



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA NORMA DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE ROTONDAS APLICADA EN ROTONDA SULLANA

Melina de los Milagros García-Seminario

Piura, septiembre de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

García, M. (2018). *Propuesta de modificación de la norma de diseño geométrico de rotondas aplicada en rotonda Sullana* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA NORMA DE DISEÑO
GEOMÉTRICO DE ROTONDAS APLICADA EN ROTONDA SULLANA”**

**Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Civil**

Melina de los Milagros García Seminario.

**Asesor: Mgtr. Ing. Mariana Ferrer Sancarranco.
Co Asesor: Mgtr. Ing. Jorge Alberto Timaná Rojas.**

Piura, septiembre de 2018

*A Dios, por cuidarme siempre, a mis padres y abuelos
porque son mis modelos que seguir,
a mi asesora de tesis y a mi co asesor por su apoyo y orientación
y a todas las personas que hoy comparten
la felicidad de este logro.*

Prólogo

La seguridad vial se ha implementado recientemente en los diseños de proyectos de infraestructura vial en Perú.

Para desarrollar un diseño geométrico de rotondas seguro, que no sólo cumpla con la normativa peruana; se plantea una propuesta de modificación de la Norma de Diseño Geométrico de Rotondas del Manual de Diseño Geométrico DG 2014, en base a los parámetros de diseño geométrico de la Norma Estadounidense, Norma Australiana y Norma Española.

Esta propuesta se ha aplicado a un diseño existente de la ciudad de Sullana, demostrando que mientras más parámetros de diseño geométrico desarrollemos, más seguros estaremos que los vehículos irán a una velocidad adecuada y así se evitarán las colisiones. Este desarrollo, empezó en UDEP en el año 2012, cuando se participó de la revisión del anteproyecto de la Autopista del Sol y sus obras de arte, encontrándose observaciones que en ese momento no se subsanaron, y hoy se reflejan en los continuos accidentes del denominado “óvalo de la muerte”.

Resumen

Las normas internacionales han cambiado los criterios básicos del concepto de diseño geométrico de rotondas. En la norma peruana actualizada, los criterios antiguos se mantienen, razón por la cual urge la incorporación de nuevos estándares, cuya efectividad para reducir la severidad de accidentes viales ha sido probada con éxito.

En el Perú, la sección de diseño geométrico de rotondas del Manual de diseño geométrico de carreteras, DG 2014, mantiene conceptos antiguos, considerando como criterio principal de análisis y diseño, el dimensionamiento de zonas de entrecruzamiento. Este criterio fue cambiado en la normativa internacional, pues se demostró que inducía incrementos de velocidad y el mayor riesgo de colisiones con consecuencias fatales.

Se elabora una propuesta de modificación de la sección correspondiente al diseño de rotondas, del DG 2014 y se aplican los nuevos criterios propuestos, re diseñando la geometría de la rotonda ubicada al inicio de la Autopista del Sol, en la ciudad de Sullana, revisando detalladamente la norma peruana referida al diseño de rotondas. Para efectos de la presente tesis, se han revisado trabajos de investigación (tesis) desarrollados en la Universidad de Piura, referidos al diseño de rotondas y seguridad vial y la normativa internacional.

Índice

Introducción.....	01
Capítulo I: Conceptos Básicos de Seguridad Vial.....	03
1.1 Diseño geométrico y seguridad vial.....	04
1.2 Conceptos de expectativa del conductor y consistencia del diseño geométrico.....	06
1.3 Seguridad activa y pasiva en el diseño geométrico vial.....	07
1.4 Seguridad objetiva y subjetiva.....	08
Capítulo II: Rotondas en Manual de Diseño Geométrico DG-2014.....	11
2.1 Definición de Rotonda según normativa peruana.....	11
2.2 Definición Fórmula de Wardrop.....	12
2.3 Criterios de Diseño Geométrico de Rotondas según DG 2014.....	13
Capítulo III: Evaluación de la Normativa Internacional.....	17
3.1 Descripción de criterios de diseño internacionales:.....	18
3.1.1 Alineamientos.....	18
3.1.2 Diámetros de círculo inscrito.....	19
3.1.3 Isleta central y ancho de calzada.....	21
3.1.4 Radio de entrada y salida.....	21
3.1.5 Ángulo de entrada y salida.....	22
3.1.6 Ancho de entrada y salida.....	23
3.1.7 Visibilidad.....	23
3.1.8 Islas divisorias.....	25
3.1.9 Curva y contracurva en acceso de entrada.....	25
Capítulo IV: Propuestas de normativa para diseño de rotondas.....	27
4.1 Cálculo de Capacidad.....	27
4.2 Selección de velocidad de diseño.....	29
4.3 Parámetros Geométricos.....	29
Capítulo V: Aplicación al diseño de Rotonda Sullana.....	31
5.1 Revisión de cada parámetro de diseño.....	31
5.2 Rediseño.....	43
5.3 Cálculo de Capacidad del nuevo diseño.....	45
Artículo Publicado.....	49
Conclusiones.....	63
Referencias bibliográficas.....	65
ANEXO 1.....	67
ANEXO 2.....	71
ANEXO 3.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Criterios de diseño geométrico de rotondas de acuerdo a Manual DG 2014.....	14
Tabla 2. Resumen de cuatro métodos de análisis operacional.....	18
Tabla 3. Rangos recomendados para círculos inscritos.....	20
Tabla 4. Ancho de calzada y diámetro de isleta central mínimo.....	21
Tabla 5. Valores de diseño para distancias visuales de detención.....	24
Tabla 6. Máximas velocidades de diseño de entradas recomendables.....	29
Tabla 7. Tabla comparativa entre normativa peruana y nueva propuesta.....	30
Tabla 8. Valores comparativos de anchos de entrada y salida entre rotonda existente y nueva propuesta.....	40
Tabla 9. Valores comparativos de longitudes de isletas divisorias entre rotonda existente y nueva propuesta.....	42
Tabla 10. Valores de Q_e de acuerdo al método TRRL.....	46
Tabla 11. Datos actuales de tránsito en la rotonda Sullana.....	47
Tabla 12. Iteración para encontrar los valores de entrada a la rotonda de acuerdo al método TRRL.....	47
Tabla 13. Valores de grado de saturación de acuerdo al método TRRL.....	48

Índice de Figuras

Figura 1. Seguridad nominal vs seguridad sustantiva.....	09
Figura 2. Esquema básico de intersección tipo rotonda.....	12
Figura 3. Elementos de diseño de acuerdo a Fórmula Wordrop.....	13
Figura 4. Alineamiento de entradas.....	19
Figura 5. Elementos geométricos básicos en una rotonda.....	20
Figura 6. Radios de trayectoria de vehículos.....	22
Figura 7. Ángulo de entrada a una rotonda.....	23
Figura 8. Distancia visual de aproximación.....	24
Figura 9. Distancia visual en calzadura circulatoria.....	25
Figura 10. Uso de curvas sucesivas en aproximación de alta velocidad.....	26
Figura 11. Parámetros para el cálculo de capacidad mediante el método TRRL.....	28
Figura 12. Vista de rotonda de Sullana.....	32
Figura 13. Volcadura de camión en rotonda de Sullana.....	32
Figura 14. Desplazamiento de rotonda existente respecto a ejes.....	33
Figura 15. Nuevo centro de rotonda que coincide con ejes de carriles que llegan a rotonda.....	33
Figura 16. Diámetro de círculo inscrito en rotonda Sullana.....	34
Figura 17. Diámetro de círculo inscrito de nueva propuesta de rotonda Sullana.....	34
Figura 18. Diámetro de isleta central y ancho de calzada existente.....	35
Figura 19. Diámetro de isleta central y ancho de calzada propuestos.....	35
Figura 20. Verificación de diseño propuesto con un camión T2S1.....	36
Figura 21. Radios de entrada y salida de rotonda Sullana.....	36
Figura 22. Radios de entrada y salida de nueva propuesta.....	37
Figura 23. Ángulos de entrada y salida de rotonda existente.....	38
Figura 24. Ángulos de entrada y salida de rotonda propuesta.....	38
Figura 25. Ancho de entrada y salida de rotonda existente.....	39
Figura 26. Ancho de entrada y salida de rotonda propuesta.....	39
Figura 27. Islas divisorias de rotonda existente.....	41
Figura 28. Islas divisorias de rotonda propuesta.....	41
Figura 29. Radios necesarios para diseño de curva y contracurva.....	42
Figura 30. Diseño final con curva y contracurva.....	43
Figura 31. Nuevo diseño de rotonda superpuesto con diseño existente.....	44
Figura 32. Nuevo diseño de rotonda superpuesto con diseño existente con mayor detalle.....	44
Figura 33. Relación de Q_e y Q_c de acuerdo al método TRRL.....	46

Introducción

La actualización de las Normas peruanas de carreteras realizada en los últimos años constituye un avance importante para la ingeniería vial local. Su cumplimiento sugiere una enorme responsabilidad para diseñadores, constructores y entidades competentes, pues contribuye con un aspecto importante de la seguridad vial: Cumplir con la seguridad normativa de los proyectos viales. Mejorar las normas requiere de un arduo trabajo de evaluación continua de las operaciones del tránsito, con la finalidad de encontrar factores de riesgo que pudieran presentarse y necesiten ser mitigados. Actualmente, las estadísticas del Ministerio de Transportes reflejan responsabilidad exclusiva del conductor en el 84 % de los casos aproximadamente según el Anuario Estadístico de la Dirección de Estadística de la Policía Nacional del Perú. Estos registros podrían no permitir enfrentar el problema de la seguridad vial de manera sistémica, pues seguimos identificando al error humano como el componente principal de los accidentes de tránsito. Como bien dice el profesor Oliver Carsten de la Universidad de Leeds del Reino Unido "...Si identificamos el error humano como el componente principal de los accidentes de tránsito e implícitamente culpamos al conductor, corremos el riesgo de estar culpando a la víctima de un sistema vial deficiente...". Esto plantea un primer reto para la seguridad vial nacional: Reconocer que aunque parezca obvio, el problema no solo es del conductor sino del sistema inseguro. Cabe señalar que de los tres componentes del sistema vial: conductor, camino y vehículo, siempre se responsabiliza al conductor de los accidentes que se presenten.

Con la finalidad de tener mejores datos y mejor respuesta a la problemática de la seguridad vial, el Consejo Nacional de Seguridad Vial (CNSV) del Perú, planteó la implementación del Observatorio de Seguridad Vial, propuesta aprobada con DL 1216 del 24 de setiembre de 2015. A la fecha sin embargo, esta propuesta aún no ha sido implementada. El observatorio permitiría que el CNSV con el apoyo de la Policía Nacional del Perú, defina metodologías, contenidos y formatos estándares de recolección de datos y procesamientos

que permita la identificación adecuada de puntos de alto riesgo de accidentes (puntos negros), para la implementación de medidas correctivas. Propone también la implementación de auditorías de seguridad vial a nivel nacional.

Por otro lado, siendo la ingeniería una parte fundamental para lograr un sistema vial seguro, el cumplimiento de las normas técnicas de diseño y construcción vendría a ser la primera consideración a tener en cuenta por los diseñadores para garantizar seguridad. A nivel de diseño, es común asumir que para contar con vías seguras, basta con cumplir las normas. Se asocia la seguridad al cumplimiento de estándares normativos, que en realidad lo que hacen es ofrecer límites entre lo seguro y lo inseguro. Es sabido que el nivel de seguridad que se logra cumpliendo las normas queda en el ámbito de la seguridad normativa, denominada también seguridad nominal, según, La seguridad en las Normas de Diseño Geométrico (Ezra Hauer, 1999).

Los diseñadores suelen asumir que todas las Normas son buenas porque lo manda la autoridad encargada y que sólo es cuestión de obedecer sin cuestionamientos el reglamento; que es cuestión de confiar en estándares que sirven de marco normativo. Sin embargo, podría darse el caso de que existan normas obsoletas, algunas no probadas o aquellas otras que no tienen efecto real en la seguridad.

Es así que los ingenieros viales, desde la etapa de planificación y diseño, deben orientarse a reforzar la expectativa del conductor haciendo vías más seguras mediante la reducción de factores de riesgo que minimicen las consecuencias de los accidentes de tránsito. El proporcionar estímulos correctos relacionados con el diseño, que induzcan un mejor comportamiento de conductores, es una premisa fundamental a considerar en los proyectos viales.

Para el caso particular de rotondas o intersecciones rotatorias, en el Perú, la sección de diseño geométrico de intersecciones rotatorias o rotondas (sección 502.13), del Manual de diseño geométrico de carreteras, DG 2014, mantiene conceptos antiguos, que vienen de la versión DG 2001. La norma considera, por ejemplo, como criterio principal de análisis y diseño, el dimensionamiento de zonas de entrecruzamiento. Este criterio fue cambiado en la normativa internacional, pues mediante sus investigaciones se demostró que inducía incrementos de velocidad y el mayor riesgo de colisiones con consecuencias fatales. Dichos avances en diseño geométrico, se ven plasmados en sus normativas internacionales, normativas que revisaremos en este proyecto.

Capítulo 1

Conceptos básicos de seguridad vial

La accidentalidad vial constituye uno de los mayores problemas de salud pública a nivel mundial, siendo más grave el problema en países en desarrollo como nuestro Perú. De acuerdo al Anuario Estadístico de la Policía Nacional del Perú, en su edición 2017, indica que en los últimos 5 años se han registrado 476,870 denuncias de accidentes vehiculares.

En los Estados Unidos, en diciembre de 1999, un grupo de investigadores académicos de seguridad vial, ingenieros y agencias de gobierno se reunieron en California para discutir la creación de un manual completo y autorizado que sirva en el campo de la seguridad vial, de la misma manera que manual de Capacidad Vial sirve en el campo de las operaciones. Este grupo se convirtió en el núcleo de un equipo más grande que dedicó tiempo y recursos para hacer realidad, 11 años más tarde, la primera versión del Manual de Seguridad Vial (HSM, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. El HSM 2010 representó los esfuerzos cooperativos de la Asociación de Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO, por sus siglas en inglés), la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) y del Consejo de Investigación del Transporte (TRB, por sus siglas en inglés). El contenido técnico fue desarrollado a través de un importante esfuerzo del Programa Nacional de Investigación de Carreteras (NCHRP, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

En el Perú, tomando como base el HSM norteamericano, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones publicó en julio del presente año, el Manual de Seguridad Vial (MSV 2017), orientado a dictar disposiciones que contribuyan a la mejora de las características de la infraestructura vial y su entorno, incrementando la seguridad y la calidad de protección de

las redes de carreteras en beneficio de los usuarios de las vías. El MSV busca la reducción de los índices de accidentes viales, a través de la mejora de las características físicas de los componentes de la infraestructura vial, así como de su entorno.

Estos documentos, incorporados a la práctica de la ingeniería vial, incluyen nuevos conceptos, herramientas, procedimientos, metodologías y consideraciones relativas a la seguridad vial, los cuales deben ser tomados en cuenta en las diferentes etapas de los proyectos viales.

En el presente capítulo se presentan los conceptos fundamentales que deben ser considerados desde la etapa de diseño geométrico.

1.1 Diseño geométrico y seguridad vial

Las normas internacionales y el enfoque moderno de la seguridad vial, recogido por la normativa peruana, indican que el diseño de los proyectos de infraestructura debe incluir los criterios y características básicas a fin de garantizar la seguridad en la infraestructura vial, considerando los siguientes principios:

Funcionalidad: Diferentes categorías de carreteras requieren un diseño geométrico compatible con su función. El tráfico se debe distribuir en cada tipología de red sobre un diseño pensado específicamente para su función.

Homogeneidad: las diferencias de velocidad, dirección y masa entre los vehículos que utilizan la misma carretera o intersección, deben ser reducida al mínimo.

Predictibilidad: las carreteras se deben diseñar y construir para que resulte obvio el tipo de comportamiento esperado. Los manuales consideran que las carreteras deben ser auto-explicativas.

Legibilidad:

- La vía y entorno son siempre bien percibidos e interpretados, y el conductor adapta su conducción a esas características.
- La información llega a través de la vista (80%).
- El proyectista puede controlar la conducción mediante la elección de la información que recibe el usuario.
- Todos los usuarios deben realizar la misma lectura de la vía.
- La lectura debe ser fácil, amigable, rápida e inequívoca.

Credibilidad:

- Coherencia entre la realidad de la vía y las expectativas del conductor (trazo y señalización).
- El conductor no es un suicida potencial, no hay que engañarlo ni asustarlo; sólo hay que informarle correctamente.
- La información (los mensajes) no habituales deben restringirse para casos especiales o no comunes.
- El abuso “ayuda” a la pérdida de credibilidad (paneles en curvas, limitaciones de velocidad excesivas, etc.).

Consistencia:

- Soluciones similares y homogéneas ante problemas o circunstancias similares.
- Satisfacer en todo momento las expectativas del conductor.
- Expectativa cubierta, actuación predecible y adecuada.
- Expectativas: “a priori”, en base experiencia y aprendizaje “ad hoc”, en base al itinerario del (tramo) recorrido.
- El diseño consistente minimiza las violaciones a las expectativas del conductor, a través de trazado homogéneo.
- Puntos críticos: intersecciones, ancho carriles y arcenes, curvaturas horizontales y verticales.

Carga de trabajo:

- Mide el esfuerzo de asimilación y/o decisión del usuario sobre cada tramo o punto singular de una carretera.
- El objetivo debe ser minimizar las zonas de sobrecarga de trabajo (rotondas, enlaces, áreas de trenzado, etc.).
- Minimizar demasiado la carga de trabajo también puede resultar peligroso, pues genera monotonía (autovías,...).

Carreteras que perdonan:

- Realizar diseños que compensa los errores humanos o mecánicos y minimiza las consecuencias de los accidentes.
- Es la línea de trabajo de mayor rentabilidad a corto plazo.
- Tres tipos de actuación básicas:
 - Despejes laterales y aperturas de visibilidad.
 - Retirada de obstáculos y tendido de taludes.
 - Protección de obstáculos.

Diseño para la satisfacción del usuario:

- Brindar al usuario la satisfacción y seguridad en las vías.
- Diseñar y gestionar las vías adaptándose a las limitaciones de facultades humanas y a sus expectativas.
- La infraestructura debe tener capacidad de hacer predecible la conducta del usuario y/o adaptarla a lo esperable.
- De alguna manera, se pretende limitar los grados de libertad del usuario, o al menos la magnitud de los mismos.
- Tres Pilares Básicos para un diseño seguro/acondicionamiento:
 - Especialización funcional de las vías (criterios de diseño adaptados a cada categoría). Un camino, una función.
 - Minimizar consecuencias de accidentes.
 - Reducción de incertidumbre en los usuarios.

