor de 86.330,92 bolivianos, que contempla a las tres rotondas lo cual lo hace eficiente en relación a la propuesta a largo plazo. Sin embargo, de manera técnica y a consideración del proyectista la propuesta de solución a largo plazo es la mejor ya que la misma conlleva a un cumplimiento de las normativas internacionales citadas para el diseño geométrico de rotondas.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En la realización de los aforos manuales ya sean de volúmenes y tiempos se debe tener atención y seriedad, ya que un mal relevamiento de información podría perjudicar de manera significativa en los resultados.
- Personas ajenas que estén ayudando en los aforos manuales, toma de distancias, y tiempos, deben estar previamente capacitadas para lograr el objetivo.
- Se recomienda hacer uso de RTK para tener mejor rendimiento en el levantamiento topográfico.
- Se recomienda que policías de tránsito puedan regular el orden y hacer cumplir las normas de tránsito en horas pico.
- Se recomienda que se exijan el cumplimiento de los parámetros geométricos en los diseños de rotondas, de tal forma que se comiencen a generar intersecciones con características homogéneas, las cuales serán de fácil percepción y aceptación por los usuarios