

“RADIOS DE GIRO EN CAMIONES ARTICULADOS PARA DISEÑO VIAL URBANO EN
COLOMBIA”

ELKIN DARÍO CAÑON BUITRAGO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2018

RADIOS DE GIRO EN CAMIONES ARTICULADOS PARA DISEÑO VIAL URBANO EN
COLOMBIA

ELKIN DARÍO CAÑON BUITRAGO

Trabajo de grado para optar al título de:
MAGISTER EN INFRAESTRUCTURA VIAL

Director
M.S.C. WILSON ERNESTO VARGAS VARGAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2018

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos sin desfallecer... a mis Padres Rosa y Carlos Julio quienes sin importar las circunstancias siempre me apoyaron y guiaron... a mis hermanos Ingrid Mireya y Edwin Alexander motores y modelos a seguir, los cuales desde la lejanía me brindaron lo mejor de ellos para lograr cumplir esta meta, a Mechulín quien me acompañó durante el proceso y construcción de esta etapa tan importante en mi vida, a Mónica Rocío Angulo Aranguren, principal motivación, fuente de inspiración y motor, quien soñó junto a mi este logro y quien siempre me acompañará a lo largo de mi vida... A los ingenieros y amigos Carlos Alfonso Gómez Guacanéme, Wilson Ernesto Vargas Vargas, Carlos Javier González y Mario Arturo Rincón Villalba, quienes compartieron su conocimiento y experiencia y a partir de su amistad y confianza, crearon y afianzaron en mí, sentimientos y cualidades de responsabilidad, sabiduría y respeto para con los míos y mi profesión... y a todos aquellos amigos, allegados, compañeros y colegas que hicieron, han hecho y harán parte de todos mis logros.

“...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona”

Elkin Darío Cañón Buitrago

CONTENIDO

CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE IMÁGENES	11
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS	15
1. MARCO DE REFERENCIA.....	16
1.1. Tipos de vehículos	16
1.2. Clasificación de vehículos pesados en Colombia.....	18
1.3. Ámbito Internacional.....	24
1.3.1. Manual de proyecto geométrico de carreteras instituto mexicano de transporte (IMT) 38	
1.3.2. Manual de Carreteras DG-2018 Perú	42
1.3.3. Manual de Proyectos geométricos de vías urbanas Brasil	44
1.3.4. Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC- España	46
2. MARCO METODOLÓGICO	49
2.1. Determinación de los Vehículos de diseño.....	49
2.2. Establecer las dimensiones exactas de los vehículos en estudio (camiones C3-S2 y C3-S3). 49	
2.3. Medición y control de velocidades.....	51
2.4. Zona de Prueba	52
2.5. Demarcación de trayectorias de giro	54
2.6. Tamaño Muestral.....	57
2.7. Levantamiento Topográfico	59
2.8. Coordenadas Levantamientos Topográficos	60

2.9. Determinación de radios de Giro.....	73
2.9.1. Radio Externo.....	74
2.9.2. Radio Interno.....	77
2.10. Anchos de Carril.....	78
3. MODELACIÓN SOFTWARE VEHICLE TRACKING	83
3.1. Creación Tractocamión C3S2 y C3S3 Autodesk Vehicle Tracking.....	84
4. RESULTADOS.....	93
4.1. Resultados simulación Autodesk Vehicle Tracking.....	106
4.2. Plantillas Propuestas.....	112
4.2.1. Tractocamión C3S2.....	112
4.2.2. Tractocamión C3S3.....	115
5. CONCLUSIONES.....	117
6. RECOMENDACIONES.....	119
7. BIBLIOGRAFÍA	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Categoría y Dimisiones de Vehículos</i>	16
Tabla 2 <i>Esquema de configuración de vehículos de carga según sus ejes</i>	18
Tabla 3 <i>Dimensiones de vehículos de carga en Colombia</i>	21
Tabla 4 <i>Nomenclatura Vehículos de Diseño</i>	23
Tabla 5 <i>Trayectorias de giro</i>	23
Tabla 6 <i>Radios Mínimos de giro</i>	25
Tabla 7 <i>Radios Mínimos de giro Curvas simples con abocinamiento</i>	28
Tabla 8 <i>Radios Mínimos de giro Curvas Compuestas de tres radios</i>	31
Tabla 9 <i>Ancho de vía ocupada por el vehículo (d2), para varios ángulos de giro en Intersección y radios de borde</i>	36
Tabla 10 <i>Vehículos de proyecto, según el tipo de camino</i>	39
Tabla 11 <i>Clasificación técnica de las carreteras</i>	39
Tabla 12. <i>Configuración parque automotor mexicano</i>	42
Tabla 13. <i>Vehículos de tipo M usados en el dimensionamiento de carreteras</i>	43
Tabla 14. <i>Dimensiones de los Vehículos Patrón</i>	47
Tabla 15. <i>Tamaño muestral</i>	58
Tabla 16. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 1 C3S2</i>	60
Tabla 17. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 2 C3S2</i>	62
Tabla 18. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 3 C3S2</i>	63
Tabla 19. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 4 C3S2</i>	64
Tabla 20. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 5 C3S2</i>	65
Tabla 21. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 1 C3S3</i>	66
Tabla 22. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 2</i>	68
Tabla 23. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 3</i>	69
Tabla 24. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 4</i>	70
Tabla 25. <i>Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 5</i>	72
Tabla 26. <i>Parámetros creación tráiler C3S2</i>	89
Tabla 27. <i>Parámetros creación Semirremolque C3S2</i>	90
Tabla 28. <i>Resultados giro 180° Tractocamión C3S2</i>	103

Tabla 29. <i>Resultados giro 90° Tractocamión C3S2</i>	104
Tabla 30. <i>Resultados giro 180° Tractocamión C3S3</i>	104
Tabla 31. <i>Resultados giro 90° Tractocamión C3S3</i>	105
Tabla 32. <i>Comparación resultados Vehicle Tracking – Estudio</i>	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Gráficas de Radios de Giro Camión C2-S2</i>	17
Figura 2 <i>Graficas de Radios de Giro Camión C2-S2</i>	27
Figura 3 <i>Borde mínimo de diseño de la vía de circulación curva compuesta de tres radios y desfases de 1 y 4 metros</i>	34
Figura 4 <i>Borde mínimo de diseño de la vía de circulación curva compuesta de tres radios y desfase de 3 metros</i>	35
Figura 5 <i>Efecto de radios de borde en las trayectorias de giro a la derecha de varios vehículos de diseño</i>	35
Figura 6 <i>Caso A</i>	37
Figura 7 <i>Caso B</i>	38
Figura 8 <i>Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-1980</i>	40
Figura 9 <i>Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-1890</i>	41
Figura 10 <i>Dimensiones y trayectoria de giro de 180° del vehículo de 5 Ejes</i>	45
Figura 11 <i>Trayectorias de giro del vehículo de 5 Ejes</i>	46
Figura 12 <i>Dimensiones Camión Articulado Patrón</i>	48
Figura 13 <i>Dimensiones Tren de Carretera Patrón</i>	48
Figura 14 <i>Dimensiones Tractocamión C3S2</i>	50
Figura 15 <i>Dimensiones Tractocamión C3S3</i>	50
Figura 16 <i>Representación Trayectorias AutoCAD Civil 3D</i>	73
Figura 17 <i>Radio Externo Vehículo C3S2</i>	74
Figura 18 <i>Radio Externo Vehículo C3S3</i>	75
Figura 19 <i>Ángulo máximo de dirección Vehículo C3S2 Y C3S3</i>	76
Figura 20 <i>Radio Interno Vehículo C3S2</i>	77
Figura 21 <i>Radio Interno Vehículo C3S3</i>	78
Figura 22 <i>Ancho mínimo de carril Vehículo C3S2</i>	79
Figura 23 <i>Ancho mínimo de carril Vehículo C3S3</i>	80
Figura 24 <i>Definición trayectoria 90° Vehículo C3S3</i>	81
Figura 25 <i>Definición trayectoria 90° Vehículo C3S2</i>	81
Figura 26 <i>Definición trayectoria 90° Vehículo C3S2</i>	82