1.2 Conceptos de expectativa del conductor y consistencia del diseño geométrico

En el estudio de los elementos del sistema vial, el conductor es el elemento más difícil de evaluar. Dado que es necesario entenderlo porque es quien finalmente tiene el control total de las operaciones del vehículo, el ingeniero vial debe saber incorporar el comportamiento del conductor en el diseño.

La característica principal del conductor en su interacción con el sistema vial es su agudeza visual. Teniendo en cuenta que la mayor cantidad de información que recibe el conductor es visual, la percepción visual es clave del sistema. El conductor conduce según lo que observa, así alcanza la velocidad deseada, realiza maniobras, toma decisiones. Por tanto, el diseñador debe asegurar una visibilidad adecuada en todos los puntos de la carretera.

Dado que la recepción visual durante la conducción es afectada por la luminosidad, el contraste del brillo-oscuridad de fondo, el estado del tiempo, la velocidad del vehículo, la edad de la persona, la calidad del campo visual, la habilidad para reconocer objetos a distancia, entre otros factores, las investigaciones concluyen que los modelos matemáticos de percepción visual son muy simples para poderlos utilizar directamente en el diseño vial (Hill, 1980). Sin embargo, estas investigaciones indican también que un conductor promedio opera con frecuencia más allá de sus capacidades visuales y concluyen que más que la percepción del conductor y del riesgo en el que éste se involucra, es su expectativa la que tiene gran influencia. La expectativa se define como la buena disposición del conductor para responder a situaciones, eventos e información de manera predecible y exitosa.

La expectativa se refiere a todo lo que un conductor espera durante el manejo. Dependiendo de su experiencia y de su entrenamiento, es el conductor quien determina como percibe y maneja la información. En este sentido, el diseño del camino debe confirmar lo que el conductor espera. Donde las expectativas no son complacidas, es de esperar mayores tiempos de respuesta, respuestas inapropiadas o errores en el manejo.

Teniendo en cuenta la expectativa, se debe considerar que los conductores tienden a anticipar las situaciones y sucesos venideros comunes en el camino que recorren. Cuanto más predecible es una característica vial, menor será la probabilidad de cometer errores. En este sentido, es evidente que las vías con condiciones predecibles son más seguras, más aun cuando los conductores asumen que sólo tendrán que reaccionar a situaciones normales. La sorpresa va contra la expectativa y origina conflictos y los conductores experimentan problemas cuando son sorprendidos.

De acuerdo con el principio de consistencia definido en el apartado anterior, el diseño de la carretera debe ser consistente con las expectativas del conductor. El diseñador debe buscar mantener la consistencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio, debiendo evitar cambios abruptos en las características de un tramo dado. Asimismo, se debe evitar diseños con características inesperadas, diseños inusuales o no convencionales.

En conclusión, tratar de disminuir la incertidumbre del conductor y no aumentarla.

1.3 Seguridad activa y pasiva en el diseño geométrico vial

La influencia de las características geométricas de la carretera en los accidentes se debe al conjunto de diferentes parámetros que definen el tramo, así como las variaciones entre estos parámetros y los de los tramos contiguos.

El análisis de la seguridad de la infraestructura vial se encuentra a partir de dos conceptos de seguridad que se relacionan con las características geométricas:

Seguridad activa: son medidas que incorpora la carretera para evitar que se produzca accidentes (diseño de trazo, diseño de las intersecciones, calidad del pavimento, sección transversal adecuada, dimensiones de la sección de la franja, señalización, etc.).

El diseñador debe proveer seguridad activa en el diseño geométrico vial para que el conductor no falle y mantenga su trayectoria de manera cómoda y segura.

Seguridad pasiva: Medidas que incorpora la carretera para minimizar la gravedad de los accidentes en el caso que se produzca (separador central, sistema de contención de vehículos, protectores laterales, etc.).

De producirse una falla en la seguridad activa y como consecuencia el conductor pierde el control del vehículo y se despista, el diseñador debe proveer condiciones adecuadas a los lados del camino, que se activen como elementos de seguridad pasiva para minimizar los daños en las personas.

En el diseño de una carretera, las limitaciones y características propias de cada uno de los usuarios deben considerarse como variables determinantes; en particular se deben analizar las condiciones de circulación de cada uno de los tipos de vehículos, principalmente pesados, así como también bicicletas y motocicletas donde sea el caso. En las zonas urbanas o semiurbanas, se deben tomar en cuenta las condiciones de la circulación de los peatones y las medidas para favorecer su seguridad; entre ellas, pueden estar la disposición de veredas y refugios, la construcción de pasos a distinto nivel y las medidas de control de la velocidad.

El entorno de una carretera segura debe considerar los siguientes aspectos:

- Informar al conductor de las condiciones que va a encontrar más adelante.
- Prevenir al conductor de la existencia de características no habituales.
- Guiar de forma segura al conductor en los tramos que presenten características distintas de las habituales.
- Proporcionar un margen de maniobra para los conductores que pierden el control o que realizan maniobras indebidas.

1.4 Seguridad objetiva y subjetiva

Investigaciones realizadas por Ezra Hauer (1999) concluyen que los caminos diseñados según las normas no son seguros, ni inseguros, ni apropiadamente seguros, sino que los caminos diseñados según las normas tienen un no premeditado nivel de seguridad. Es decir, no hay una relación directa entre los estándares de diseño y la seguridad vial, aun cuando pueda existir una relación estrecha entre ambas. Como se mencionó anteriormente, cumplir las normas queda en el ámbito de proporcionar Seguridad Nominal.

Además del ámbito normativo, es necesario que los ingenieros tengan en cuenta otro concepto adicional de seguridad vial, conocido como seguridad sustantiva u objetiva, que es aquella medida en términos reales de frecuencia y severidad de accidentes, basada en evidencia real e histórica. Esto obliga a un arduo trabajo de monitoreo, investigación y recolección de información. No se pueden establecer indicadores reales de seguridad si no existe un proceso de medición continua dentro del sistema vial. Este proceso, que incluye auditorías viales entre otras medidas, debe ser continuo y requiere muchos datos. Por tanto, podría ser costoso y necesita recursos.

El HSM de los Estados Unidos, ilustra ambos conceptos de seguridad, mostrando la seguridad nominal o normativa como un valor absoluto. La seguridad objetiva, sin embargo se puede calcular a partir de un proceso continuo de evaluación, donde la gráfica que se indica se construye a partir de un análisis que requiere por ejemplo, la construcción de modelos de predicción de accidentes, en los que una combinación de factores de riesgo define condiciones de seguridad de un determinado lugar. La figura N°01 muestra que el riesgo asociado a carriles de 11 pies es mucho mayor que aquel para 12 pies (seguridad nominal). La curva indica que a medida que el ancho de carriles aumenta, el riesgo disminuye (seguridad objetiva).

Hay un concepto adicional: seguridad subjetiva. Esta se relaciona con la percepción que tiene el usuario en el ambiente vial. Esta percepción se vincula con la expectativa del conductor y se relaciona con la ingeniería vial en la medida que los diseños deben reforzarla, de manera que los conductores reaccionen de manera exitosa. Durante el proceso de conducción o manejo, el conductor recibe estímulos, muchos de los cuales los proporciona la propia vía (curvas, señalización, visibilidad, etc.). Así, como ya se ha mencionado, poniendo la seguridad vial como objetivo desde la etapa de diseño, los ingenieros pueden reforzar la expectativa, inducir buen comportamiento y por tanto, contribuir con la seguridad. El Instituto de Ingeniería de Transporte de los Estados Unidos (Institute of Transportation Engineering, ITE), recomienda seguir una orientación positiva (Positive Guidance) como filosofía básica de diseño, teniendo la seguridad vial como objetivo, resumiendo el principio fundamental de este enfoque de la siguiente manera: "...Si bien no sabemos cómo va a reaccionar un conductor, si podemos inducirlo a que reaccione de determinada manera...".

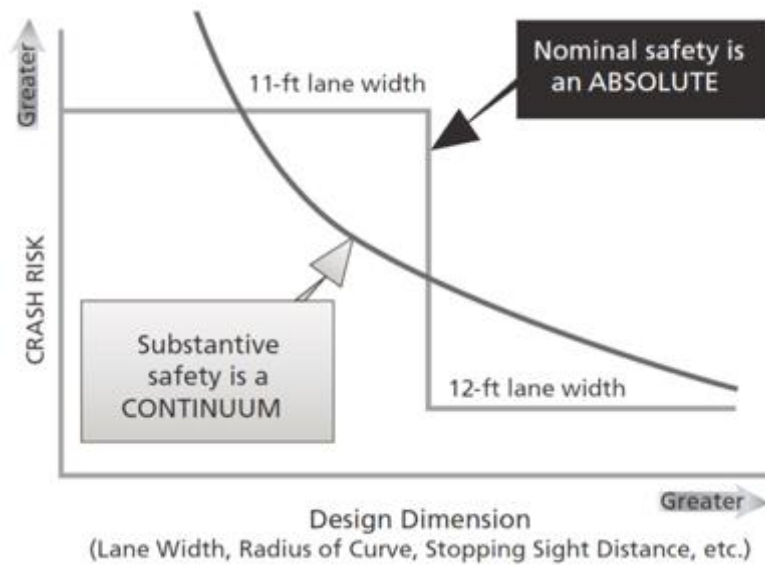


Figura 1. Seguridad nominal vs seguridad sustantiva.
 (Fuente: *The Highway Safety Manual. Improving Methods and Results.* John C. Milton)

Resumiendo, este capítulo, queda claro que aplicando los conceptos básicos de seguridad, el diseñador debe tener en cuenta la provisión de condiciones que no solo garanticen trayectorias seguras a los conductores, sino que ante eventuales fallas, se cuente con elementos que minimicen la magnitud del daño producido. Por otro lado, el monitoreo y la evaluación continua de la carretera, la identificación de puntos negros o zonas propensas a accidentes, permitirá el planteamiento de correcciones futuras para mejorar la seguridad, acciones que podrían abarcar tanto mejoras de la trayectoria, alineamientos, calidad superficial, etc., así como mejoras de los lados del camino, pudiendo inclusive concluir en propuestas de modificaciones normativas para mejorar los estándares actuales de los reglamentos, como es el caso presentado en esta tesis.

Capítulo 2

Rotondas en manual de diseño geométrico DG-2014

2.1 Definición de rotonda según normativa peruana

La sección 502.13 Intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de Diseño Geométrico DG 2014 define las intersecciones rotatorias a nivel, rotondas o glorietas, indicando que se distingue porque los flujos vehiculares que acceden a ella por sus ramas, circulan mediante un anillo vial como se puede apreciar en la Figura 2. Indica la norma que las trayectorias de los vehículos en el anillo son similares a los entrecruzamientos, los cuales reducen el número de conflictos en relación a otros tipos de intersecciones.

Los entrecruzamientos, según el DG 2001, hacen que los vehículos den vueltas parciales alrededor de una isla central con bajas velocidades relativas y circulación continua de las corrientes vehiculares. La eficacia de la rotonda depende de la cantidad de maniobras de entrecruzamientos que se realicen, por lo tanto, se adaptan mejor a las intersecciones donde los vehículos que giran son más que los que siguen directo.

La Norma peruana también indica que las rotondas presentan muchas ventajas si los volúmenes de vehículos que transitan por las ramas de acceso son similares, o si los movimientos de giro predominan sobre los de paso. Los giros a la izquierda se facilitan mediante maniobras de convergencia y divergencia aunque las distancias a recorrer sean mayores.

Menciona también algunas desventajas, como que las rotondas no son apropiadas cuando el volumen de peatones es apreciable, pues el tránsito en ellas debe circular sin interrupciones, se necesita más espacio y generalmente son más costosas, necesitan islas centrales demasiado grandes o velocidades de operación sumamente bajas cuando el volumen de tránsito pasa de los 1500 v/h.

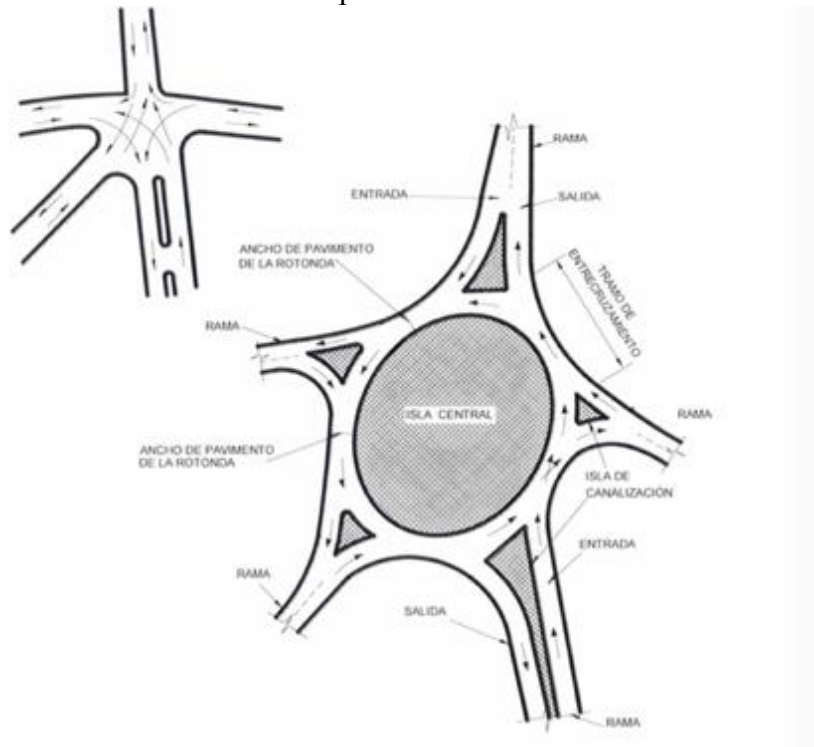


Figura 2. Esquema básico de intersección tipo rotonda.
(Fuente: *Manual de Diseño Geométrico DG 2014. Figura 502.29*)

El Manual de Diseño Geométrico menciona las siguientes indicaciones para el diseño:

- Es importante mencionar que el diseño se tiene que fundamentar en estudios básicos de tráfico (capacidad de rotonda y dimensionamiento de las secciones de entrecruzamiento).
- La capacidad de los tramos de entrecruzamiento, de acuerdo al manual, se estudia para condiciones de movimiento continuo de vehículos. Si por el contrario, éstas estuvieran controladas por semáforos, su funcionamiento sería semejante al de las intersecciones canalizadas de cuatro o más ramales bajo el mismo control.

2.2 Definición fórmula de Wardrop

Para poder diseñar una rotonda el Manual describe el siguiente procedimiento de diseño:

- Propone un cálculo de capacidad a partir de parámetros geométricos.
- Propone una longitud de sección de entrecruzamiento compatible con la geometría de la solución.
- Determinar la capacidad de cada sección de entrecruzamiento propuesta.

- Comparar dicha capacidad con el volumen de demanda de entrecruzamiento.

Para el cálculo de la capacidad de la sección de entrecruzamiento Q_p , es donde se necesita desarrollar la fórmula de Wardrop:

$$Q_p = \frac{(160W(\frac{1+e}{L}))}{(1+\frac{W}{L})} \quad \text{Ec. 1}$$

$$e = \frac{(e_1+e_2)}{2} \quad \text{Ec. 2}$$

En la Figura 3 se pueden observar los elementos de la fórmula de Wardrop, donde:
 Q_p : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto, en vehículos / hora.

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

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

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

L : Longitud de la sección de entrecruzamiento en metros.

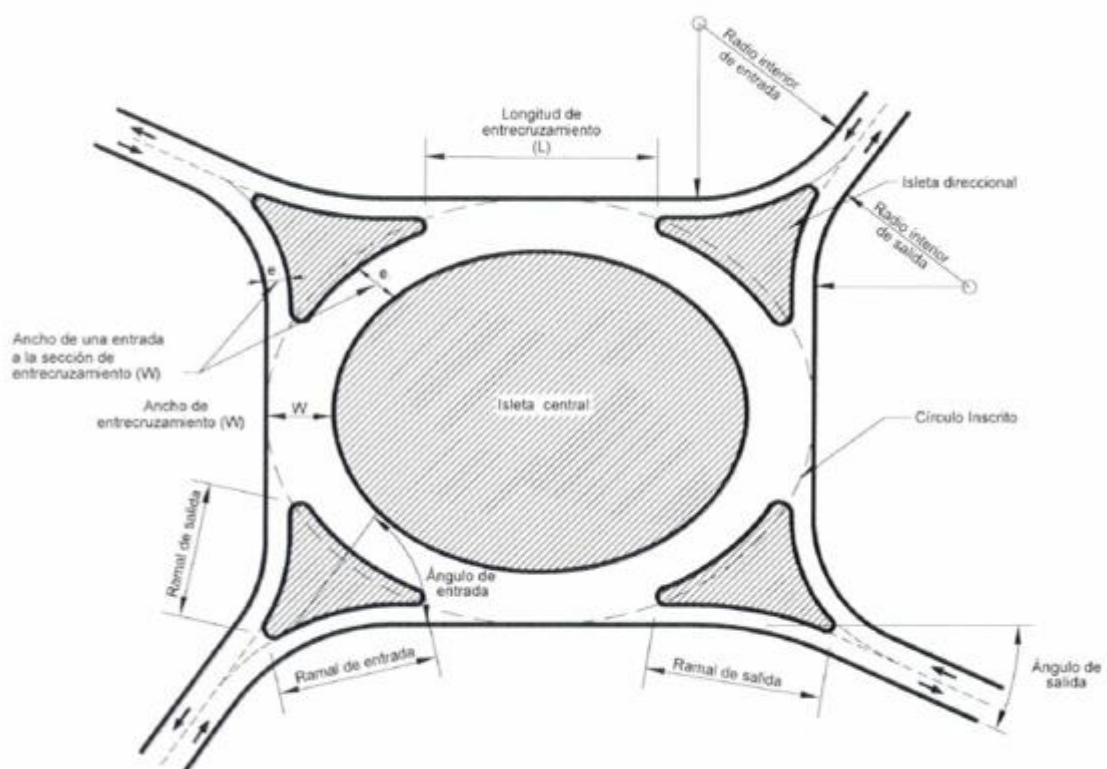


Figura 3. Elementos de diseño de acuerdo a Fórmula de Wardrop.
 (Fuente: Manual de Diseño Geométrico 2014. Figura 502.30)

2.3 Criterios de diseño geométrico de rotondas según DG 2014

El Manual de Diseño Geométrico 2014, indica que el Diámetro de la isleta central tiene un valor mínimo es 25 m, y que está subordinado a la velocidad de diseño de la rotonda, el número de accesos y las distancias necesarias para los tramos de entrecruzamiento.

Indica la normativa que la isleta central puede ser totalmente circular, forma que da el área y el perímetro mínimo, y con la cual todos los segmentos de la rotonda pueden trazarse para la misma velocidad de diseño. En la mayor parte de los casos la forma de la isla central debe acomodarse a las necesidades de la planta y de los distintos tramos de entrecruzamiento de la rotonda, lo que frecuentemente exige diseños alargados o islas en forma de óvalo.

Otros criterios importantes son los que se relacionan con la fórmula de Wardrop, como la relación entre el ancho de la sección de entrecruzamiento (W tiene que ser máximo 15 m) y la longitud de la sección de entrecruzamiento (W/L) que debe tener un valor entre 0.25 y 0.40. Todos los criterios anteriormente mencionados se describen en la Tabla 1.

La normativa también indica que el buen funcionamiento de una rotonda depende principalmente a un buen trazado de accesos, el tránsito afluente puede salir con eficacia y seguridad cuando su velocidad media de operación es aproximadamente igual a la de diseño de rotonda. Para ello puede ser necesario ir adecuando gradualmente la velocidad de los accesos, teniendo en cuenta las aproximaciones y sin realizar modificaciones demasiado bruscas que puedan reducir las distancias de visibilidad.

Las entradas y salidas de las rotondas, deben ser diseñadas para que reflejen la misma velocidad de diseño de la rotonda y preferiblemente algo mayor en las salidas y menor en las entradas, esto se logra con un buen radio y ángulo de entrada y salida, para así poder entrar sin complicaciones al anillo vial y salir despejando rápido la rotonda.

Tabla 1. Criterios de diseño geométrico de rotondas de acuerdo a Manual DG 2014.

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

Fuente: DG 2014. Tabla 502.14. Página 278.

El Manual establece también rango de áreas para islas direccionales, de entre 4.50 m² y 7.00 m². Estas islas que dividen los accesos afectan directamente la operación

de los vehículos. Su trazado necesita una especial atención para asegurar la canalización eficaz de los vehículos con ángulos adecuados al entrecruzamiento.

Finalmente, indica que para el diseño de ramales de entrada y salida se aplicarán los criterios y dimensiones mínimas establecidas en el mismo manual, en lo relativo a anchos de calzada, bermas, peraltes, visibilidad y radios mínimos en función de la velocidad de diseño adoptada.

Capítulo 3

Evaluación de la normativa internacional

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. Los resultados de todas las investigaciones que realizaron el Reino Unido, Estados Unidos, España y Australia se reflejan en su normativa, la cual se describirá en esta tesis mediante parámetros de diseño.

Los parámetros de diseño geométrico no son independientes uno del otro. La interacción entre los componentes de la geometría es mucho más importante que cada uno de ellos aisladamente. Se debe tener mucho cuidado al momento de diseñar, ya que todos los elementos geométricos deben ser compatibles entre sí, de modo que se cumplan los objetivos de seguridad y capacidad.

Un análisis operacional se utiliza para evaluar el funcionamiento de una rotonda y produce dos tipos de estimaciones: la capacidad de una rotonda y su nivel de funcionamiento (FHWA, 2011, cap 4). Se presenta a continuación un cuadro resumen en la Tabla 2 con cuatro métodos de análisis operacional en donde se describen los parámetros que afectan cada método.

Tabla 2. Resumen de cuatro métodos de análisis operacional.

País	Autor	Tipo	Parámetros de entrada
Perú	Wardrop	Brecha de aceptación	Sección de entrecruzamiento.
UK	Kimber	Regresión lineal	Flujo de circulación, ancho de entrada, ángulo de entrada, radio de entrada, diámetro del círculo inscrito.
EEUU	HCM	Brecha de aceptación	Flujo de circulación, flujo de entrada.
Australia	Troutbeck	Brecha de aceptación	Flujo de circulación, flujo de entrada, número de carriles, ancho de entrada, diámetro de círculo inscrito.

Fuente: Torres (2015) Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las rotondas modernas. Tesis de pregrado publicada, Universidad de Piura. Perú.

De acuerdo a la investigación reciente de diseño geométrico vial para mejores operaciones y seguridad de la NCHRP SYNTHESIS 432, Texas; se describen a continuación algunos de los principios generales del diseño de rotondas:

- Dar distancia visual para poder reconocer un vehículo cercano y la visibilidad del conductor de la intersección y los usuarios en conflicto.
- Proporcionar el número de carriles y asignación de carril para obtener una capacidad adecuada.
- Proporcionar canalización a los conductores.
- Ofrecer alojamiento adecuado a los vehículos de diseño.
- Diseñar para satisfacer las necesidades de los peatones y ciclistas.

Es necesario mencionar que el incremento de la curvatura de la trayectoria del vehículo disminuye la velocidad relativa entre los vehículos que entran y circulan. Por tanto, por cada rotonda, existe una velocidad de diseño óptima para minimizar los choques.

3.1 Descripción de criterios de diseño internacionales:

3.1.1 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. Lo mencionan las normas Australiana y Americana, como se puede apreciar en la Figura 4.

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 6-18. Alineamiento radial de las entradas.

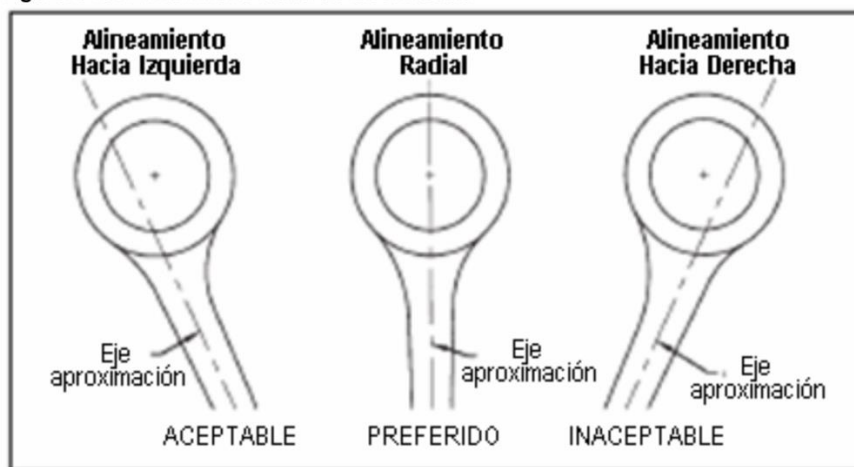


Figura 4. Alineamiento de entradas.

(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*, Capítulo 6: *Diseño Geométrico*, Figura 6-18)

3.1.2 Diámetros de círculo inscrito

Para diseñar rotondas, la normativa internacional indica que para cada tipo de rotonda existe un tamaño especial de círculo inscrito. Podemos observar en la Figura 5 la ubicación del círculo inscrito dentro de los elementos geométricos básicos de una rotonda.

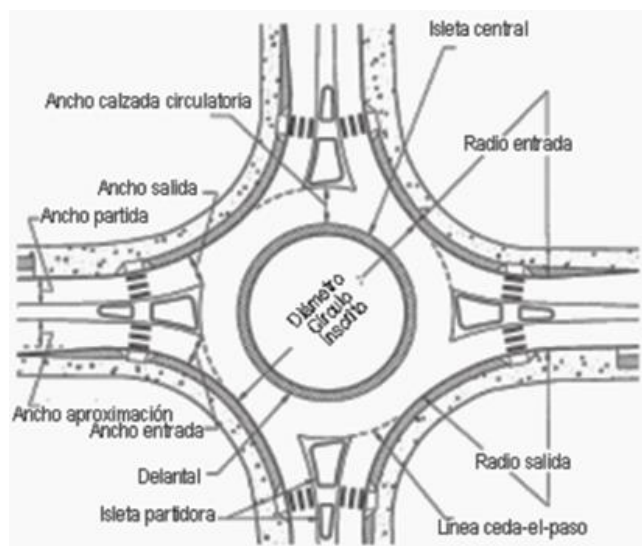


Figura 5. Elementos Geométricos básicos de una rotonda.

(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-1)

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. En la Tabla 3 se muestra un rango de diámetro de círculo inscrito para cada categoría de rotonda.

La normativa americana, en su capítulo 6, 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 3: Rangos recomendados para círculos inscritos.

Figura 6-19. Rangos recomendados de diámetro de círculo inscrito.

Categoría Lugar	Vehículo Diseño Típico	Rango Diámetro Círculo Inscrito*
Minirrotonda	Camión Unidad-Simple	13-25 m
Urbana Compacta	Camión/Bus Unidad-Simple	25-30m
Urbana Carril-Simple	WB-15	30-40m
Urbana Carril-Doble	WB-15	45-55m
Rural Carril-Simple	WB-20	35-40m
Rural Carril-Doble	WB-20	55-60m

* Supone ángulos de 90 grados entre entradas, y no más de cuatro ramales.

(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-19)

3.1.3 Isleta central y ancho de calzada

La isleta central y el ancho de calzada se ajustan al diámetro de círculo inscrito. Como se puede apreciar en la Tabla 4.

La isleta 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.

Para rotondas de carril simple, la calzada circulatoria debe acomodarse exactamente al vehículo de diseño. El giro a la izquierda es la trayectoria más crítica para determinar el ancho de calzada.

Para rotondas de carril doble, el ancho de calzada no está dictado por el vehículo de diseño.

La normativa española indica que el ancho de carril viene condicionado por dos cuestiones: por la necesidad de garantizar el sobre ancho de la huella de la trayectoria de los vehículos articulados, al que suele añadirse un margen de seguridad y, por otra parte, por cuestiones de capacidad.

La normativa americana establece de acuerdo a sus investigaciones, unos valores mínimos de anchos de calzada y de isleta central.

Tabla 4. Ancho de calzada y diámetro de isleta central mínimo.

Figura 6-22. Anchos mínimos de carril circulatorio para rotondas de dos-carriles.

Diámetro Círculo Inscrito	Ancho Mínimo Carril Circulatorio*	Diámetro Isleta Central
45 m	9,8 m	25,4 m
50 m	9,3 m	31,4 m
55 m	9,1 m	36,8 m)
60 m	9,1 m	41,8 m
65 m	8,7 m	47,6 m
70 m	8,7 m	52,6 m

(Fuente:

FHWA, junio 2000, Rotondas Modernas: Guía Informativa, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-22)

3.1.4 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.

Por otro lado, 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 en la Figura 6) 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.

Figura 6-12. Radios trayectoria vehicular.

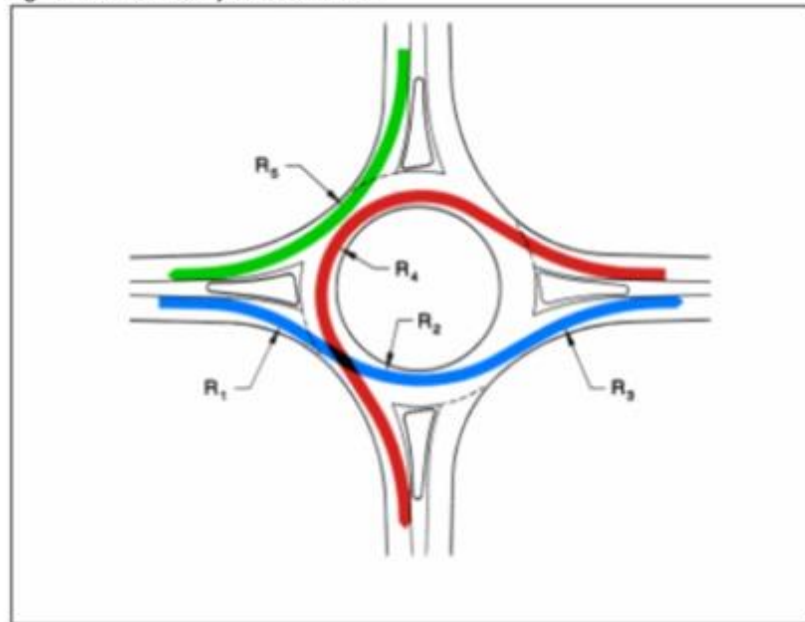


Figura 6. Radios de trayectoria de vehículos.

(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-12)

3.1.5 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, se puede observar en la Figura 7.

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.

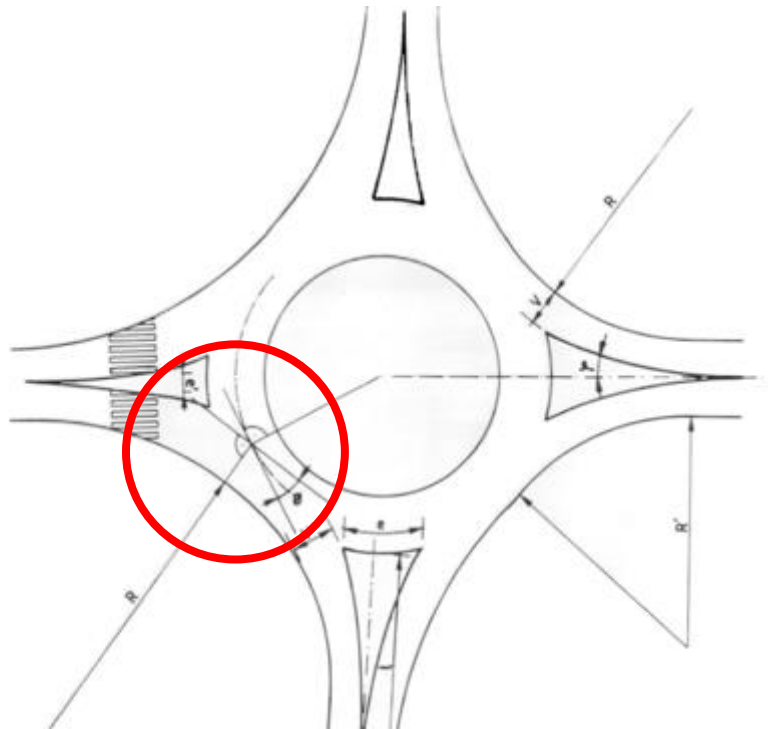


Figura 7. Ángulo de entrada a una rotonda.

(Fuente: *Recomendaciones para el diseño de Glorietas, Madrid, geometría de entradas y salidas*)

3.1.6 Ancho de entrada y de salida

Según la norma americana, para garantizar seguridad, el ancho debe mantenerse en un mínimo. Para doble carril recomienda entre 7.30 m y 9.10 m; os mismos valores para los anchos de salida.

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.

3.1.7 Visibilidad

La distancia de visibilidad de parada o distancia visual de detención es la distancia requerida por el conductor para percibir y reaccionar ante un objeto en la calzada y que éste tenga toda la oportunidad para frenar hasta una completa detención antes de alcanzar el objetivo. Se puede apreciar en la Tabla 5 unos valores aproximados de distancia en metros para las velocidades a las que van los vehículos. En las Figuras 8 y 9 se muestran en planta las visuales de distancia de detención.

Tabla 5. Valores de diseño para distancias visuales de detención.

Figura 6-28. 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	77,0
30	31,2	20	112,4
40	46,2	25	152,7
50	63,4	30	197,8
60	83,0	35	247,8
70	104,9	40	302,7
80	129,0	45	362,0
90	155,5	50	427,2
100	164,2*	55	496,7

Supone tiempo de percepción-frenado de 2.5 s y desaceleración del conductor de 3.4 m/s^2 (11.2 pies/s^2)

(Fuente: FHWA, junio 2000, Rotondas Modernas: Guía Informativa, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-28)

Figura 6-29. Distancia visual de aproximación.

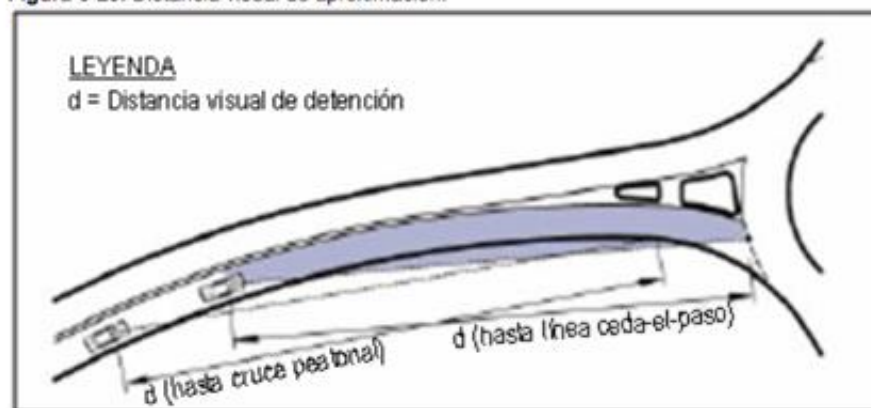


Figura 8. Distancia visual de aproximación.

(Fuente: FHWA, junio 2000, Rotondas Modernas: Guía Informativa, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-29)

Figura 6-30. Distancia visual en calzada circular.

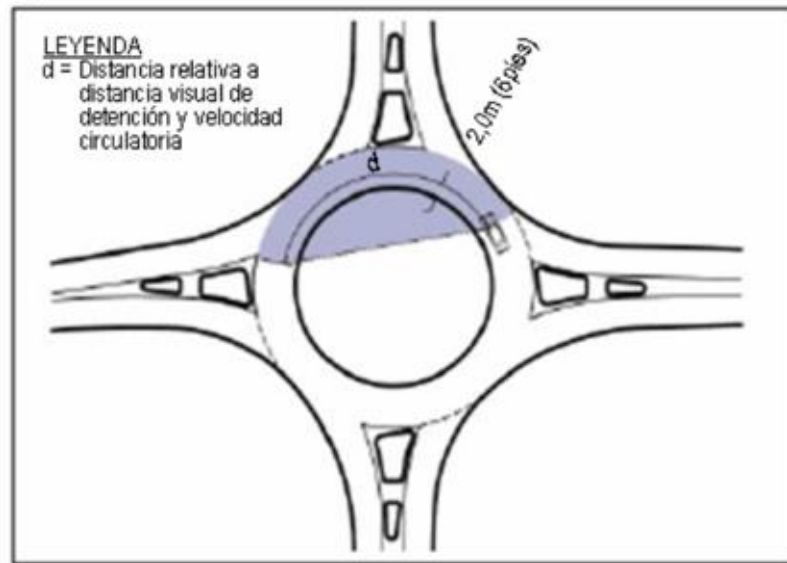


Figura 9. Distancia visual en calzada circular.

(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-30)

3.1.8 Islas divisorias

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.

3.1.9 Curva y contracurva en acceso de entrada

Con respecto al uso de curva y contra curva en el acceso de entrada, para rotonda de dos carriles, la norma australiana recomienda empezar con una curva amplia que sea curvilínea tangencial a la isleta central, con un radio pequeño, y luego seguir con una curva moderada y al final empalmar con una curva cerrada, tal como se muestra en la Figura 10.