Figura 27 <i>Definición trayectoria 90° Vehículo C3S3</i>	83
Figura 28 <i>Biblioteca de Vehículos Autodesk</i>	84
Figura 29 <i>Asistente de Vehículo</i>	85
Figura 30 <i>Asistente de Vehículo</i>	86
Figura 31 <i>Asistente de Vehículo</i>	86
Figura 32 <i>Asistente de Vehículo</i>	87
Figura 33 <i>Asistente de Vehículo</i>	87
Figura 34 <i>Asistente de Vehículo</i>	88
Figura 35 <i>Asistente de Vehículo</i>	88
Figura 36 <i>Asistente de Vehículo</i>	89
Figura 37 <i>Plantilla de giro Tractocamión C3S2</i>	91
Figura 38 <i>Plantilla de giro Tractocamión C3S3</i>	92
Figura 39 <i>Especificación Propuesta (Automóvil Giro 180°)</i>	93
Figura 40 <i>Especificación Propuesta (Automóvil Giro 90°)</i>	94
Figura 41 <i>Especificación Propuesta (Camioneta Giro 180°)</i>	95
Figura 42 <i>Especificación Propuesta (Camioneta Giro 90°)</i>	96
Figura 43 <i>Especificación Propuesta (Colectivo Giro 180°)</i>	97
Figura 44 <i>Especificación Propuesta (Colectivo Giro 90°)</i>	98
Figura 45 <i>Especificación Propuesta (Buseton Giro 180°)</i>	99
Figura 46 <i>Especificación Propuesta (Buseton Giro 90°)</i>	100
Figura 47 <i>Especificación Propuesta (Bus o Camión C2 Giro 180°)</i>	101
Figura 48 <i>Especificación Propuesta (Bus o Camión C2 Giro 90°)</i>	102
Figura 49 <i>Radio de giro Tractocamión C3S2 Vehicle Tracking 90°</i>	106
Figura 50 <i>Radio de giro Tractocamión C3S3 Vehicle Tracking 90°</i>	107
Figura 51 <i>Radios de giro Tractocamión C3S2 Vehicle Tracking 30°, 60°, 90°, 120°, 150° y 180°</i>	108
Figura 52 <i>Radios de giro Tractocamión C3S3 Vehicle Tracking 30°, 60°, 90°, 120°, 150° y 180°</i>	109
Figura 53 <i>Dimensiones Tractocamión C3S3</i>	110
Figura 54 <i>Dimensiones Tractocamión C3S3</i>	110
Figura 55 <i>Especificación Propuesta (C3S2 Giro 90°)</i>	113

Figura 56 <i>Especificación Propuesta (C3S2 Giro 180°)</i>	114
Figura 57 <i>Especificación Propuesta (C3S3 Giro 90°)</i>	115
Figura 58 <i>Especificación Propuesta (C3S3 Giro 180°)</i>	116

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 <i>Control de Velocidad Tractocamiones</i>	52
Imagen 2 <i>Imagen satelital Localización Estudio de Pruebas C3S3</i>	53
Imagen 3 <i>Imagen satelital Localización Estudio de Pruebas C3S2</i>	54
Imagen 4 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S2</i>	55
Imagen 5 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S2</i>	55
Imagen 6 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S3</i>	56
Imagen 7 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S3</i>	56
Imagen 8 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S2</i>	59
Imagen 9 <i>Trayectoria de giro tractocamión C3S3</i>	60

RESUMEN

Actualmente Colombia no cuenta con una normativa propia que permita establecer los radios de giro de los vehículos articulados existentes que circulan a nivel nacional y más específicamente a nivel urbano, para elaboración de diseños. Los radios empleados actualmente son los contemplados por la normativa AASHTO 2004, los cuales presentan cierta diferencia con respecto al parque automotor propio de Colombia, si bien es cierto que es una normativa internacional, se debe garantizar el espacio necesario para la maniobra de giro sin tener que recurrir a maniobras adicionales, garantizando operaciones constantes y reduciendo en proporciones importantes las congestiones vehiculares.

Dichos radios varían dependiendo las longitudes de los vehículos de diseño, y aún más importante la dirección y la velocidad con que se tomen los giros. Tal como lo define el Manual de Diseño de Carreteras 2008 de Colombia, el vehículo de diseño es un vehículo representativo de todos los vehículos que puedan circular por dicha vía y debe corresponder con la composición vehicular definida en el estudio de tránsito, de igual manera es importante contar con la geometría de la vía, anchos de bermas, sobreancho y radios mínimos de giro.

El presente trabajo pretende plantear una metodología que permita dar solución a una de las principales problemáticas en cuanto a operación vehicular que a nivel urbano se presenta, dando continuidad a la investigación realizada por el Ingeniero Mario Arturo Rincón Villalba, quien contempló en su tesis "DETERMINACIÓN DE RADIOS DE GIRO PARA DISEÑOS VIALES URBANOS EN COLOMBIA", los radios requeridos para vehículos livianos existentes en su momento. Con este proyecto se determinarán las dimensiones de los vehículos articulados C3-S2 y C3-S3, que circulan a nivel urbano, a partir de dichas dimensiones y con estudios de campo, se determinarán los respectivos radios de giro y sus graficas correspondientes, a fin de complementar el parque automotor existente en Colombia y poder plantear posteriormente una metodología que optimice y mejore algunos diseños viales en el país.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia se ha ido intensificando el uso de los vehículos articulados para el transporte de mercancía y carga pesada, a diferentes centros de distribución desde y hacia el centro de la capital, dada su configuración de semirremolque y las velocidades manejadas por estos, generan movimientos y operaciones en algunos casos no seguros, incluso llegando a alterar la operación normal de las vías a nivel urbano, con movimientos no permitidos e invasivos, ocasionando atascos y disminuyendo los niveles de servicio de las vías no solo puntualmente sino localmente.

Los radios de giro necesarios para la operación óptima de estos vehículos articulados dependen de elementos geométricos propios de la vía, los ángulos de incidencia y las dimensiones entre ejes, dichos factores deben ser estudiados para mejorar en cierto modo la operación y maniobra de los vehículos en las calles de nuestras ciudades.

Durante este proyecto se determinarán las dimensiones propias de estos vehículos y a partir de estas, se determinarán los radios de giro mínimo requeridos para la elaboración, mantenimiento o cualquier tipo de intervención y/o mejora que a futuro se tenga contemplado realizar, con el fin de mejorar la operación vial y garantizando la óptima circulación de estos vehículos en vías urbanas.