Esta geometría reduce potencialmente los choques y volcaduras dentro de la rotonda, al disminuir notablemente la velocidad de ingreso en carretera de dos carriles. Además, considera una amplia longitud desde el inicio donde empieza la curvatura, lo cual es beneficioso pues anticipa al conductor y le da una idea de los que se aproximan.

Figura 6-49. Uso de curvas sucesivas en aproximaciones de alta velocidad.

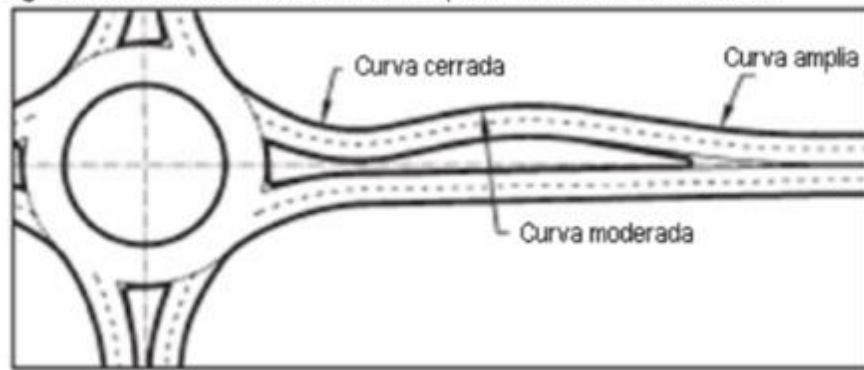


Figura 10. Uso de curvas sucesivas en aproximaciones de alta velocidad.
(Fuente: FHWA, junio 2000, *Rotondas Modernas: Guía Informativa*,
Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-49)

Capítulo 4

Propuestas de normativa para diseño de rotondas

4.1 Cálculo de capacidad

De los cuatro métodos expuestos en la introducción del Capítulo 3, dos de ellos incorporan parámetros geométricos en el análisis de capacidad (Método TRRL y Método SIDRA). En esta propuesta se ha seleccionado el método TRRL del Reino Unido por ser el más utilizado en la actualidad.

Método TRRL

Es un método británico, que ayuda en el diseño de rotondas haciendo que se puedan satisfacer las necesidades operacionales de la intersección teniendo en cuenta el vínculo existente entre geometría y capacidad, demora y longitud de la cola.

El método considera la relación entre el tránsito que circula por el anillo y el que entra a la rotonda como se puede apreciar en la Ecuación 3.

$$Q_e = k \times (F - f_c \times Q_c) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

Q_e : Capacidad de entrada (veh/h).

Q_c : Flujo circulante (veh/h).

k, F y fc : Parámetros calibrados de la experiencia en función de las características geométricas de la entrada y de la rotonda, los hallaremos de acuerdo a la Ecuación 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

$$k = 1 - 0.00347 \times (\phi - 30) - 0.987 \times \left(\frac{1}{R} - 0.05\right) \quad \text{Ec. 4}$$

$$F = 303 \times x \quad \text{Ec. 5}$$

$$fc = 0.210 \times t \times (1 + 0.2x) \quad \text{Ec. 6}$$

$$t = 1 + \left[\frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}} \right] \quad \text{Ec. 7}$$

$$x = v + \frac{(e-v)}{(1+2s)} \quad \text{Ec. 8}$$

$$S = \frac{1.6 \times (e-v)}{l'} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde (se pueden apreciar en la Figura 11):

- e : ancho de entrada a la rotonda (m).
- v : ancho del acceso de entrada a la rotonda (m).
- l' : longitud efectiva del abocinamiento de entrada (m).
- S : Agudeza del abocinamiento.
- D : Diámetro del círculo inscrito (m).
- ϕ : Ángulo de entrada.
- R : Radio de entrada (m).

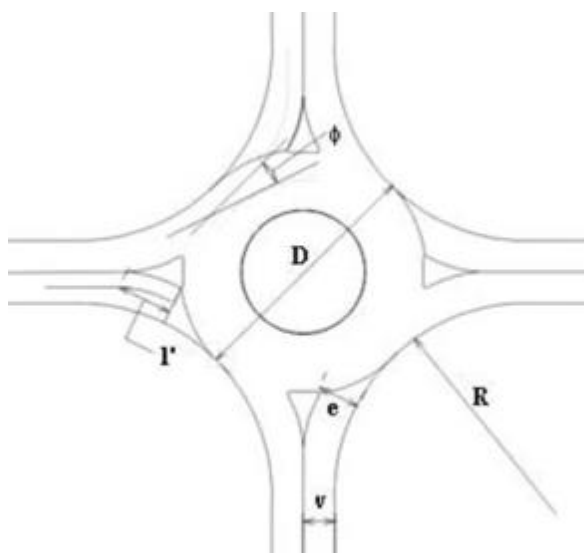


Figura 11. Parámetros para el cálculo de capacidad mediante el método TRRL.

(Fuente: Dirección General de Carreteras, Consejería de Transportes, 1994)

4.2 Selección de velocidad de diseño

La Tabla 6, nos recomienda unas velocidades máximas de diseño, de acuerdo a la normativa americana, ya que ellos consideran que el incremento de la curvatura en la trayectoria del vehículo disminuye la velocidad relativa entre los vehículos que entran/salen y los que circulan.

Tabla 6. Máximas velocidades de diseño de entrada recomendadas.

Figura 6-4. Máximas velocidades de diseño de entrada recomendadas.

Categoría Lugar	Velocidad de Diseño Máxima Recomendada
Minirrotonda	25 km/h
Urbana Compacta	25 km/h
Urbana Carril Simple	35 km/h
Urbana Carril Doble	40 km/h
Rural Carril Simple	40 km/h
Rural Carril Doble	50 km/h

(Fuente: FHWA, junio 2000, Rotondas Modernas: Guía Informativa, Capítulo 6: Diseño Geométrico, Figura 6-4)

4.3 Parámetros geométricos

A partir de la información descrita en el capítulo anterior, con respecto a aspectos geométricos de rotondas que inducen la reducción de velocidad y, por tanto, reducen el riesgo de colisiones, se propone modificar la sección 502.13 del Manual de Diseño Geométrico DG 2014. La modificación referida a parámetros geométricos que reemplacen a los criterios de diseño geométrico de rotondas de acuerdo a Manual DG 2014 (Tabla 1), por los criterios de diseño de la nueva propuesta de normativa para diseño geométrico de rotondas presentada en la tabla comparativa (Tabla 7).

Tabla 7. Tabla comparativa entre normativa peruana y nueva propuesta.

Descripción	Unidad	Perú- DG 2014	Nueva Propuesta
Diámetro de círculo inscrito	m	Mínimo 50 m	Mínimo 45 Máximo 55
Isleta Central	m	Mínimo 25 m	Mínimo 25.4 Máximo 41.8
Ancho de calzada	m	-	Mínimo 8.7 Máximo 9.8
Radio de entrada	m	Mínimo 30 m	Mínimo 20 Máximo 50
Radio de salida	m	Mínimo 40 m	Mínimo 40 Máximo 84
Ángulo de entrada	Grados	60	Mínimo 20° Máximo 60°
Ángulo de salida	Grados	30	Mínimo 20° Máximo 60°
Visibilidad			
Distancia visual de detención	m	-	46.2
Distancia visual de intersección			72.3
Islas divisorias	m	Mínimo 4.50 m ² Máximo 7.00 m ²	Mínimo 15 Máximo 30
Ancho de entrada	m	-	Mínimo 7.30 Máximo 9.10
Ancho de salida	m	-	Mínimo 7.30 Máximo 9.10
Velocidad de entrada rotonda urbana de carril doble	Km/h	-	Máxima 40

(Fuente: Elaboración propia)

Capítulo 5

Aplicación al diseño de Rotonda Sullana

5.1 Revisión de cada parámetro de diseño

La rotonda de ingreso a la provincia de Sullana se encuentra ubicada en el km 1032 + 223.00, en el óvalo de desvío a Las Lomas- Tumbes- Sullana, Autopista El Sol y forma parte de la ruta Nacional PE-1N, que se muestra en la Figura 12. La rotonda fue diseñada con la norma DG 2001, basándose en el cálculo de secciones y longitudes de entrecruzamiento, criterios que se han mantenido invariables en la última versión de la norma, DG2014.



Figura 12. Vista de rotonda de Sullana.
(Fuente: Google Earth)

Esta rotonda constituye actualmente un punto crítico de alto riesgo de ocurrencia de accidentes, principalmente volteo de camiones, como se puede observar en la Figura 13. Este caso es un claro ejemplo de cómo aun cumpliendo los requisitos establecidos por la normativa peruana, el diseño no favorece el buen comportamiento del conductor; por el contrario, incrementa el riesgo de accidentes.

Se describe a continuación la relación del diseño existente con los diez criterios analizados en esta tesis, planteando la mejora correspondiente aplicando la propuesta de modificación de la norma.



Figura 13. Volcadura de camión en Rotonda de Sullana.
(Fuente: Diario La República, 03 de diciembre de 2015)

5.1.1 Alineamientos

La disposición actual de la rotonda muestra su centro desplazado con respecto a lo que sería la intersección de los ejes, tal como se muestra en la Figura 14. En esa posición, los ejes 1 y 2 se encuentran al lado derecho de la rotonda, lo cual es inaceptable. El eje 3 se ubica a la izquierda, pero bastante alejado del centro de la rotonda. En el nuevo diseño se propone centrar la rotonda lo más cerca de la intersección de ejes, tal como se muestra en la Figura 15.

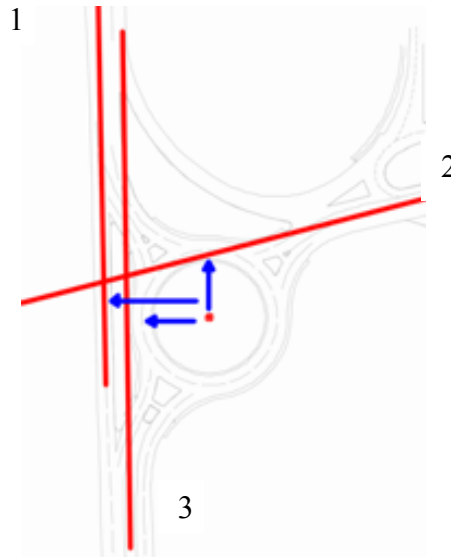


Figura 14. Desplazamiento de rotonda existente respecto a ejes.
(Fuente: Elaboración propia)

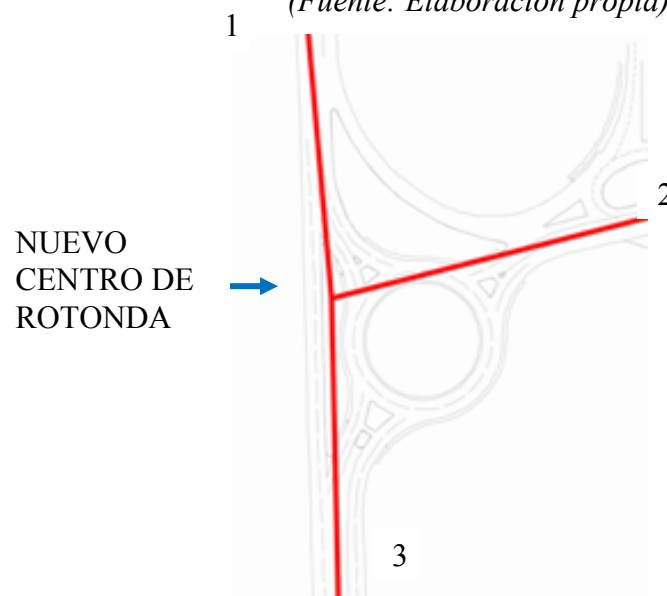


Figura 15. Nuevo centro de rotonda, que coincide con ejes de carriles que llegan a rotonda.
(Fuente: Elaboración propia)

5.1.2 Diámetros de círculo inscrito

El diseño actual de la rotonda Sullana tiene un diámetro de círculo inscrito de 80 m. tal como se indica en la Figura 16. Calculando con la nueva propuesta normativa, tendría un diámetro de círculo inscrito de 45 m; tal como se indica en la Figura 17.



Figura 16. Diámetro de círculo inscrito Rotonda Sullana.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 17. Diámetro de círculo inscrito de nueva propuesta de Rotonda Sullana.
(Fuente: Elaboración propia)

5.1.3 Isleta central y ancho de calzada

El diseño actual de la rotonda Sullana tiene una isleta central de 60.00 m y un ancho de calzada de 10.00 m., tal como se indica en la Figura 18. Calculando con la nueva propuesta normativa, tendría un diámetro de isleta central de 25.40 m. y un ancho de calzada de 9.80 m.; tal como se indica en la Figura 19.



Figura 18. Diámetro de isleta central y ancho de calzada existente.
(Fuente: Elaboración propia)

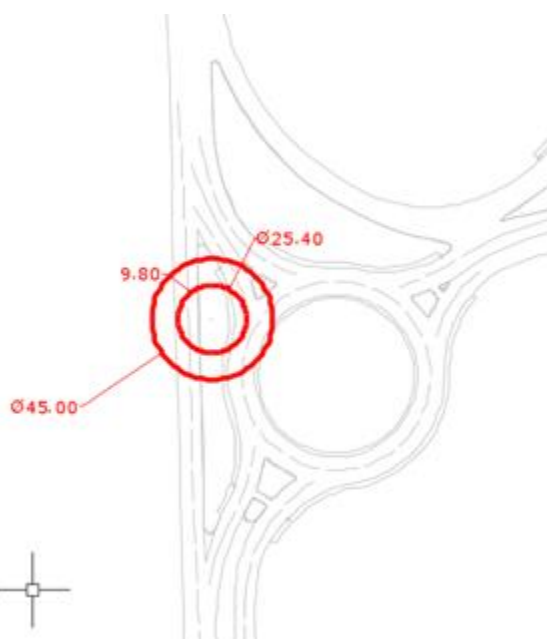


Figura 19. Diámetro de isleta central y ancho de calzada propuestos.
(Fuente: Elaboración propia)

El diámetro de círculo inscrito propuesto, resulta más pequeño, lo que mejora la seguridad de conductor, quien se obliga a mantener velocidades bajas. Para el nuevo diseño se ha verificado el ancho de calzada para un vehículo T2S1 como se muestra en la Figura 20.

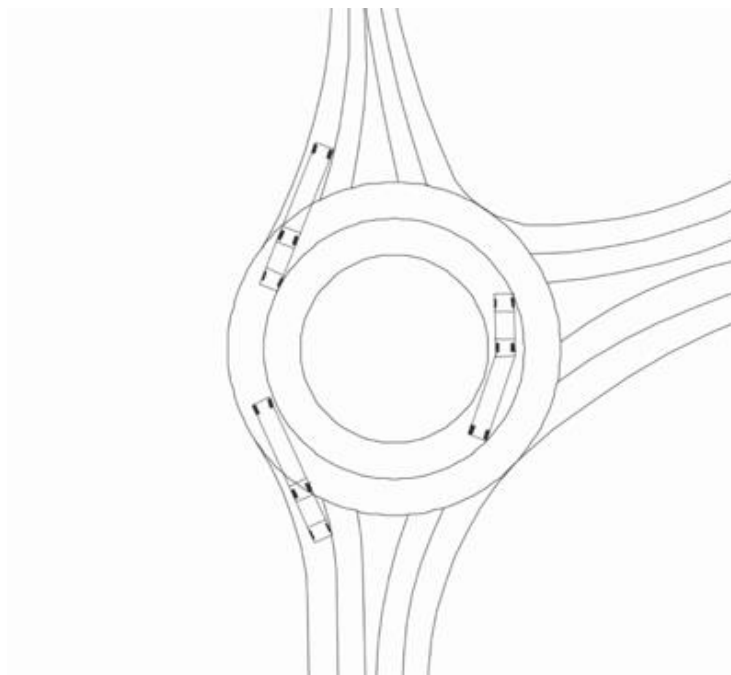


Figura 20. Verificación de diseño propuesto con un camión T2S1.
(Fuente: Elaboración propia)

5.1.4 Radio de entrada y radio de salida

En el diseño existente de la Rotonda Sullana la relación $R1 < R3$ no se cumple, es decir, los radios de salida no son mayores a los de entrada. Lo podemos observar en la Figura 21.



Figura 21. Radios de entrada y salida de Rotonda de Sullana.
(Fuente: Elaboración propia)

La nueva propuesta, mejora esta relación, que induce a que el conductor disminuya la velocidad e ingreso a la rotonda y salga con mayor comodidad de ésta tal como se muestra en la Figura 22.

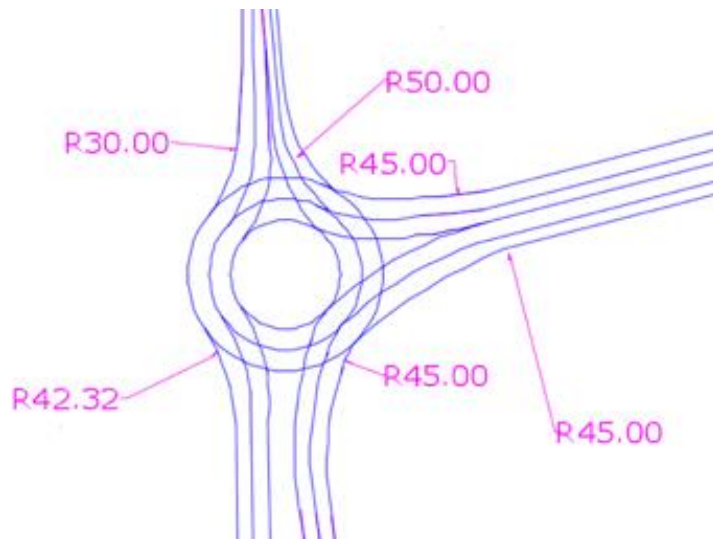


Figura 22. Radios de entrada y salida de nueva propuesta.

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.5 Ángulo de entrada y ángulo de salida

El diseño existente de la rotonda de Sullana no cumple con los ángulos de entrada ni de salida, según normativa propuesta.

Es importante mencionar, de acuerdo a la normativa española, que ángulos muy pequeños interfieren el funcionamiento propio de la rotonda, pues obligan a los conductores a mirar hacia atrás para verificar si viene algún vehículo y favorecen la entrada a velocidad elevada, incluso sin respetar la prioridad del tráfico que circula por la calzada anular. El esquema de ángulos de la rotonda existente se muestra en la Figura 23. Aplicando los criterios de la nueva propuesta, los ángulos de entrada y salida se encuentran entre 20 y 40 grados, favoreciendo la entrada con disminución de velocidad como indica la Figura 24.

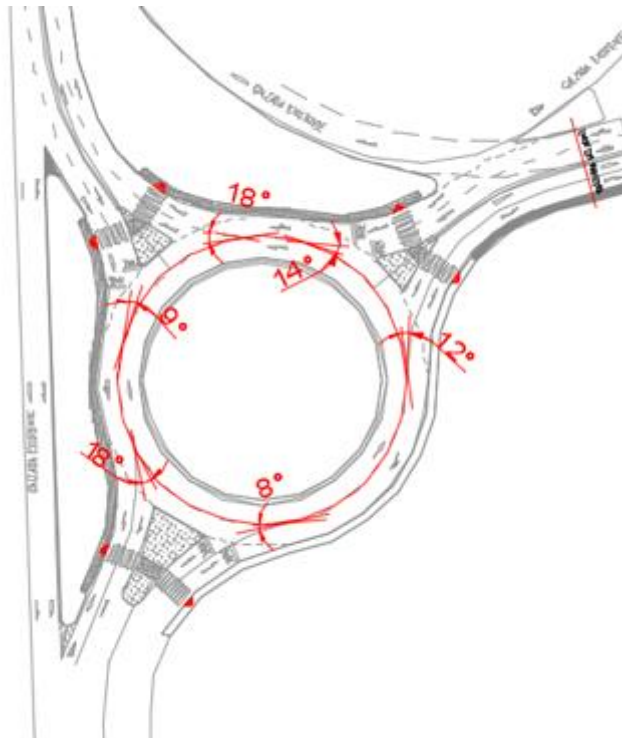


Figura 23. Ángulos de entrada y salida de rotonda existente.
(Fuente: Elaboración propia)

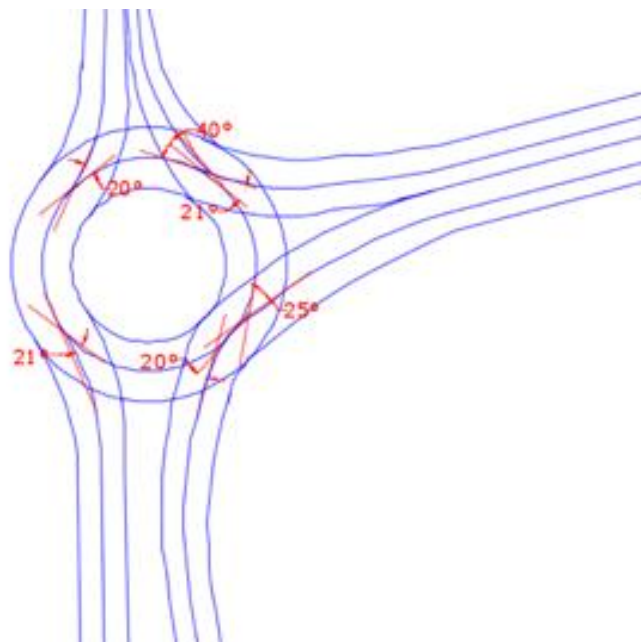


Figura 24. Ángulos de entrada y salida de rotonda propuesta.
(Fuente: Elaboración propia)

5.1.6 Ancho de entrada y salida

Los anchos de entrada y salida en la rotonda existente se pueden apreciar en la Figura 25. Teniendo en cuenta los límites de la nueva normativa propuesta, se desarrolla la rotonda indicada en la Figura 26.

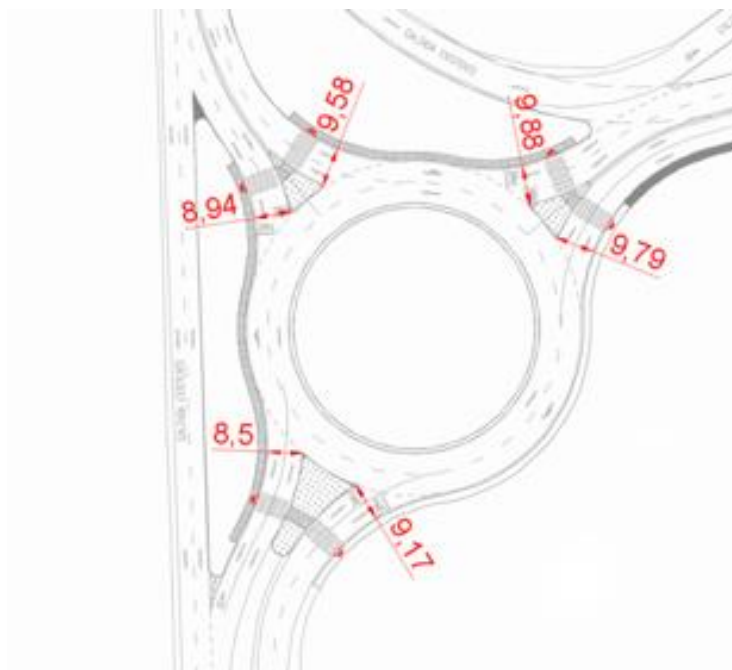


Figura 25. Ancho de entrada y salida de rotonda existente.

(Fuente: Elaboración propia)

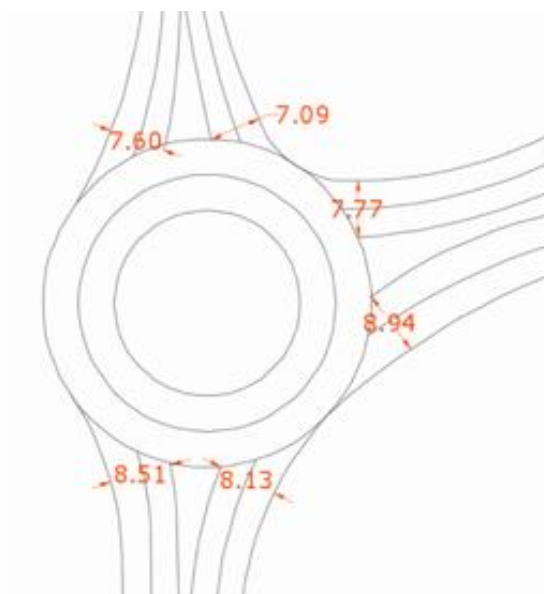


Figura 26. Ancho de entrada y salida de nueva propuesta.

(Fuente: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla 8 con valores comparativos de anchos de entrada y salida, entre diseño existente y nuevo diseño.

Tabla 8. Valores comparativos de anchos de entrada y salida entre rotonda existente y nueva propuesta.

Descripción	Rotonda existente	Nueva Propuesta
Piura- Las Lomas		
Ancho Entrada	9.17 m	8.13 m
Ancho Salida	9.79 m	8.94 m
Las Lomas- Sullana		
Ancho Entrada	9.88 m	7.77 m
Ancho Salida	9.58 m	7.09 m
Sullana- Piura		
Ancho Entrada	8.94 m	7.60 m
Ancho Salida	8.50 m	8.51 m

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.7 Visibilidad

Ambos diseños cumplen con la verificación de distancia de visibilidad de parada.

5.1.8 Islas divisorias

Respecto a las isletas divisorias, en el diseño actual existen dos que no cumplen con la longitud mínima recomendada en la nueva propuesta normativa, tal como se observa en la Figura 27. Cabe precisar que tampoco cumplen con las áreas establecidas en la norma DG 2014. En la Figura 28 se muestra el dimensionamiento de isletas cumpliendo con la normativa propuesta.



Figura 27. Islas divisorias de rotonda existente.

(Fuente: Elaboración propia)

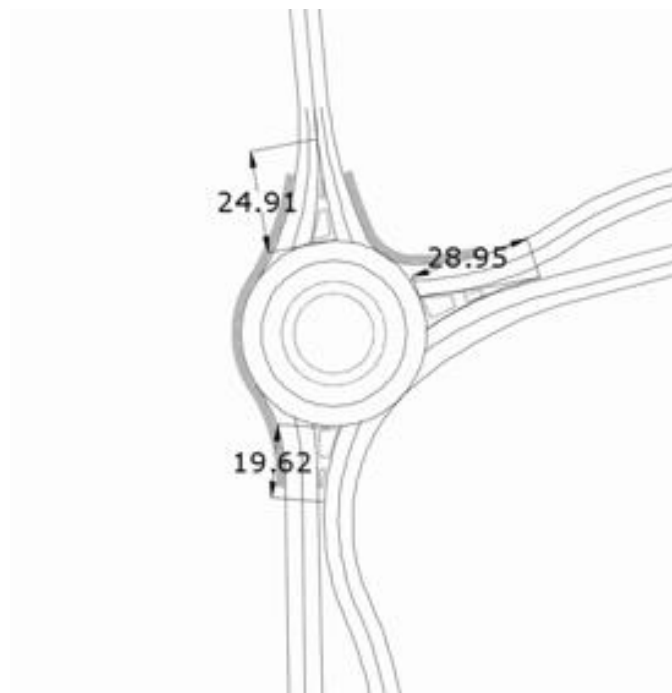


Figura 28. Islas divisorias de nueva propuesta.

(Fuente: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla 9 con valores comparativos de medidas de isletas, entre diseño existente y nuevo diseño.

Tabla 9. Valores comparativos de longitudes de isletas divisorias entre rotonda existente y nueva propuesta.

Descripción	Rotonda existente	Nueva Propuesta
Piura- Las Lomas		
Longitud Isleta	23.00 m	19.62 m
Las Lomas- Sullana		
Longitud Isleta	14.51 m	28.95 m
Sullana- Piura		
Longitud Isleta	14.47 m	24.91 m

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.9 Curva y contra curva en el acceso de entrada

Por otro lado, en la Figura 30 se muestra el trazo de radios necesarios para la generación de curva y contra curva de entrada en las vías de doble calzada. En la Figura 31 se indica el diseño final con los radios de entrada y salida.

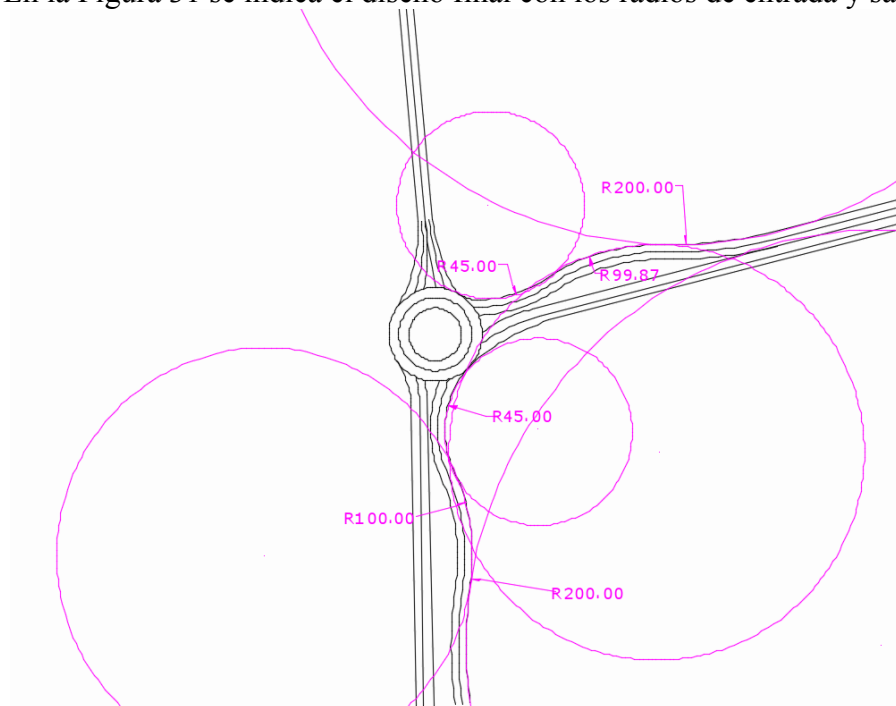


Figura 29. Radios necesarios para diseño de curva y contracurva.

(Fuente: Elaboración propia)

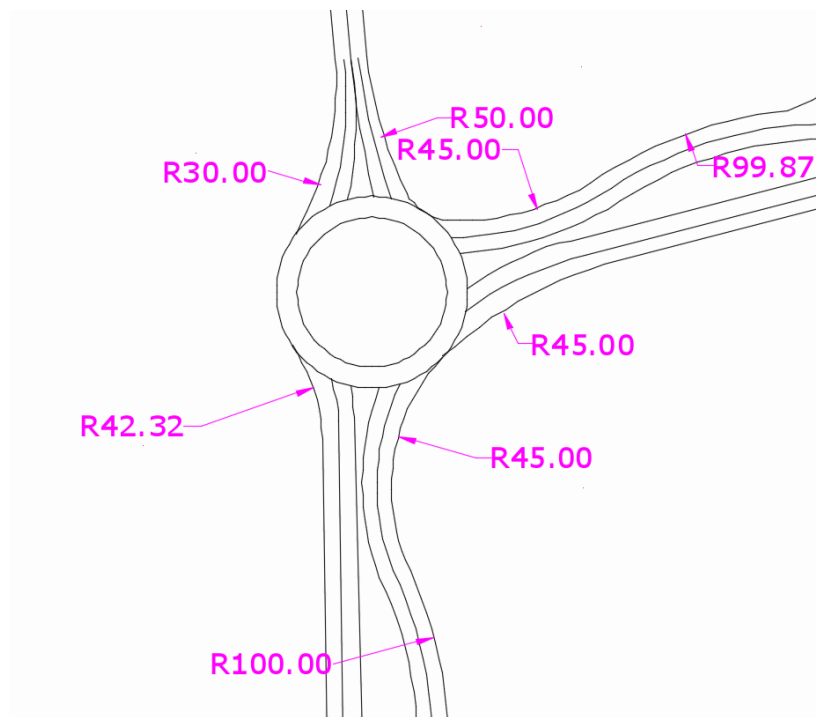


Figura 30. Diseño final con curva y contracurva.

(Fuente: Elaboración propia)

5.2 Rediseño

Finalmente, en la Figura 32 se muestra el detalle del nuevo diseño superpuesto sobre la rotonda existente. En la Figura 33 se muestra el mismo detalle con mayor amplitud, debiéndose indicar que la intersección adyacente donde existen una serie de islas divisorias, tendría que ser resuelta como una intersección T con canalización simple.

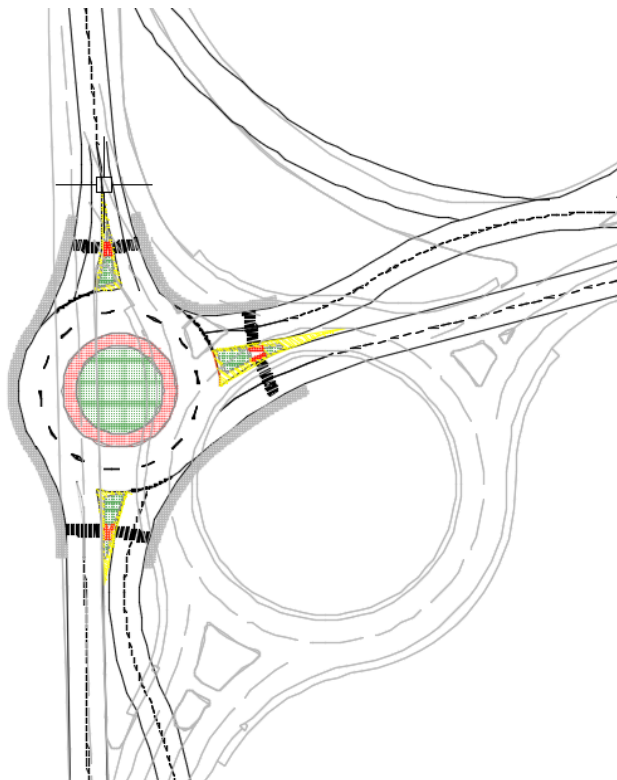


Figura 31. Nuevo diseño de rotonda superpuesto con diseño existente.

(Fuente: Elaboración propia)

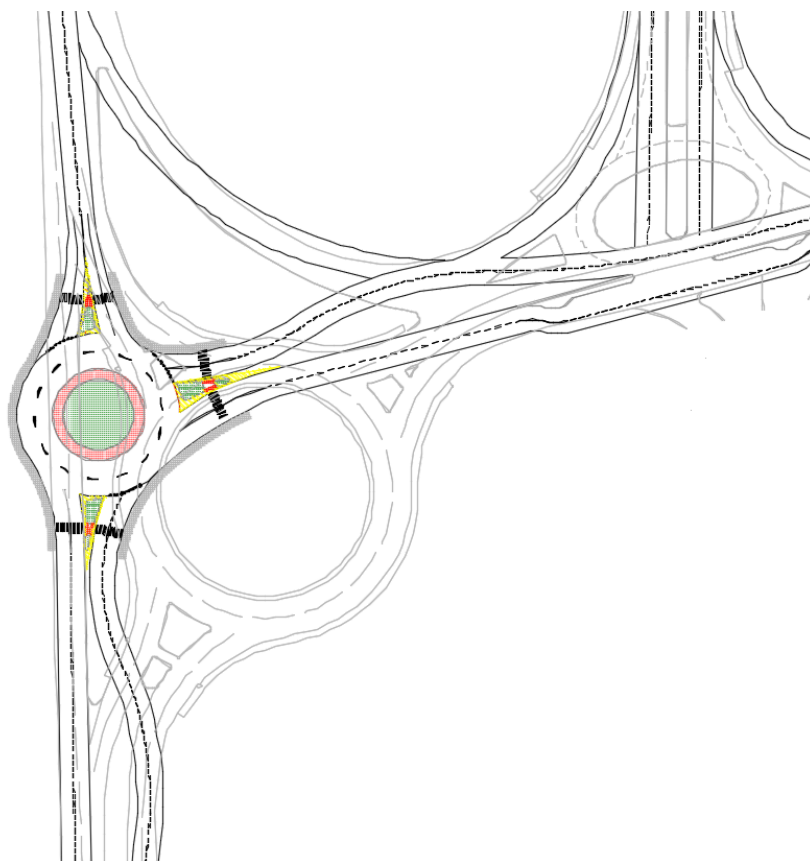


Figura 32. Nuevo diseño de rotonda superpuesto con diseño existente con mayor detalle.

(Fuente: Elaboración propia)

5.3 Cálculo de Capacidad del nuevo diseño

Método TRRL

Al nuevo diseño de la rotonda Sullana se le aplicó las ecuaciones, desde la 3 hasta 9 para obtener un análisis de capacidad de la rotonda.

Se reemplazó los datos de las ecuaciones con datos del diseño geométrico:

e	:	7.09 m (valor mínimo encontrado en el re diseño)
v	:	7.50 m
l'	:	20.00 m
D	:	45 m.
$\emptyset$	:	20°
R	:	45 m.