JUSTIFICACIÓN

En Colombia actualmente se desarrollan proyectos viales urbanos basados en la normativa INVIAS 2008, la cual establece radios de giro mínimos para diferentes tipos de vehículos estandarizados en la norma AASHTO 2004, sin embargo no se cuenta con un estudio propio, con el cual se puedan determinar los radios de giro para vehículos articulados que circulan por las vías urbanas en nuestro país, para así poder generar proyectos viales urbanos acordes a la necesidad y al tránsito de muchos de éstos vehículos que cada día se hacen más necesarios para desarrollo económico de la ciudad.

Esta adopción genera inconvenientes en el momento de los diseños, dado que en algunos casos se sobredimensiona los anchos necesarios, y en otras circunstancias (las más comunes en las vías urbanas del país) los anchos establecidos, no son suficientes para el desarrollo total de la maniobra de giro, por el contrario, se requiere de maniobras adicionales para dar continuidad al trayecto. Esto ha conllevado a la generación de ciertos inconvenientes a la hora de maniobrar los vehículos, especialmente articulados, los cuales a diario se ven involucrados en acciones que pueden ocasionar daños materiales e incluso personales, dadas las condiciones del sistema vial urbano, ya que en su mayoría fue diseñado para vehículos livianos.

Es por esta razón que es necesario la determinación de radios de giro propios del parque automotor existente en Colombia, específicamente vehículos articulados como lo son el tractocamión (C3S2) y (C3S3), para poder estandarizar los diseños viales urbanos a dichos vehículos, dado que es más frecuente en la actualidad el tránsito urbano de los mismos.

De igual manera con estos trabajos se podrá establecer un parámetro para el diseño, con datos reales, acordes a las condiciones viales urbanas de nuestro país, para los futuros proyectos viales y/o mantenimientos y re-diseños que se tengan contemplados dentro de los planes de gobierno.

OBJETIVOS

General

- Establecer los radios de giro necesarios para el desarrollo de proyectos viales urbanos, para vehículos articulados existentes en el país, específicamente camiones C3-S2 y C3-S3.

Específicos

- Comprobar las dimensiones de los vehículos analizados en el estudio: C3-S2 y C3-S3.
- Elaborar los gráficos de radios de giro de acuerdo los resultados obtenidos en campo
- Simular las condiciones de giro para los vehículos utilizados en el estudio
- Establecer los radios de giro para los vehículos objeto de este estudio.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Tipos de vehículos

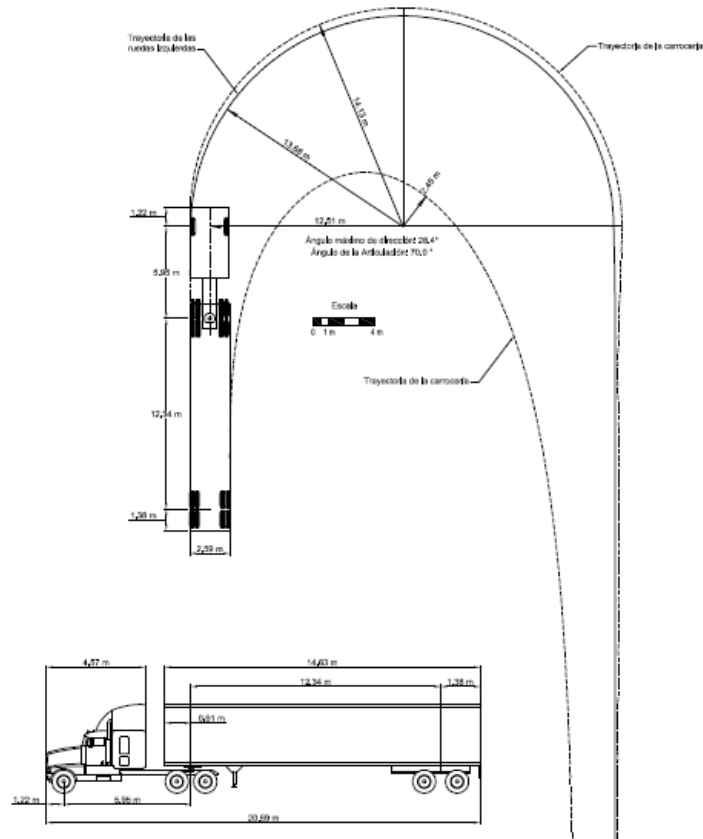
La normativa planteada por la "AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, - Design of Highways and Streets. Washington, D.C; 2004 contempla dentro de su capítulo No.2 "DESIGN CONTROLS AND CRITERIA" los tipos de vehículos empleados en dicho momento, vehículos que han servido de modelo para el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS 2008 actualmente vigente en Colombia.

Tabla 1. *Categoría y Dimensiones de Vehículos*

CATEGORÍA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m)	LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m)
Vehículo Liviano	5.00	1.80	-	-
Bus mediano	10.91	2.44	-	-
Bus grande	13.00	2.60	-	-
2	11.00	2.50	-	-
3	11.40	2.50	-	-
3S2	20.89	2.59	4.57	14.63

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 2008

Figura 1 Gráficas de Radios de Giro Camión C2-S2



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 2008

Es de resaltar que, aunque existe la resolución del Ministerio de Transporte No. 4100 de 2004, donde se adoptan los límites y dimensiones de los vehículos de transporte terrestre a nivel nacional, el manual de diseño geométrico NO contempla el vehículo C3-S3 dentro de las categorías empleadas para el diseño, sin embargo, en Colombia dichos vehículos son empleados para el transporte de carga en forma masiva y no se han tenido en cuenta para la adaptación a dicho manual.

1.2. Clasificación de vehículos pesados en Colombia

El Ministerio de Transporte mediante resolución 4100 definió los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional. Este documento presenta las dimensiones de los vehículos de la siguiente manera:

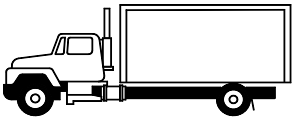
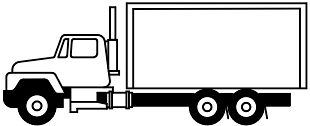
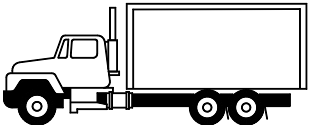
A. Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión (Cabezote).