Se reemplazó valores en la Ecuación 9.

$$S = \frac{1.6 \times (7.09 - 7.50)}{20} = -0.0328$$

En la Ecuación 8:

$$x = v + \frac{(e - v)}{(1 + 2s)} = 7.50 + \frac{(7.09 - 7.50)}{(1 + (-0.0328))} = 7.076$$

En la Ecuación 7:

$$t = 1 + \left[\frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}} \right] = 1 + \left[\frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{45-60}{10}\right)}} \right] = 1.40$$

En la Ecuación 6, 5 y 4:

$$fc = 0.210 \times t \times (1 + 0.2x) = 0.210 \times 1.40 \times (1 + 0.2 \times 7.076) = 0.71$$

$$F = 303 \times x = 303 \times 7.076 = 2,144$$

$$\begin{aligned} k &= 1 - 0.00347 \times (\emptyset - 30) - 0.987 \times \left(\frac{1}{R} - 0.05 \right) \\ &= 1 - 0.00347 \times (20 - 30) - 0.987 \times \left(\frac{1}{45} - 0.05 \right) = 1.06 \end{aligned}$$

Y los resultados de las Ecuaciones 6, 5 y 4, se reemplazaron en la Ecuación 3:

$$Qe = k \times (F - fc \times Qc) = 1.06 \times (2,144 - 0.71 \times Qc)$$

$$Qe = 2,272.64 - 0.753Qc$$

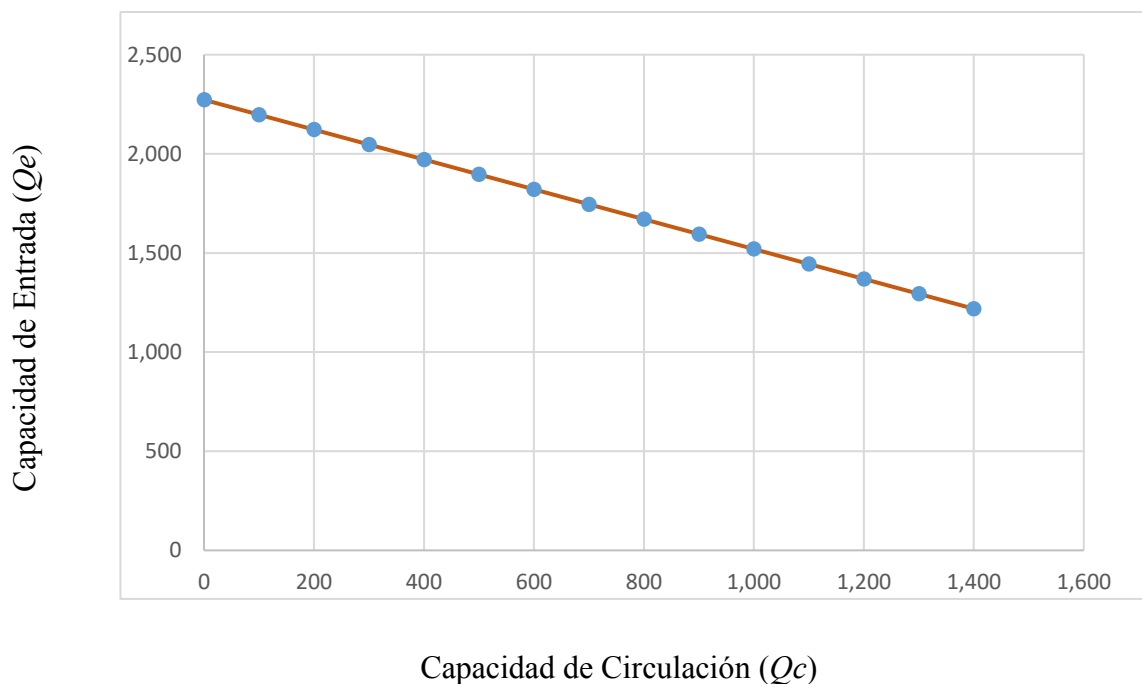
Para esta relación se elaboró la Tabla 10 con valores de Qc para resultados de Qe.

Tabla 10. Valores de Q_e de acuerdo al método TRRL.

Q_c (veh/hr)	Q_e (veh/hr)
0	2,273
100	2,197
200	2,122
300	2,047
400	1,971
500	1,896
600	1,821
700	1,746
800	1,670
900	1,595
1,000	1,520
1,100	1,444
1,200	1,369
1,300	1,294
1,400	1,218

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se presenta la Figura 34, que representa la capacidad de entrada vs la capacidad de circulación para cualquiera de los 3 accesos de la nueva propuesta de la rotonda Sullana.

Figura 33. Relación de Q_e vs Q_c de acuerdo al método TRRL.

(Fuente: Elaboración propia)

Para validar el nuevo diseño, se ha recurrido a estudios de tráfico reales y actuales de la localidad para obtener los valores de IMDA de los tres accesos que se reflejan en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos actuales de tránsito en la rotonda de Sullana.

Tránsito de entrada y salida a Rotonda		
Acceso a la rotonda	Tránsito Actual	
	Q_e	Q_s
Piura*	490 uve/hr	401 uve/hr
Sullana**	495 uve/hr	515 uve/hr
Las Lomas***	279 uve/hr	290 uve/hr

(Fuente: (*) Estudio de Tráfico Evitamiento COVISOL, 2013, página 28, se puede encontrar en el Anexo 1 de esta tesis; (**) Estudio de Tráfico Piura-Sullana, COVISOL, 2009, página 15, se puede encontrar en el Anexo 2 de esta tesis. (***) Resumen Ejecutivo de la Carretera Sullana- Tambogrande, 2015, folio 6, se puede encontrar en el Anexo 3 de esta tesis.)

Con estos valores se ha elaborado la Tabla 12, que muestra el proceso iterativo entre los flujos vehiculares entrantes a la rotonda.

Tabla 12. Iteración para encontrar los valores de entrada a la rotonda de acuerdo al método TRRL.

Iteración	Q_{c1}	Q_{e1}	Q_{s1}	Q_{c2}	Q_{e2}	Q_{s2}	Q_{c3}	Q_{e3}	Q_{s3}	Q_{c1}
1	0	2,273	290	1,983	780	401	379	1,987	515	1,472
2	1,472	1,164	290	874	1,615	401	1,214	1,359	515	844
3	844	1,637	290	1,347	1,258	401	857	1,627	515	1,112
4	1,112	1,435	290	1,145	1,410	401	1,009	1,513	515	998
5	998	1,521	290	1,231	1,345	401	944	1,562	515	1,047
6	1,047	1,485	290	1,195	1,373	401	972	1,541	515	1,026
7	1,026	1,500	290	1,210	1,361	401	960	1,550	515	1,035
8	1,035	1,494	290	1,204	1,366	401	965	1,546	515	1,031
9	1,031	1,496	290	1,206	1,364	401	963	1,547	515	1,032

(Fuente: Elaboración propia)

Iteración 1: se inicia con $Q_{c1} = 0$, de la fórmula $Q_{e1} = 2,273$

Luego, $Q_{c2} = Q_{e1} - Q_{s1} = 2,273 - 290 = 1,983$

Con la fórmula, calculamos $Q_{e2} = 2,273 - 0.753 (1,983) = 780$

Entonces, $Q_{c3} = Q_{e2} - Q_{s2} = 780 - 401 = 379$

Finalmente, con la formula: $Q_{e3} = 2,273 - 0.753 (379) = 1,987$

Luego, $Q_{c1} = Q_{e3} - Q_{s3} = 1,987 - 515 = 1,472$; con este valor pasamos a la segunda iteración comenzando con $Q_{c1} = 1,472$ y repetimos el procedimiento anteriormente descrito.

Finalizamos en la iteración número 9.

Con los valores de capacidad de entrada de la Tabla 11 y con los datos de iteración de la fila 9 de la Tabla 12, encontramos el grado de saturación, mostrado en la Tabla 13. Se observa que la relación demanda/capacidad cumple con la recomendación de diseño de no exceder el 0.85, tal como lo indica el Roundabouts del Prof. F. Navin, 2011.

Tabla 13. Valores de Grado de saturación de acuerdo al método TRRL.

Tránsito Actual	Capacidad	Demanda/ Capacidad
279	1,496	0.19 < 0.85 ok
490	1,364	0.36 < 0.85 ok
495	1,547	0.32 < 0.85 ok

(Fuente: Elaboración propia)

Artículo Publicado

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS

III CONGRESO IPMA-LATNET

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA NORMA DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE ROTONDAS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DG 2014 APLICADA AL NUEVO DISEÑO DE ROTONDA SULLANA EN LA AUTOPISTA DEL SOL

Melina García ^a, Jorge Timaná ^b

^a Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Av. Ramón Mujica 131 Piura.

^b Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Programa Master en Ingeniería Civil con mención en Vial, Av. Ramón Mujica 131 Piura.

* Melina García Seminario

Correo electrónico: melina.garcia.seminario1@gmail.com

Palabras clave: seguridad vial, diseño geométrico, rotonda, manual de diseño.

RESUMEN

La actualización de las Normas peruanas de carreteras realizada en los últimos años constituye un avance importante para la ingeniería vial local. En el caso del diseño geométrico de rotondas, las normas internacionales han ido perfeccionándose hasta llegar a cambiar criterios básicos de concepto. En la norma peruana actualizada, los criterios antiguos se mantienen, considerando como criterio principal de análisis y diseño el dimensionamiento de zonas de entrecruzamiento. Se presenta una propuesta de modificación de la sección correspondiente al diseño de intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de Diseño Geométrico DG 2014, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aplicando luego los nuevos criterios propuestos al diseño de la geometría de la rotonda ubicada al inicio de la Autopista del Sol, en la ciudad de Sullana. Como resultado, el nuevo diseño geométrico elaborado para la rotonda de Sullana, muestra un cambio sustancial en la geométrica y en la estética de la carretera.

Keywords: road safety, geometric design, roundabouts, design manual.

ABSTRACT

The updating of the Peruvian Highway Regulations in recent years constitutes an important advance for local road engineering. In the case of the geometric design of roundabouts, the international norms have been perfected until changing basic criteria of concept. In the updated Peruvian standard, the old criteria are maintained, considering as the main criterion of analysis and design the dimensioning of the tissue zones. A modification of the section corresponding to the design of rotational intersections or roundabouts is proposed in the Manual of Geometric Design DG 2014 of the Ministry of Transport and Communications. The application of the proposed new criteria is developed for the design of the geometry of the roundabout located at the beginning of the Autopista del Sol, in the city of Sullana. As a result, the new geometric design developed for the Sullana roundabout, shows a substantial change in the geometry and aesthetics of the road.

2. Introducción

La actualización de las Normas peruanas de carreteras realizada en los últimos años constituye un avance importante para la ingeniería vial local. Su cumplimiento sugiere una enorme responsabilidad para diseñadores, constructores y entidades competentes, pues contribuye con un aspecto importante de la seguridad vial: Cumplir con la seguridad normativa de los proyectos viales. Mejorar las normas requiere de un arduo trabajo de evaluación continua de las operaciones del tránsito, con la finalidad de encontrar factores de riesgo que pudieran presentarse y necesiten ser mitigados. En el caso del diseño geométrico de rotondas, las normas internacionales han ido perfeccionándose hasta llegar a cambiar criterios básicos de concepto. En la norma peruana actualizada, los criterios antiguos se mantienen, razón por la cual urge la incorporación de nuevos estándares, cuya efectividad para reducir la severidad de accidentes viales ha sido probada con éxito.

3. Justificación: La seguridad Vial en Perú

En nuestro país, aún es frecuente cargar toda la culpa de un accidente al conductor o al peatón. Actualmente, las estadísticas del Ministerio de Transportes reflejan responsabilidad exclusiva del conductor en el 84 % de los casos (Benavente, 2016). Estos registros podrían no permitir enfrentar el problema de la seguridad vial de manera sistémica, pues seguimos identificando al error humano como el componente principal de los accidentes de tránsito. Como bien dice el profesor Oliver Carsten (2007, p. 11) de la Universidad de Leeds del Reino Unido "...Si identificamos el error humano como el componente principal de los accidentes de tránsito e implícitamente culpamos al conductor, corremos el riesgo de estar culpando a la víctima de un sistema vial deficiente...". Esto plantea un primer reto para la seguridad vial nacional: Reconocer que aunque parezca obvio, el problema no solo es del conductor sino del sistema inseguro.

Con la finalidad de tener mejores datos y mejor respuesta a la problemática de la seguridad vial, el Consejo Nacional de Seguridad Vial (CNSV) del Perú, planteó la implementación del Observatorio de Seguridad Vial, propuesta aprobada con DL 1216 del 24 de setiembre de 2015. A la fecha sin embargo, esta propuesta aún no ha sido implementada (Benavente, 2016). El observatorio permitiría que el CNSV con el apoyo de la Policía Nacional del Perú, defina metodologías, contenidos y formatos estándares de recolección de datos y procesamiento que permita la identificación adecuada de puntos de alto riesgo de accidentes (puntos negros), para la implementación de medidas correctivas. Propone también la implementación de auditorías de seguridad vial a nivel nacional.

Por otro lado, siendo la ingeniería una parte fundamental para lograr un sistema vial seguro, el cumplimiento de las normas técnicas de diseño y construcción vendría a ser la primera consideración a tener en cuenta por los diseñadores para garantizar seguridad. A nivel de diseño, es común asumir que para contar con vías seguras, basta con cumplir las normas. Se asocia la seguridad al cumplimiento de estándares normativos, que en realidad lo que hacen es ofrecer límites entre lo seguro y lo inseguro. Hauer (1999) afirma que el nivel de seguridad que se logra cumpliendo las normas queda en el ámbito de la seguridad normativa, denominada también seguridad nominal.

Los diseñadores suelen asumir que todas las Normas son buenas porque lo manda la autoridad. Sin embargo, podría darse el caso de que existan normas obsoletas, algunas no probadas o aquellas otras que no tienen efecto real en la seguridad.

Para el caso particular de rotondas o intersecciones rotatorias, en el Perú, la sección de diseño geométrico de intersecciones rotatorias o rotondas (sección 502.13), del Manual de diseño

Tabla 1: Criterios de Diseño Geométrico de rotondas

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

(Diseño Geométrico, 2014, p. 278)

6. Evaluación de Normas Internacionales de referencia

A partir de normativa internacional, Torres (2015) comparó distintos criterios de análisis operacional y diseño geométrico de rotondas. Se realizó una comparación de los modelos de análisis operacionales utilizados por las normas del Perú, Reino Unido, Estados Unidos y Australia, así como la información geométrica requerida por la misma normativa para el diseño de rotondas. En este trabajo se ha incluido además, criterios de la norma española. Se describe a continuación cinco criterios principales que contribuyen con la mejora de la geometría del diseño de rotondas.

5.1.1 Alineamientos

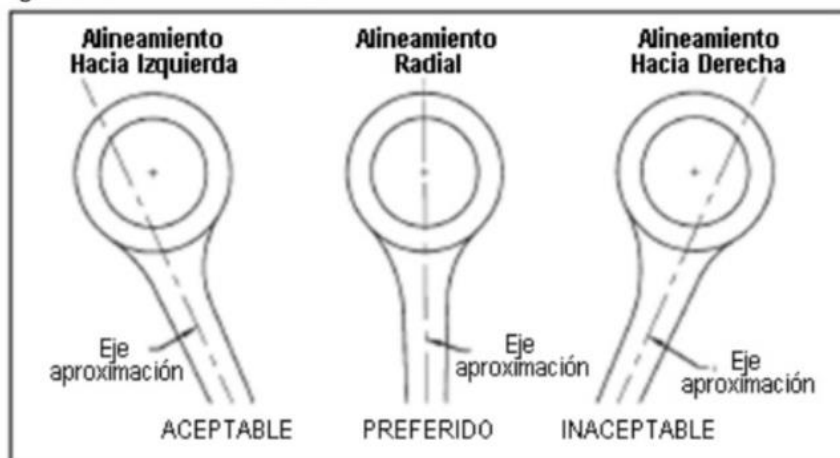
En el trabajo mencionado se resaltan criterios geométricos que la norma peruana no contempla. Un primer criterio básico es los alineamientos. Tanto la norma americana como la norma australiana indican que la ubicación de la rotonda será óptima cuando las líneas de los ejes de aproximación pasan por su 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, como se indica en la figura 2. El desplazamiento a la derecha no es aceptable pues al tener un ángulo más tangencial reduce la posibilidad de dar mayor curvatura, induciendo velocidades altas al ingreso a la rotonda.

5.1.2 Diámetros de círculo inscrito, isleta central y ancho de calzada

El diámetro del círculo inscrito es la suma del diámetro de la isleta central y la doble calzada circulatoria. La guía de Norteamérica indica que el tamaño del diámetro está determinado por la necesidad de obtener deflexión o la necesidad de ajustar entradas y salidas alrededor de la circunferencia con radios razonables de entrada y salida. Indica esta guía que diámetros muy grandes (mayores de 60 metros) no son recomendables, pues inducen altas velocidades de circulación y colisiones de mayor gravedad o volcaduras. Los diámetros recomendados por la norma americana se indican en la Figura 3.

Figura 2: Alineamiento de entradas

Figura 6-18. Alineamiento radial de las entradas.



(Roundabouts: An information Guide. Federal Highway Administration, FHWA, Chapter 6, p. 145)

Figura 3: Criterios de Diseño Geométrico de rotondas

Figura 6-22. Anchos mínimos de carril circulatorio para rotondas de dos-carriles.

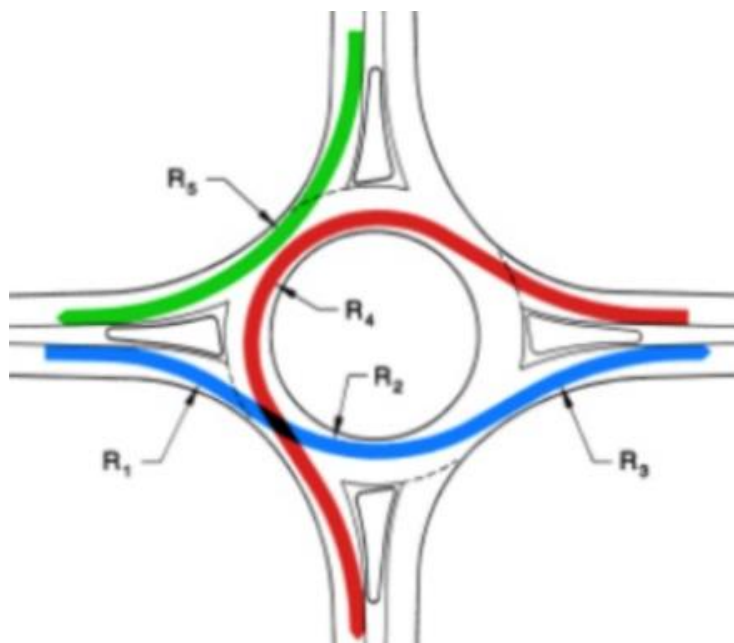
Diámetro Círculo Inscrito	Ancho Mínimo Carril Circulatorio*	Diámetro Isleta Central
45 m	9,8 m	25,4 m
50 m	9,3 m	31,4 m
55 m	9,1 m	36,8 m)
60 m	9,1 m	41,8 m
65 m	8,7 m	47,6 m
70 m	8,7 m	52,6 m

(Roundabouts: An information Guide. Federal Highway Administration, FHWA, Chapter 6, p. 150)

5.1.3 Radio de entrada, radio de salida, ángulo de entrada y ángulo de salida

En este caso, la norma española indica que los radios de entrada se sitúan entre 20 y 50 metros, con la finalidad de realizare un efecto de disminución de velocidad. Además, los ángulos de entrada deben estar comprendidos entre 20 y 60 grados. Ángulos más grandes favorecen los conflictos en forma de cruce. Para una salida fácil, la norma española sugiere un mínimo de 40 metros como radio de salida.

Por otro lado, 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 en la Figura 4) 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.

Figura 4: Radios de trayectoria de vehículos

(Roundabouts: An information Guide. Federal Highway Administration, FHWA, Chapter 6, p. 139)

5.1.4 Ancho de entrada y salida, visibilidad e islas divisorias

Según la norma americana, para garantizar seguridad, el ancho debe mantenerse en un mínimo. Para doble carril recomienda entre 7.30 m y 9.10 m. Los mismos valores para los anchos de salida.

Con respecto a las isletas divisorias, cuyo propósito es proteger a los peatones, ayudar a controlar la velocidad, guiar tránsito en la rotonda e impedir movimientos en sentido contrario, establece longitudes de entre 15 a 30 m.

Las normas mencionadas, incluida la peruana, establecen criterios para el cálculo de distancia de visibilidad de parada.

5.1.5 Uso de carriles libres y curva y contra curva en el acceso de entrada

La norma americana indica que por razones de seguridad, los carriles de giro libre deben evitarse en las zonas urbanas, por el riesgo que representan para peatones.

Con respecto al uso de curva y contra curva en el acceso de entrada, para rotonda de dos carriles, la norma australiana recomienda empezar con una curva de entrada interior que sea curvilínea tangencial a la isleta central, con un radio pequeño, y luego seguir con una contra curva de mayor diámetro y al final empalmar con una curva mucho mayor, tal como se muestra en la Figura 5.

Esta geometría reduce potencialmente los choques y volcaduras dentro de la rotonda, al disminuir notablemente la velocidad de ingreso en carretera de dos carriles. Además, considera una amplia longitud desde el inicio donde empieza la curvatura, que a su vez anticipa al conductor y le da una idea de lo que se aproxima.

Figura 5: Curvas reversa en la aproximación de entrada a rotondas

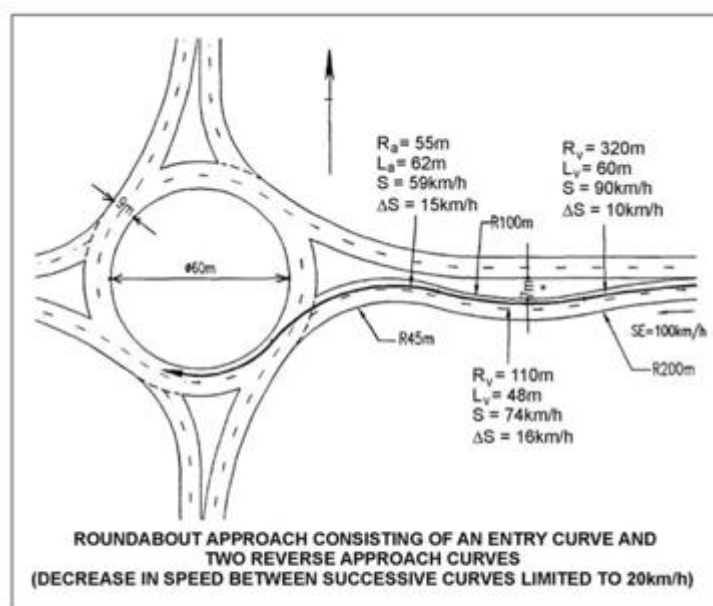


Figure 4.5: Roundabout in a high speed rural environment – two reverse curves

(Guide to road design part 4B: Roundabouts, Chapter 4, p. 25)

7. Resultado: Propuesta de normativa para diseño de rotondas en el Peru

Para el cálculo de capacidad en rotondas, se tendrá en cuenta lo establecido en la sección 211 del capítulo II Criterios y Controles Básicos para el Diseño Geométrico del Manual DG 2014.

Tener en cuenta que la ubicación de la rotonda será óptima cuando las líneas de los ejes de aproximación pasan por su centro, Si no es posible alinear los ramales al punto central, un ligero desplazamiento del ramal a la izquierda es aceptable. Aquí debe indicarse el esquema presentado en la Figura 2.

Por otro lado, a partir de la información descrita en el apartado anterior, con respecto a aspectos geométricos de rotondas que inducen la reducción de velocidad y por tanto, reducen el riesgo de colisiones, se propone modificar la sección 502.13 del Manual de Diseño Geométrico DG 2014. La modificación referida a parámetros geométricos que reemplacen a los indicados en la Tabla 1, se muestra en la Figura 6.

Además, tener en cuenta que por razones de seguridad, los carriles de giro libre deben evitarse en las zonas urbanas, por el riesgo que representan para peatones.

Para rotonda de dos carriles, es recomendable empezar con una curva de entrada interior que sea curvilínea tangencial a la isleta central, con un radio pequeño, y luego seguir con una contra curva de mayor diámetro y al final empalmar con una curva mucho mayor, tal como se muestra en la Figura 5.

Figura 6: Propuesta de criterios de Diseño Geométrico de rotondas

Descripción	Unidad	Nueva Propuesta	Descripción	Unidad	Nueva Propuesta
Diámetro de círculo inscrito	m	Mínimo 45 Máximo 55	Ángulo de salida	Grados	Mínimo 20° Máximo 60°
Isleta Central	m	Mínimo 25.4 Máximo 41.8	Visibilidad		
			Distancia visual de detención	m	46.2
Ancho de calzada	m	Mínimo 8.7 Máximo 9.8	Distancia visual de intersección	m	72.3
Radio de entrada	m	Mínimo 20 Máximo 50	Islas divisorias	m	Mínimo 15 Máximo 30
Radio de salida	m	Mínimo 40 Máximo 84	Ancho de entrada	m	Mínimo 7.30 Máximo 9.10
Ángulo de entrada	Grados	Mínimo 20° Máximo 60°	Ancho de salida	m	Mínimo 7.30 Máximo 9.10
			Velocidad de entrada rotonda urbana de carril doble	Km/h	Máxima 40

(Elaboración propia)

8. Aplicación al diseño de rotonda en Autopista El Sol - Sullana

La rotonda de ingreso a Sullana que se muestra en la Figura 7, se ubica al final de la Autopista del Sol, como transición entre una autopista de segunda clase, la carretera desvío a Tambogrande y el ingreso a la zona urbana de la ciudad. La rotonda fue diseñada con la norma DG 2001, basándose en el cálculo de secciones y longitudes de entrecruzamiento, criterios que se han mantenido invariables en la última versión de la norma, DG2014.

Figura 7: Vista en planta de la rotonda Sullana, Perú.

(a)



(b)



((a) Plano Covisol; b) Google Earth)

Esta rotonda constituye actualmente un punto crítico de alto riesgo de ocurrencia de accidentes, principalmente volteo de camiones (Figura 8). Este caso es un claro ejemplo de cómo aun cumpliendo los requisitos establecidos por las normas, el diseño no favorece el buen comportamiento del conductor y por el contrario, incrementa el riesgo de accidentes.

Se describe a continuación la relación del diseño existente con los cinco criterios analizados en este trabajo, planteando la mejora correspondiente aplicando la propuesta de modificación de la norma.

Figura 8: Camiones volteados en rotonda Sullana, Perú.

(a)



(b)



((a) Diario El Tiempo de Piura, setiembre 2015 y (b) Diario Correo de Piura, mayo 2016)

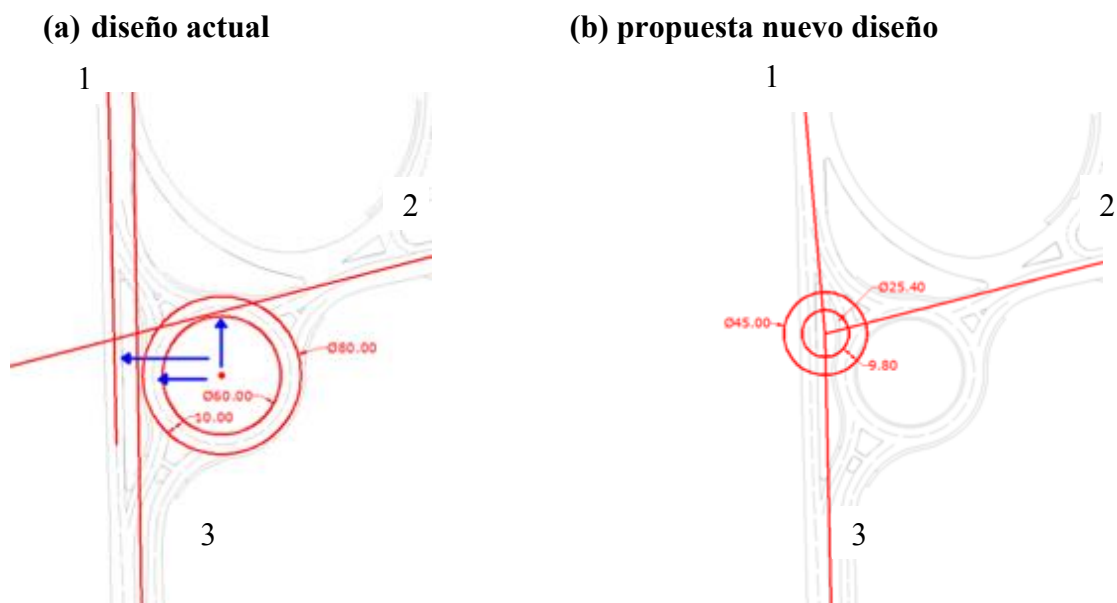
5.1.1 Alineamientos

La disposición actual de la rotonda muestra su centro desplazado con respecto a lo que sería la intersección de los ejes, tal como se muestra en la Figura 9a. En esa posición, los ejes 1 y 2 se encuentran al lado derecho de la rotonda, lo cual es inaceptable. El eje 3 se ubica a la izquierda, pero bastante alejado del centro de la rotonda. En el nuevo diseño se propone centrar la rotonda lo más cerca de la intersección de ejes, tal como se muestra en la Figura 9b.

5.1.2 Diámetros de círculo inscrito, isleta central y ancho de calzada

El diseño actual de la rotonda Sullana tiene un diámetro de círculo inscrito de 80 m.; diámetro de isleta central de 60 m., y un ancho de calzada de 10 m., tal como se indica en la Figura 9a. Calculando con la nueva propuesta de diseño, tendría un diámetro de círculo inscrito de 45 m.; diámetro de isleta central de 25.40 m., y un ancho de calzada de 9.80 m.; tal como se indica en la Figura 9b.

Figura 9: Alineamiento de ejes, círculo inscrito, isleta central y ancho de calzada circular.



El diámetro de círculo inscrito resulta más pequeño, lo que mejora la seguridad de conductor, quien se obliga a mantener velocidades bajas. Para el nuevo diseño se ha verificado el ancho de calzada para un vehículo C2R2.

5.1.3 Radio de entrada, radio de salida, ángulo de entrada y ángulo de salida

El diseño existente no cumple con los ángulos de entrada ni de salida, según normativa propuesta. En realidad, tampoco cumple con normativa peruana.

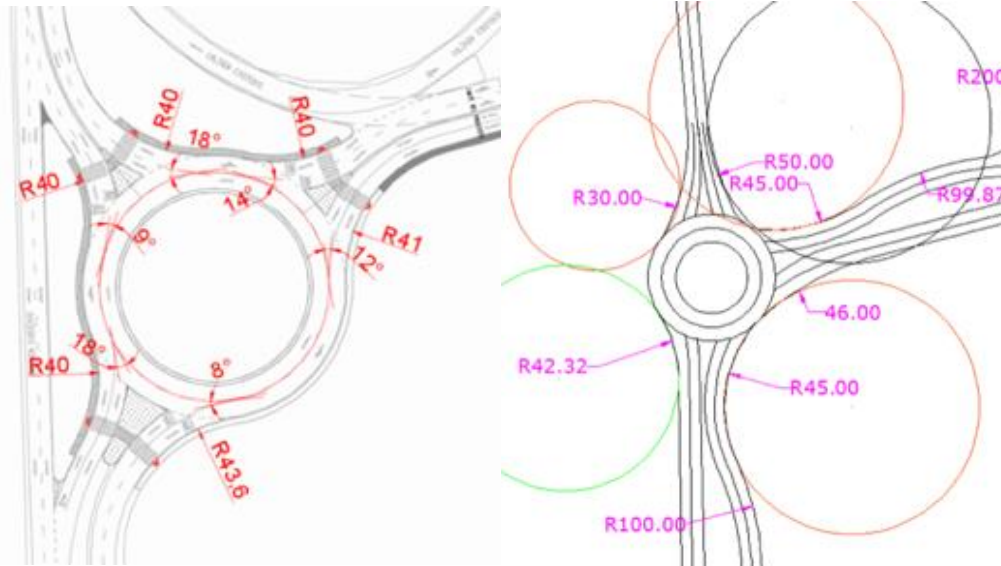
Es importante mencionar, que ángulos muy pequeños interfieren el funcionamiento propio de la rotonda (Recomendaciones sobre Glorietas, 1989, p. 22); pues obligan a los conductores a mirar hacia atrás si viene algún vehículo y favorecen la entrada a velocidad elevada, incluso sin respetar la prioridad del tráfico que circula por la calzada anular. Por otro lado, la relación $R1 < R3$ tampoco se cumple en el diseño presentado. El esquema de ángulos de la rotonda existente se muestra en la Figura 10a. Aplicando los criterios de la nueva propuesta, los ángulos se encuentran entre 20 y 40 grados, favoreciendo la entrada con disminución de velocidad (Figura 10b). Cabe señalar que los radios de salida son

mayores a los de entrada y están dentro de los parámetros recomendados para una mejor circulación.

Figura 10: Radios y ángulos de entrada y de salida

(a) diseño actual

(b) propuesta nuevo diseño



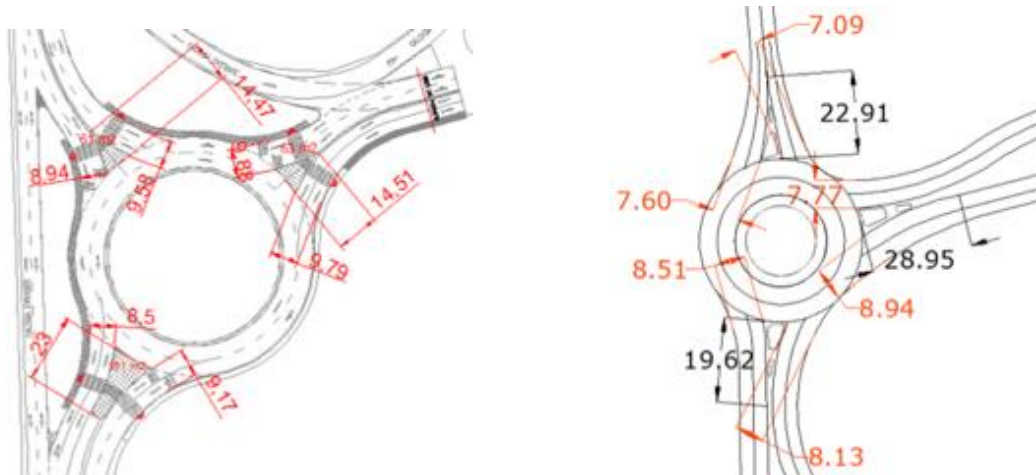
5.1.4 Ancho de entrada y salida, visibilidad e islas divisorias

Los anchos de entrada y salida en la rotonda existente se muestran en la Figura 11a. Teniendo en cuenta los límites de la nueva normativa propuesta, se desarrolla la rotonda indicada en la Figura 11b. Con respecto a la visibilidad, ambos diseños cumplen con la verificación de distancia de visibilidad de parada. Con respecto a las isletas divisorias, en el diseño actual existen dos que no cumplen con la longitud mínima recomendada en la nueva propuesta normativa, tal como se observa en la Figura 11a. Cabe precisar que tampoco cumplen con las áreas establecidas en la norma DG 2014. En la Figura 11b se muestra el dimensionamiento de isletas cumpliendo con la normativa propuesta.

Figura 11: Anchos de entrada y de salida e isletas divisorias

(a) diseño actual

(b) propuesta nuevo diseño



5.1.5 Uso de carriles libres y curva y contra curva en el acceso de entrada

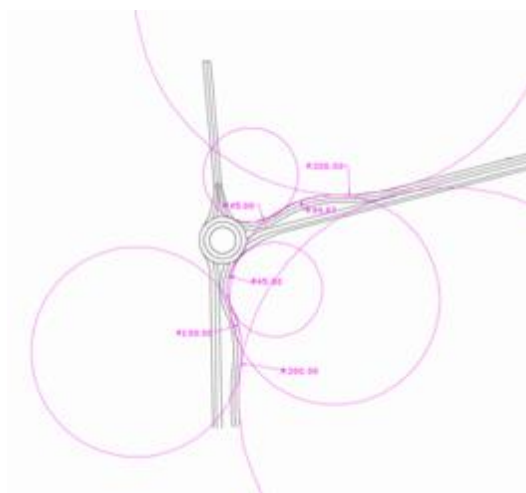
De acuerdo con la nueva propuesta normativa, los carriles de desvío para giro libre a la derecha deben evitarse en zonas urbanas, para reducir el riesgo para peatones. Como puede observarse en las figuras anteriores, la nueva propuesta de diseño elimina el carril de desvío para giro libre a la derecha, que se encuentra en la parte superior de la rotonda original.

Por otro lado, en la Figura 12a se muestra el trazo de radios necesarios para la generación de curva y contra curva de entrada en las vías de doble calzada. En la figura 12b se indica el diseño final.

Finalmente, en la Figura 13a se muestra el detalle del nuevo diseño superpuesto sobre la rotonda existente. En la Figura 13b se muestra el mismo detalle con mayor amplitud, debiéndose indicar que la intersección adyacente donde existen una serie de islas divisorias, tendría que ser resuelta como una intersección T con canalización simple.