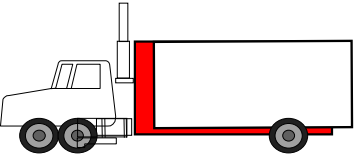
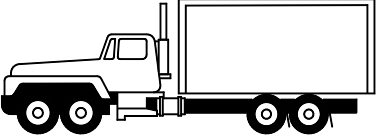

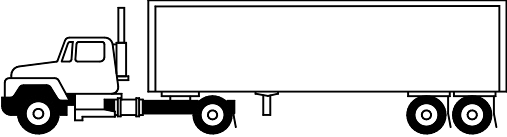
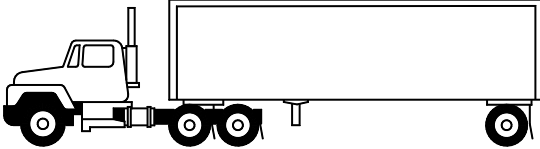
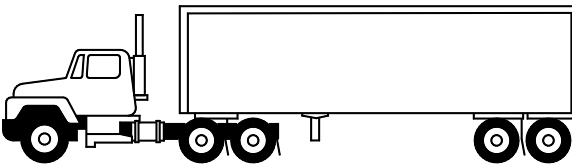
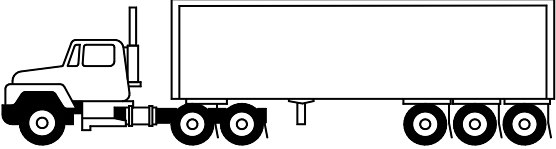
B. La letra **S** significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

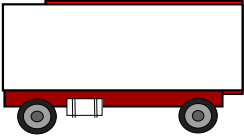
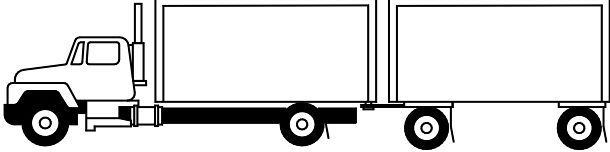
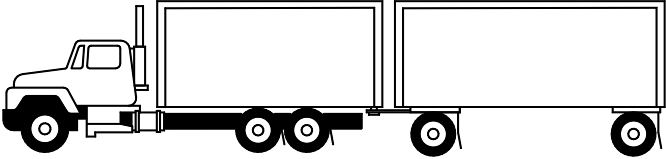
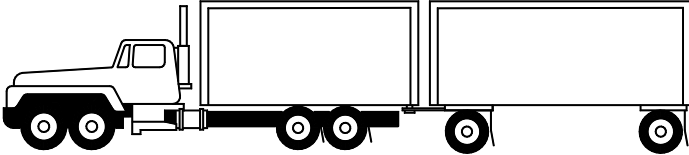
C. La letra **R** significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

D. La letra **B** significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

Tabla 2 Esquema de configuración de vehículos de carga según sus ejes

CONFIGURACIÓN	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
C2		Camión rígido de dos ejes. Camión sencillo.
C3		Camión rígido de tres ejes.
C3 Tándem trasero mixto		Camión rígido de tres ejes.

<p>C3 Tándem direccional</p>		<p>Camión rígido de tres ejes.</p>
<p>C4</p>		<p>Camión rígido de cuatro ejes.</p>
<p>C2S1</p>		<p>Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje.</p>
<p>C2S2</p>		<p>Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes.</p>
<p>C3S1</p>		<p>Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de un eje.</p>
<p>C3S2</p>		<p>Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de dos ejes.</p>
<p>C3S3</p>		<p>Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de tres ejes.</p>

R2		Remolque.
C2 R2		Camión de dos ejes con remolque de dos ejes.
C3 R2		Camión de tres ejes, dobletrouque, con remolque de tres ejes.
C4 R2		Camión de cuatro ejes, con remolque de dos ejes.

Fuente: Ministerio de Transporte, 2004

Los vehículos de transporte de carga que circulan por el territorio nacional, deben cumplir con las dimensiones establecidas en la siguiente tabla:

Tabla 3 Dimensiones de vehículos de carga en Colombia

DESIGNACIÓN	DIMENSIONES		
	ANCHO MÁXIMO, m	ALTURA MÁXIMA, m	LONGITUD MÁXIMA, m
2	2.6	4.4	10.8
3	2.6	4.4	12.2
4	2.6	4.4	12.2
2S1	2.6	4.4	18.5
2S2	2.6	4.4	18.5
2S3	2.6	4.4	18.5
3S1	2.6	4.4	18.5
3S2	2.6	4.4	18.5
3S3	2.6	4.4	18.5
2R2	2.6	4.4	18.5
3R2	2.6	4.4	18.5
4R2	2.6	4.4	18.5
2R3	2.6	4.4	18.5
3R3	2.6	4.4	18.5
4R3	2.6	4.4	18.5
4R4	2.6	4.4	18.5
2B1	2.6	4.4	18.5

DESIGNACIÓN	DIMENSIONES		
	ANCHO MÁXIMO, m	ALTURA MÁXIMA, m	LONGITUD MÁXIMA, m
2B3	2.6	4.4	18.5
3B1	2.6	4.4	18.5
3B2	2.6	4.4	18.5
3B3	2.6	4.4	18.5
4B1	2.6	4.4	18.5
4B2	2.6	4.4	18.5
4B3	2.6	4.4	18.5
Remolque (R) y remolque balanceado (B)	2.6	4.4	10
Semirremolque (S)	2.6	4.4	13

Fuente: Ministerio de Transporte, 2004

El Ministerio de Transporte en conjunto con el Instituto Nacional de INVIAS en el año 2008, elaboraron el “Manual de Diseño Geométrico de carreteras”; en el cual se estableció en el capítulo 2 “Controles para el Diseño Geométrico” las respectivas trayectorias de giro, para ciertos tipos de vehículos, los cuales se contemplan en la tabla 5 “Trayectorias de giro”.

Tabla 4 Nomenclatura Vehículos de Diseño

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Vehículo Liviano	
Bus mediano	
Bus grande	
2	Camión de dos (2) ejes - Camión Sencillo
3	Camión de tres (3) ejes - Doble Troque
3S2	Tracto Camión de tres (3) ejes con semirremolque de dos (2) ejes

Fuente: INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Las trayectorias definen el espacio mínimo que requiere el vehículo para realizar la maniobra garantizando parámetros de comodidad y seguridad en un ángulo de incidencia máximo de 180°, la página 57 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, se indica la figura del radio de giro del camión categoría 3S2, implementado para Colombia, es de aclarar que estas plantillas fueron realizadas mediante el software “Autoturn”, en la tabla 5 se relacionan los datos generales de dichas figuras.

Tabla 5 Trayectorias de giro

CATEGORÍA	TRAYECTORIA EXTERIOR (Ancho del Vehículo)	TRAYECTORIA EXTERIOR (Rueda Delantera)	TRAYECTORIA INTERIOR (Rueda Trasera)	RADIO EJE CENTRAL
Vehículo Liviano	6.2	5.88	3.22	5.03
Bus mediano	12.07	11.78	7.26	10.64
Bus grande	12.02	10.55	5.23	9.43
2	12.7	12.11	7.66	10.94
3	12.48	11.94	7.36	10.78
3S2	14.13	13.68	2.45	12.51

Fuente: INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

1.3. **Ámbito Internacional**

A nivel internacional al día de hoy son muy pocos los países que adoptan normatividades propias, ya que se emplea como modelo la normativa AASHTO por lo que no ven la necesidad de estudiar a fondo las características propias de su parque automotor o simplemente se acomoda de manera óptima al manual americano.

Esta norma contempla todos los vehículos, agrupándolos en cuatro (4) categorías relevantes, las cuales son:

1. Vehículos Livianos
2. Autobuses
3. Camiones
4. Vehículos Recreacionales (RVs)

Estos grandes grupos, abarcan las diferentes combinaciones existentes en el mercado automotor, las cuales van desde automóviles deportivos, buses articulados hasta tracto-camiones con semirremolques y su posible combinación.

Algo interesante de esta norma es que dentro de la configuración de vehículos recreacionales (RVs), de los cuales hacen parte las casas rodantes y a su vez las posibles combinaciones que estas incluyan, ejemplo los remolques con barcos.

Es de aclarar que los vehículos, aunque son estándares por marcas a nivel mundial, algunas configuraciones, específicamente hablando buses y camiones poseen unas características que difieren (distancia entre ejes, mayor envergadura, cambios en la carrocería) a la de otros países, puntualmente a la de Colombia, lo cual genera la necesidad de distancias laterales mayores y radios de giro más grande para generar la maniobra requerida y continuar el trayecto sin llegar a obstruir a otros involucrados en la vía.

Las dimensiones principales que afectan un diseño son el radio mínimo de giro de la línea central (CTR), el ancho de vía de salida, la distancia entre ejes y la ruta del neumático trasero interno. Es de aclarar que las características tales como la velocidad a la que el conductor gira y los ángulos de desplazamiento de las ruedas, se reducen al mínimo asumiendo que la velocidad del vehículo para tal giro es igual o inferior a 15 km. Los camiones y los autobuses generalmente requieren anchos más generosos que los vehículos livianos, esto debido a la distancia existente entre ejes y a que los radios de giro son un poco mayores, de igual manera los autobuses con una combinación más larga, requieren mayores anchos de giro que los buses convencionales. En la tabla 5, se presentan los radios de giro mínimos para 20 vehículos de diseño típico.

Tabla 6 *Radios Mínimos de giro*

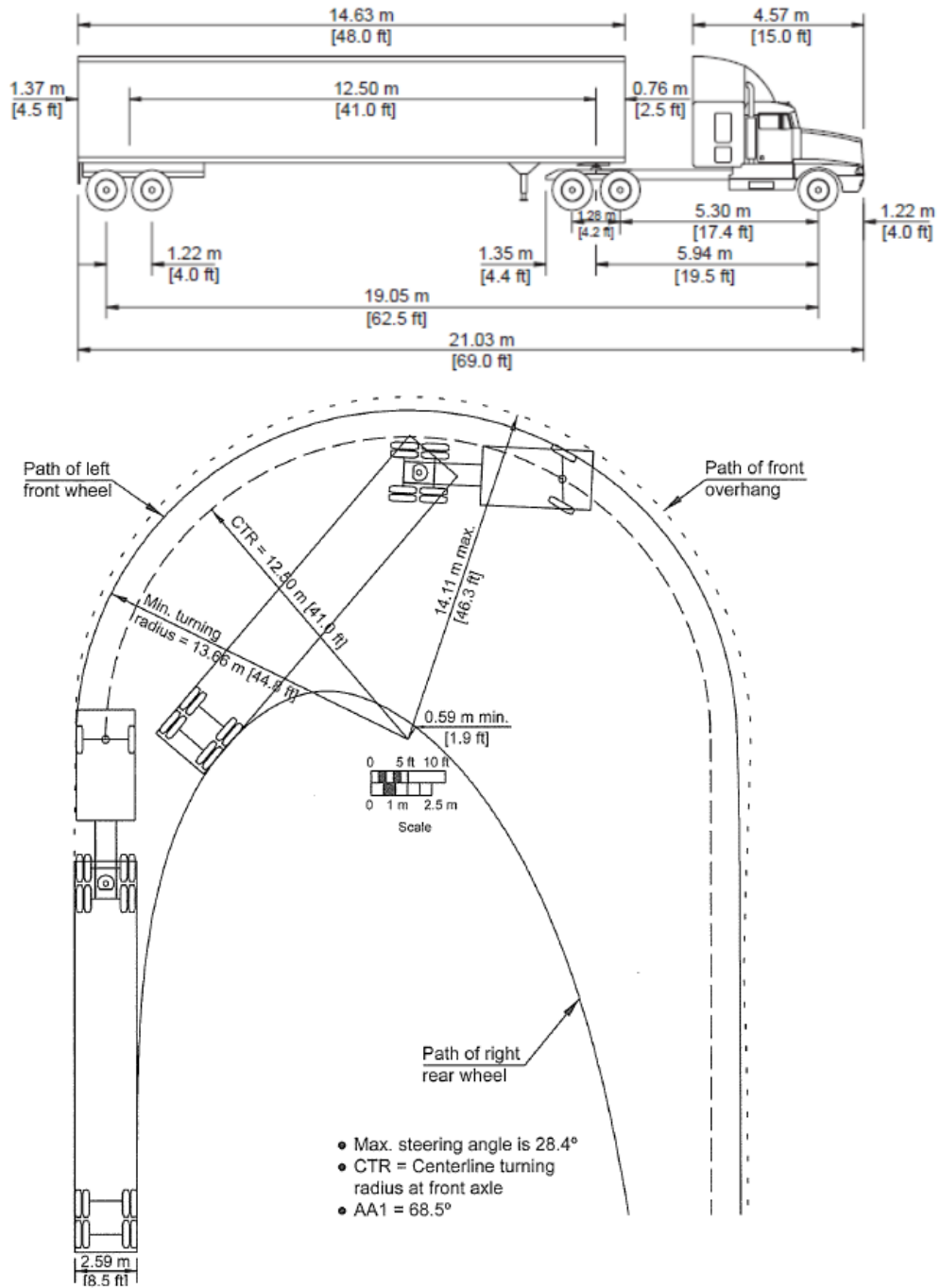
Design Vehicle Type	Passenger Car	Single Unit Truck	Single Unit Truck (Three Axle)	Intercity Bus (Motor Coach)		City Transit Bus	Conventional School Bus (65 pass).	Large School Bus (84 pass).	Articulated Bus	Intermediate Semi-trailer
				BUS-12	BUS-14					
Symbol	P	SU-9	SU-12	BUS-12	BUS-14	CITY-BUS	S-BUS 11	S-BUS 12	A-BUS	WB-12
Minimum Design Turning Radius (m)	7.26	12.73	15.60	12.70	13.40	12.80	11.75	11.92	12.00	12.16
Center line Turning Radius (CTR) (m)	6.40	11.58	14.46	11.53	12.25	11.52	10.64	10.79	10.82	10.97
Minimum Inside Radius (m)	4.39	8.64	11.09	7.41	7.54	7.45	7.23	7.71	6.49	5.88

Design Vehicle Type	Interstate Semitrailer		"Double Bottom" Combination	Rocky Mtn Double	Triple Semitrailer/trailers	Turnpike Double Semi-Trailer/trailer	Motor Home	Car and Camper Trailer	Car and Boat Trailer	Motor Home and Boat Trailer
	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-28D	WB-30T	WB-33D	MH	P/T	P/B	MH/B
Minimum Design Turning Radius (m)	13.66	13.66	13.67	24.98	13.70	18.30	12.11	10.03	7.26	15.19
Center line Turning Radius (CTR) (m)	12.50	12.50	12.47	23.77	12.50	17.10	10.97	9.14	6.40	14.02
Minimum Inside Radius (m)	2.25	0.59	5.83	16.94	3.00	4.50	7.92	5.58	2.44	10.67

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

En la figura 2 se presenta la trayectoria y radio de giro para un tracto camión WB-19, configuración similar al tracto camión conocido en nuestro país como un C3-S2.