Figura 12: Curva y contra curva

(a) diseño actual



(b) propuesta nuevo diseño

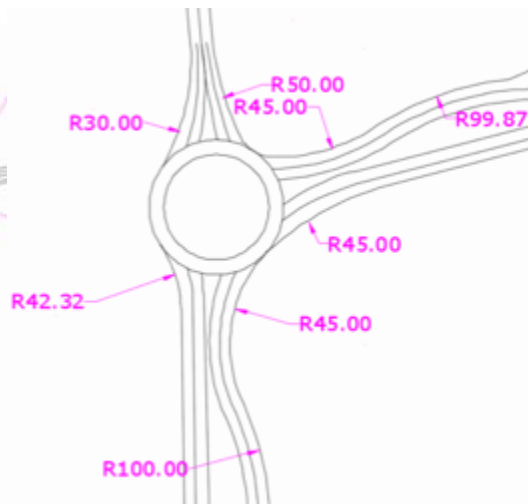


Figura 13: Diseño final con nueva propuesta normativa

(a) rotonda



(b) rotonda e intersección adyacente



9. Conclusiones

La sección correspondiente al diseño intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de diseño geométrico DG 2014, debe ser modificada, debido a que los criterios de análisis y diseño establecidos no permiten desarrollar diseños simples y consistentes.

La ocurrencia de accidentes con un mismo patrón, ocurridos en los últimos años en la rotonda de Sullana, llevaron a una evaluación exhaustiva de las condiciones geométricas. La evaluación indicó que aún cuando el diseño existente cumple con la normativa peruana vigente, la verificación de otros criterios que no se indican en la norma local, como el alineamiento de los ejes entre otros, reflejan defectos geométricos del resultado final.

A partir de la revisión de normas internacionales, de Australia, Estados Unidos y España, se ha formulado una propuesta de modificación de la sección correspondiente al diseño de intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de Diseño Geométrico DG 2014, del Ministerios de Transportes y Comunicaciones, aplicando luego los nuevos criterios propuestos al diseño de la geometría de la rotonda ubicada al inicio de la Autopista del Sol, en la ciudad de Sullana.

El nuevo diseño geométrico elaborado para la rotonda de Sullana, muestra un cambio sustancial en la geometría y en la estética de la carretera. El tamaño de la rotonda, las aproximaciones con curvas y contra curvas que inducen reducción de velocidad y la verificación de ángulos de deflexión, concluyen en un diseño mucho más simple y funcional.

Bibliografía

- (1) *Human Factors for Highway Engineers. Edited by Ray Fuller & Jorge. A. Santos. 2008.*
- (2) *Problemática del Tránsito y seguridad vial en el Perú. Consejo Nacional de Seguridad Vial. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2016.*
- (3) *La seguridad en las normas de diseño geométrico. Ezra Hauer, 1999.*
- (4) *Highway Capacity Manual, HCM 2010, Transportation Research Board.*
- (5) *Roundabouts: An information Guide. Federal Highway Administration, FHWA.*
- (6) *Guide to road design part 4B: roundabouts. AUSROADS.*
- (7) *Tesis “Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las rotondas modernas”, Ana María Torres Alzamora, 2015. Universidad de Piura.*

Conclusiones

La sección correspondiente al diseño intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de diseño geométrico DG 2014, debe ser modificada, debido a que los criterios de análisis y diseño establecidos no permiten desarrollar diseños simples y consistentes.

La ocurrencia de accidentes con un mismo patrón, ocurridos en los últimos años en la rotonda de Sullana, llevaron a una evaluación exhaustiva de las condiciones geométricas. La evaluación indicó que aún cuando el diseño existente cumple con la normativa peruana vigente, la verificación de otros criterios que no se indican en la norma local, como el alineamiento de los ejes entre otros, reflejan defectos geométricos del resultado final.

A partir de la revisión de normas internacionales, de Australia, Estados Unidos y España, se ha formulado una propuesta de modificación de la sección correspondiente al diseño de intersecciones rotatorias o rotondas, del Manual de Diseño Geométrico DG 2014, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aplicando luego los nuevos criterios propuestos al diseño de la geometría de la rotonda ubicada al inicio de la Autopista del Sol, en la ciudad de Sullana.

El nuevo diseño geométrico elaborado para la rotonda de Sullana muestra un cambio sustancial en la geometría y en la estética de la carretera. El tamaño de la rotonda, las aproximaciones con curvas y contra curvas que inducen reducción de velocidad y la verificación de ángulos de deflexión, concluyen en un diseño mucho más simple y funcional. La funcionalidad se demuestra con el cumplimiento del criterio de capacidad, distintos a Wardrop, quedando demostrado en esta tesis que son obsoletos.

Bibliografía

American Association of State Highway & Transportation Officials, AASHTO: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (6ta Edición)*.

Brilon, W. & B. Stuwe (1993). *Capacity and Design of Traffic Circles in Germany*. National Research Council, Washington D.C.

Darder, V. (2005) *Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización*. Tesis. Madrid – España.

Estudio de Tráfico Evitamiento COVISOL (2013).

Estudio de Tráfico Piura- Sullana, COVISOL (2009).

Feria, R. (2001). *Técnicas de Análisis de Accidentes de Tránsito con Aplicación en la ciudad de Piura*. Universidad de Piura, Piura – Perú.

Harrison G., RTA NSW (2011). *Guide to Road Design (2da Edición)* Australia: Austroads Ltd.

Kennedy, J. (2007). *International Comparison of roundabout design guidelines*. Hiighways Agency. Estados Unidos.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección de Carreteras, MTC (2014). *Manual de Diseño Geométrico para carreteras DG-2013*. Perú.

Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción del Perú, MTC (2000) – *Manual de Tránsito*. Perú.

Navin, F. (2011), Roundabouts.

Resumen Ejecutivo de la Carretera Sullana- Tambogrande (2015).

Schoon, C.C. & J. Van Minnen. *Accidents on Roundabouts: Second Study into the Road Hazard presented by Roundabouts, particularly with Regard to Cyclists and Moped riders*. Institute for Road Safety Research in the Netherlands, Netherlands.

Segovia León, J. (2004). *Aplicación de la Ingeniería de Tránsito al diseño de glorietas urbanas*. Tesis de titulación no publicada, Universidad de Piura, Piura – Perú.

Timaná, J. (2008). *Técnicas de Análisis de Accidentes de Tránsito: Seguridad Vial* Universidad de Piura, Piura – Perú.

Transportation Research Board, National Research Council. HCM (2010) *Highway Capacity Manual*.

US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, MUTCD (2009) *Manual on Uniform Traffic Control Devices, Edición Millennium*, EUA.

U.S Department of Transportation - Federal Highway Administration (2011). *Roundabouts: An Informational Guide (2da Edición)*. EUA

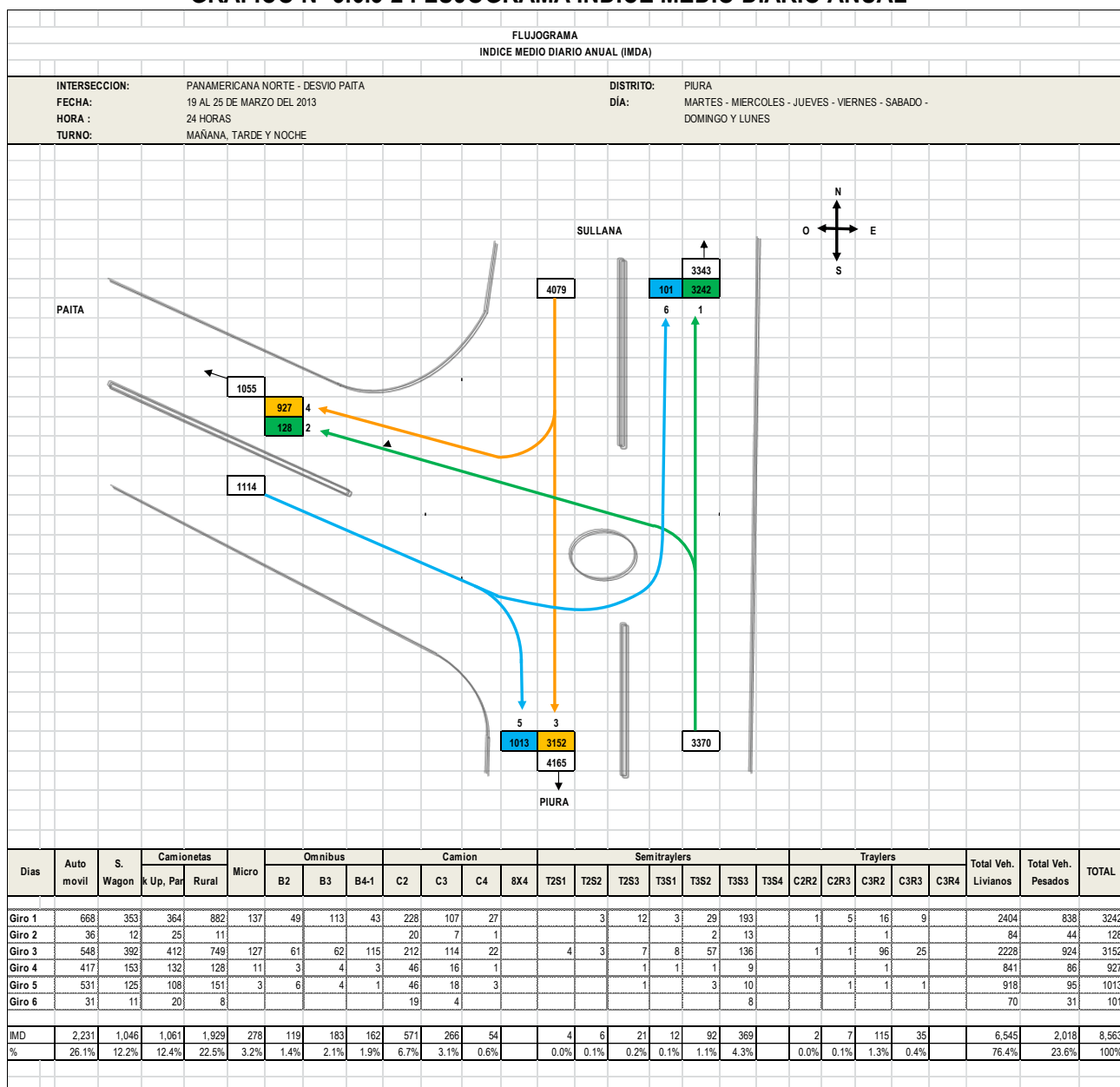
ANEXO 1

Estudio de Tráfico Evitamiento COVISOL, 2013, página 28.

Proy. GMI N°181174 181174-60-INF-001 Revisión: 1	ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE PIURA – CARRETERA PANAMERICANA NORTE TRAMO: KM 988+000 – KM 1002+000 ESTUDIO DE TRÁFICO	Fecha: 07/05/2014 Página de 83
--	--	--



GRAFICO N° 3.6.3-2 FLUJOGRAMA INDICE MEDIO DIARIO ANUAL



ANEXO 2

Estudio de Tráfico Piura- Sullana, COVISOL, 2009, página 15.

Proy GMI N° 180859 180859-101-2-INF-004	ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA DE LA AUTOPISTA DEL SOL. TRAMO : TRUJILLO - SULLANA	Fecha: 10/05/2010 Página 15
Revisión: 0	ESTUDIO DE TRÁFICO	



CUADRO 2-10 VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN CATACAOS (E 10)

Tipo de Vehículo	TRAMO DV. CATACAOS-LA LEGUA				N° de Unidades/Ejes Cobrables/día
	Dv. Catacaos-Piura	Piura-Dv. Catacaos	Ambos	%	
Auto-Camioneta	1011	1167	2178	40.3%	2,178
Camta. Rural	912	918	1830	33.9%	1,830
Micro	127	124	251	4.6%	251
Ómnibus 2 Ejes	26	23	49	0.9%	98
Ómnibus 3 Ejes	113	115	228	4.2%	684
Ómnibus 4 Ejes	21	23	44	0.8%	176
Camión 2 Ejes	169	154	323	6.0%	646
Camión 3 Ejes	42	52	94	1.7%	282
Camión 4 Ejes	14	14	28	0.5%	112
Acoplados 3 Ejes	0	0	0	0.0%	0
Acoplados 4 Ejes	7	2	9	0.2%	36
Acoplados 5 Ejes	51	39	90	1.7%	450
Acoplados 6 Ejes	121	155	276	5.1%	1,656
Acoplados 7 Ejes	1	1	2	0.0%	14
IMD	2615	2787	5402	100%	8,413
% por sentido	48%	52%			

Fuente: Estudio de tráfico 2009

CUADRO 2-11 VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN PIURA-SULLANA (E11)

Tipo de Vehículo	TRAMO PIURA-SULLANA				N° de Unidades/Ejes Cobrables/día
	Piura-Sullana	Sullana-Piura	Ambos	%	
Auto-Camioneta	1179	1242	2421	50.9%	2,421
Camta. Rural	80	69	149	3.1%	149
Micro	225	196	421	8.9%	421
Ómnibus 2 Ejes	248	277	525	11.0%	1,050
Ómnibus 3 Ejes	78	81	159	3.3%	477
Ómnibus 4 Ejes	14	13	27	0.6%	108
Camión 2 Ejes	227	236	463	9.7%	926
Camión 3 Ejes	76	77	153	3.2%	459
Camión 4 Ejes	22	22	44	0.9%	176
Acoplados 3 Ejes	0	0	0	0.0%	0
Acoplados 4 Ejes	8	6	14	0.3%	56
Acoplados 5 Ejes	46	48	94	2.0%	470
Acoplados 6 Ejes	143	141	284	6.0%	1,704
Acoplados 7 Ejes	0	0	0	0.0%	0
IMD	2346	2408	4754	100%	8,417
% por sentido	49%	51%	100%		

Fuente: Estudio de tráfico 2009

GMI S.A.
Ing. Soledad Solarí
Especialista en Tráfico y Carga
CIP N° 4179



ANEXO 3

Resumen Ejecutivo de la Carretera Sullana- Tambogrande, 2015, folio 6.



PERÚ
Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones



CONSORCIO
TAMBOGRANDE

incosa
Instituto Nacional de
Carreteras y de
Aviación

000006

		S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Tipo de vehículo		EMP-PE-1N		T.GRANDE		CHULUCANAS		MORROPÓN		STO. DOMINGO		PACAIPAMPA		EL CINCUENTA		PTE CARRASQUILLO	
		TAMBOGRANDE		CHULUCANAS		MORROPÓN		SANTO DOMINGO		PACAIPAMPA		CURILCAS		CHULUCANAS		MORROPÓN	
		0+000		2+363		39+627		70+652		83+970		154+740		0+000		0+000	
		1+220		36+409		69+155		83+970		153+830		178+804		7+197		7+130	
		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos		N° de Vehículos	
		%		%		%		%		%		%		%		%	
Ligero	Auto	1655	43.73	150	18.27	18	31.58	21	13.64	0	0	2	3.85	762	38.16	222	32.22
	Camioneta	984	26	201	24.48	25	43.86	83	53.9	26	49.06	42	80.77	529	26.49	165	23.95
	C Rural	348	9.19	112	13.64	2	3.51	4	2.6	0	0	1	1.92	140	7.01	131	19.01
	Micro	142	3.75	17	2.07	0	0	8	5.19	8	15.09	0	0	73	3.66	22	3.19
Bus	Bus	76	2.01	55	6.7	2	3.51	3	1.95	0	0	0	0	168	8.41	52	7.55
Pesado	Camion 2E	431	11.39	161	19.61	9	15.79	31	20.13	17	32.08	6	11.54	215	10.77	80	11.61
	Camion 3E	77	2.03	116	14.13	1	1.75	3	1.95	2	3.77	1	1.92	84	4.21	10	1.45
	Camion 4E	16	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.15	1	0.15
	Articulado	56	1.48	9	1.1	0	0	1	0.65	0	0	0	0	23	1.15	6	0.87
TOTAL		3785	100	821	100	57	100	154	100	53	100	52	100	1997	100	689	100

D. ASPECTO TECNICO DEL PIP

PLANTEAMIENTO TECNICO DE LAS ALTERNATIVAS

PLANTEAMIENTO DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE

A continuación se presenta las actividades propuestas por la especialidad de Hidrología, drenaje y obras de arte:

Inventario de estructuras de drenaje

TRAMO	PROGRESIVAS		ALCANTARILLAS (UNID)					BADENES (UNID)			
			EXISTENTES		NUEVA	ANULAR	TOTAL	EXISTENTES		NUEVA	TOTAL
	INICIO	FIN	CONSERV.	REMP.				CONSERV.	REMP.		
PE-1N1 a Tambogrande	0+000	1+220	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Zona urbana de Tambogrande	1+220	2+363	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Tambogrande a Chulucanas	2+363	36+409	80	0	0	0	80	16	0	0	16
Zona urbana de Chulucanas	36+409	39+627	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chulucanas- Batanes	39+627	47+801	17	0	0	0	17	7	0	0	7
Batanes-Morropón	47+801	69+155	13	5	0	0	18	3	32	0	35
Zona urbana de Morropón	69+155	70+652	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Morropón - Puente La Gallega	70+652	83+970	56	0	0	0	56	2	0	0	2
Puente La Gallega-Pacaipampa	83+970	153+830	26	7	148	1	181	9	16	7	32
Zona urbana de Pacaipampa	153+830	154+740	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pacaipampa-Emp. PE-3N (Curlicas)	154+740	178+804	0	2	51	0	53	0	0	3	3
Empalme PE-1N1-Chulucanas	0+000	7+197	3	0	0	0	3	1	0	0	1
Zona Urbana de Chulucanas	7+197	10+579	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emp. PE-02A-Morropón	0+000	7+130	31	0	0	0	31	0	0	0	0
Zona urbana de Morropón	7+130	8+820	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total			227	14	199	1	440	38	48	10	96

*Las alcantarillas (2) encontradas en las zonas urbanas de morropón y chulucanas no son consideradas en el total, puesto que su mantenimiento o reemplazo esta a cargo del municipio respectivo

Fuente: Estudio de Hidrología y Drenaje

ESTUDIO DE PREINVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA EMP-PE-1N (DV TAMBOGRANDE)-TAMBOGRANDE-CHULUCANAS-PACAIPAMPA-CURILCAS EMP-PE-1N1 (EL CINCUENTA)-EMP-PE-1NR (CHULUCANAS) Y EMP-PE-02A (DV PTE CARRASQUILLO)-PTE CARRASQUILLO-EMP-PE-1NR POR NIVELES DE SERVICIO

Julio César González Gil
Jefe de Estudio