Figura 2 Graficas de Radios de Giro Camión C2-S2



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

En el diseño urbano, específicamente en las intersecciones tipo glorieta,” En intersecciones con ángulos de giro menores a 90° diseñadas para vehículos de pasajeros, los camiones invadirán el carril adyacente en menor proporción que en las del ángulo recto, situación contraria se presenta para los ángulos mayores a 90°, en cuyo caso deberá asegurarse que no se sobrepase el ancho de calzada”¹.

La normativa AASHTO recomienda que, a velocidades superiores a 15 millas por hora, (24.14 km/h), se realicen diseños preferiblemente con curvas compuestas de tres radios o con curvas circulares simples con abocinamiento. Por tal razón, la AASHTO plantea radios de giro en curvas simple con abocinamiento, unos valores a diferentes ángulos (30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150° y 180°) con el fin de estandarizar dichos radios para los diferentes diseños urbanos.

Tabla 7 *Radio Mínimos de giro Curvas simples con abocinamiento*

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Simple Curve Radius (m)	Simple Curve Radius with Taper		
			Radius (m)	Offset (m)	Taper L:T
30	P	18	-	-	-
	SU-9	30	-	-	-
	SU-12		-	-	-
	WB-12	45	-	-	-
	WB-19	110	67	1.0	15:1
	WB-20	116	67	1.0	15:1
	WB-28D	111	58	1.0	15:1
	WB-30T	77	37	1.0	15:1
	WB-33D	145	77	1.1	20:1

¹ Rincón Villalba, M. A. (2011). *Determinación de radios de giro para diseños viales urbanos en Colombia.*

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Simple Curve Radius (m)	Radius (m)	Offset (m)	Taper L:T
45	P	15	-	-	-
	SU-9	23	-	-	-
	SU-12	35	-	-	-
	WB-12	36	-	-	-
	WB-19	70	43	1.2	15:1
	WB-20	76	43	1.3	15:1
	WB-28D	82	44	1.2	15:1
	WB-30T	60	35	0.8	15:1
	WB-33D	-	60	1.3	20:1
60	P	12	-	-	-
	SU-9	18	-	-	-
	SU-12	30	-	-	-
	WB-12	28	-	-	-
	WB-19	50	43	1.2	15:1
	WB-20	60	43	1.3	15:1
	WB-28D	70	37	1.5	15:1
	WB-30T	46	29	0.8	15:1
	WB-33D	-	54	1.3	20:1
75	P	11	8	0.6	10:1
	SU-9	17	14	0.6	10:1
	SU-12	27	18	0.6	10:1
	WB-12	-	18	0.6	15:1
	WB-19	-	43	1.2	20:1
	WB-20	-	43	1.3	20:1
	WB-28D	-	34	1.5	15:1
	WB-30T	-	26	1.0	15:1
	WB-33D	-	42	1.7	20:1
90	P	9	6	0.8	10:1
	SU-9	15	12	0.6	10:1
	SU-12	24	14	1.2	10:1
	WB-12	-	14	1.2	10:1
	WB-19	-	36	1.3	30:1
	WB-20	-	37	1.3	30:1
	WB-28D	-	30	1.8	10:1
	WB-30T	-	25	0.8	15:1
	WB-33D	-	35	0.9	15:1

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Simple Curve Radius (m)	Radius (m)	Offset (m)	Taper L:T
105	P	-	6	0.8	8:1
	SU-9	-	11	1.0	10:1
	SU-12	-	14	1.2	10:1
	WB-12	-	12	1.2	10:1
	WB-19	-	35	1.0	15:1
	WB-20	-	35	1.0	15:1
	WB-28D	-	24	2.4	10:1
	WB-30T	-	22	1.0	15:1
	WB-33D	-	28	2.8	20:1
120	P	-	6	0.6	10:1
	SU-9	-	9	1.0	10:1
	SU-12	-	11	1.8	8:1
	WB-12	-	11	1.5	8:1
	WB-19	-	30	1.5	15:1
	WB-20	-	31	1.6	15:1
	WB-28D	-	24	2.1	10:1
	WB-30T	-	20	1.1	15:1
	WB-33D	-	26	2.8	20:1
135	P	-	6	0.5	10:1
	SU-9	-	9	1.2	10:1
	SU-12	-	12	1.2	8:1
	WB-12	-	9	2.5	15:1
	WB-19	-	24	1.5	20:1
	WB-20	-	25	1.6	20:1
	WB-28D	-	23	2.2	10:1
	WB-30T	-	19	1.7	15:1
	WB-33D	-	25	2.6	20:1
150	P	-	6	0.6	10:1
	SU-9	-	9	1.2	8:1
	SU-12	-	11	2.1	8:1
	WB-12	-	9	2	8:1
	WB-19	-	18	3.0	10:1
	WB-20	-	19	3.1	10:1
	WB-28D	-	20	3.4	10:1
	WB-30T	-	19	2.2	10:1
	WB-33D	-	20	4.6	10:1

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Simple Curve Radius (m)	Radius (m)	Offset (m)	Taper L:T
180	P	-	5	0.2	20:1
	SU-9	-	9	0.5	10:1
	SU-12	-	11	2	10:1
	WB-12	-	6	3	5:1
	WB-19	-	17	3.0	15:1
	WB-20	-	16	4.2	10:1
	WB-28D	-	17	5.1	10:1
	WB-30T	-	17	3.1	10:1
	WB-33D	-	17	6.1	10:1

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

De igual manera se presenta en la tabla 8 los radios de giro requeridos para diseño con curvas compuestas de 3 radios.

Tabla 8 *Radios Mínimos de giro Curvas Compuestas de tres radios*

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Three Centered Compound		Three Centered Compound	
		Curve Radii (m)	Symmetric Offset (m)	Curve Radii (m)	Asymmetric Offset (m)
30	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	-	-	-	-
	WB-20	140-53-140	1.2	91-53-168	0.6-1.4
	WB-28D	168-16-168	1.2	61-46-168	0.6-1.8
	WB-30T	67-24-67	1.4	61-24-91	0.8-1.5
	WB-33D	168-76-168	1.5	76-61-198	0.5-2.1

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Three Centered Compound		Three Centered Compound	
45	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	140-72-140	0.6	36-43-150	1.0-2.6
	WB-20	140-53-140	1.2	76-38-183	0.3-1.8
	WB-28D	160-47-160	1.5	61-43-152	0.5-1.8
	WB-30T	76-24-76	1.4	61-24-91	0.8-1.7
	WB-33D	168-61-168	1.5	61-52-198	0.5-2.1
60	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	120-30-120	4.5	34-30-67	3.0-3.7
	WB-20	122-30-122	2.4	76-38-183	0.3-1.8
	WB-28D	146-34-146	1.8	46-34-152	0.9-2.7
	WB-30T	76-24-76	1.4	61-24-91	0.6-1.7
	WB-33D	198-46-198	1.7	61-43-183	0.5-2.4
75	P	30-8-30	0.6	-	-
	SU-9	36-14-36	0.6	-	-
	SU-12	61-11-61	1.5	18-14-61	0.3-1.4
	WB-12	36-14-36	1.5	36-14-60	0.6-2.0
	WB-19	134-23-134	4.5	43-30-165	1.5-3.6
	WB-20	128-23-128	3.0	61-24-183	0.3-3.0
	WB-28D	152-29-152	2.1	46-30-152	0.3-2.4
	WB-30T	76-24-76	1.4	30-24-91	0.5-1.5
	WB-33D	213-38-213	2.0	46-34-168	0.5-3.5
90	P	30-6-30	0.8	-	-
	SU-9	36-12-36	0.6	-	-
	SU-12	61-9-61	2.1	18-14-61	0.3-1.4
	WB-12	36-12-36	1.5	36-12-60	0.6-2.0
	WB-19	120-21-120	3.0	48-21-110	2.0-3.0
	WB-20	134-20-134	3.0	61-21-183	0.3-3.4
	WB-28D	143-23-143	3.0	46-27-152	0.5-2.6
	WB-30T	76-21-76	1.4	61-21-91	0.3-1.5
	WB-33D	213-34-213	2.0	30-29-168	0.6-3.5

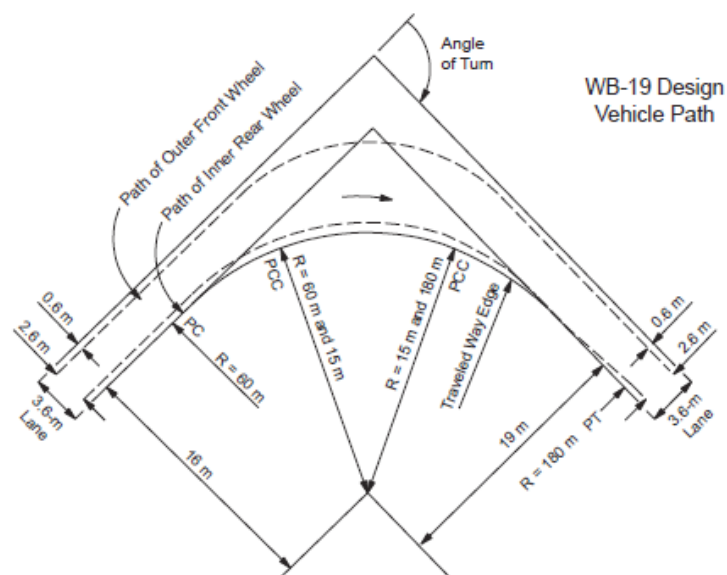
Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Three Centered Compound		Three Centered Compound	
105	P	30-6-30	0.8	-	-
	SU-9	30-11-30	1.0	-	-
	SU-12	61-11-61	1.8	18-12-58	0.5-1.8
	WB-12	30-11-30	1.5	30-17-60	0.6-2.5
	WB-19	160-15-160	4.5	110-23-180	1.2-3.2
	WB-20	152-15-152	4.0	61-20-183	0.3-3.4
	WB-28D	152-24-152	2.4	46-24-152	0.6-3.0
	WB-30T	76-18-76	1.5	30-18-91	0.5-1.8
	WB-33D	213-29-213	2.4	46-24-152	0.9-4.6
120	P	30-06-30	0.6	-	-
	SU-9	30-09-30	1.0	-	-
	SU-12	61-11-61	1.8	18-12-58	0.5-1.5
	WB-12	36-9-36	2.0	30-09-55	0.6-2.7
	WB-19	160-21-160	3.0	24-17-160	5.2-7.3
	WB-20	168-14-168	4.6	61-18-183	0.6-3.8
	WB-28D	152-21-152	3.0	46-21-137	0.9-3.2
	WB-30T	76-18-76	1.5	30-18-91	0.5-1.8
	WB-33D	213-26-213	2.7	46-21-152	2.0-5.3
135	P	30-06-30	0.5	-	-
	SU-9	30-09-30	1.2	-	-
	SU-12	61-12-61	1.2	18-12-55	0.5-1.5
	WB-12	36-9-36	2.0	30-08-55	1.0-4.0
	WB-19	180-18-180	3.6	30-18-195	2.1-4.3
	WB-20	168-14-168	5.0	61-18-183	0.6-3.8
	WB-28D	137-21-137	2.7	46-20-137	2.1-4.1
	WB-30T	76-18-76	1.7	30-18-91	0.8-2.0
	WB-33D	213-21-213	3.8	46-20-152	2.1-5.6
150	P	23-06-23	0.6	-	-
	SU-9	30-09-30	1.2	-	-
	SU-12	61-11-61	2.0	18-12-61	0.3-1.4
	WB-12	30-09-30	2.0	28-08-48	0.3-3.6
	WB-19	145-17-145	4.5	43-18-170	2.4-3.0
	WB-20	168-14-168	5.8	61-17-183	2.0-5.0
	WB-28D	107-18-107	4.6	37-20-137	1.8-4.0
	WB-30T	76-18-76	2.1	30-18-91	1.5-2.4
	WB-33D	213-20-213	4.6	61-20-152	2.7-5.6

Angle of Turn (°)	Design Vehicle	Three Centered Compound		Three Centered Compound	
180	P	15-05-15	0.2	-	-
	SU-9	30-09-30	0.5	-	-
	SU-12	46-11-46	1.9	15-11-40	1.7-2.1
	WB-12	30-06-30	3.0	26-06-45	2.0-4.0
	WB-19	245-14-245	6.0	30-17-275	4.5-4.5
	WB-20	183-14-183	6.2	30-17-122	1.8-46
	WB-28D	122-17-122	5.1	37-18-122	2.7-4.4
	WB-30T	76-17-76	2.9	30-17-91	2.6-3.2
	WB-33D	213-17-213	6.1	61-18-152	3.0-6.4

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

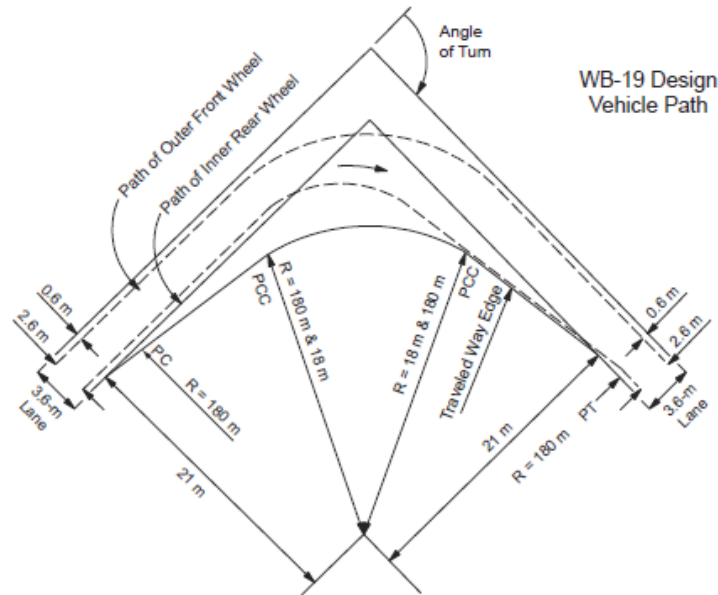
Los diseños mostrados en las figuras 3 y 4 son los que más se acomodan al vehículo de diseño específico, las combinaciones de curvas mostradas se sugieren para una operación satisfactoria. La elección de cualquier diseño va en función del tipo de vehículo, el tráfico vehicular, peatonal, el cruce de vías; es por esto que el diseño debe garantizar que el vehículo más grande, pueda girar sin interrumpir significativamente el tránsito.

Figura 3 Borde mínimo de diseño de la vía de circulación curva compuesta de tres radios y desfases de 1 y 4 metros



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

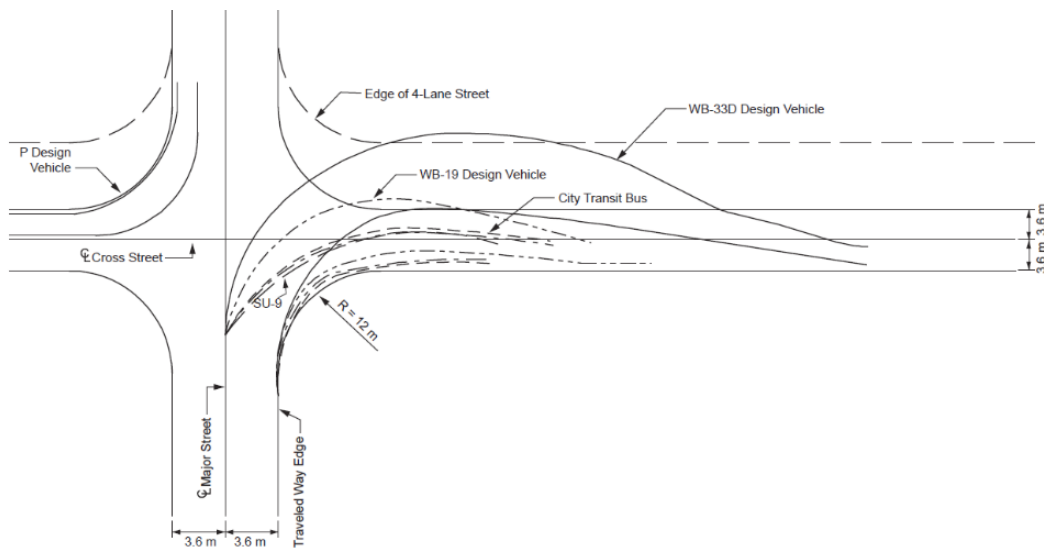
Figura 4 Borde mínimo de diseño de la vía de circulación curva compuesta de tres radios y desfase de 3 metros



Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011*

A continuación, se presenta en la figura 5 la invasión de carril para el vehículo WB-19 para intersecciones con ángulos de giro de 90°, el cual ocupará un área más ancha que dos carriles para completar el giro.

Figura 5 Efecto de radios de borde en las trayectorias de giro a la derecha de varios vehículos de diseño



Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011*

La tabla 9 ilustra los anchos de calzada ocupada por el vehículo de diseño, para diferentes ángulos de giro en una intersección sin carriles de estacionamiento, donde $d1$ y $d2$ son anchos ocupados por el vehículo en la calle principal y la calle secundaria, ambas dimensiones son medidas desde la acera derecha hasta el punto de sobreancho máximo, estos anchos generalmente aumentan con el ángulo de giro. También en dicha tabla se puede apreciar que es necesario el uso de radios bastante amplios para poder albergar vehículos más largos, especialmente donde los ángulos de giro son mayores a 90° .

Tabla 9 Ancho de vía ocupada por el vehículo ($d2$), para varios ángulos de giro en Intersección y radios de borde

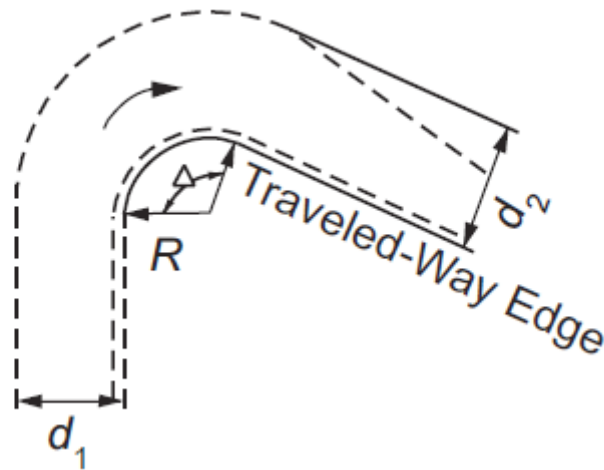
Angle of intersection (Δ)	Design Vehicle	R= 4.5 m		R= 6 m		R= 7.5 m		R= 9m		R= 12 m		
		A (m)	B (m)	A (m)	B (m)	A (m)	B (m)	A (m)	B (m)	A (m)	B (m)	
30°	SU-9	4.3	4.0	4.3	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
	SU-12	4.9	4.6	4.6	4.3	4.6	4.3	4.6	4.3	4.3	4.0	
	BUS	6.7	5.2	5.8	5.2	5.8	5.2	5.8	5.2	5.5	5.2	
	WB-12	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	
	WB-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	5.2
	WB-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.5	5.5
60°	SU-9	5.8	4.9	5.8	4.9	5.2	4.6	4.9	4.6	4.3	4.3	
	SU-12	7.3	5.8	5.8	5.5	5.8	5.2	5.5	4.9	5.2	4.6	
	BUS	8.5	6.4	7.9	6.1	7.3	6.1	7.0	5.8	6.7	5.5	
	WB-12	7.3	5.8	6.7	5.8	6.4	5.8	5.8	5.5	5.2	4.9	
	WB-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	6.7
	WB-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.3	7.3
90°	SU-9	7.9	6.1	7.0	5.5	5.8	4.9	5.2	4.6	4.0	4.0	
	SU-12	8.8	6.4	7.9	5.8	6.7	5.8	5.8	5.2	4.6	4.6	
	BUS	11.6	7.0	10.0	6.7	9.1	6.7	7.6	6.4	6.7	5.5	
	WB-12	9.4	6.7	8.2	6.4	7.0	6.4	5.8	5.5	5.2	4.9	
	WB-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	7.0
	WB-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	7.6
120°	SU-9	10.4	6.7	8.2	5.8	6.4	5.5	5.2	4.9	4.0	4.0	
	SU-12	12.2	7.6	10.4	7.0	8.2	6.1	6.7	5.5	4.9	4.6	
	BUS	14.0	8.5	12.2	7.6	9.8	7.0	7.9	5.8	5.8	5.5	
	WB-12	11.3	7.0	8.8	6.7	7.3	6.7	5.8	5.5	5.2	4.9	
	WB-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	6.7

	WB-20	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	7.0
150°	SU-9	12.2	7.6	9.8	6.4	6.7	5.8	5.2	4.9	3.6	3.6
	SU-12	15.2	9.1	12.5	7.9	10.1	7.0	7.6	5.8	2.9	4.6
	BUS	14.6	8.5	12.2	7.6	9.8	7.0	5.7	5.5	5.2	4.9
	WB-12	11.9	7.3	8.8	6.7	7.0	6.7	5.8	5.5	5.2	4.9
	WB-19	-	-	-	-	-	-	-	-	6.1	5.5
	WB-20	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	5.5

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

El caso A corresponde al vehículo girando desde el carril correcto y balanceándose sobre el carril adyacente, la $d_1 = 3.6$ y la d_2 siempre es variable.

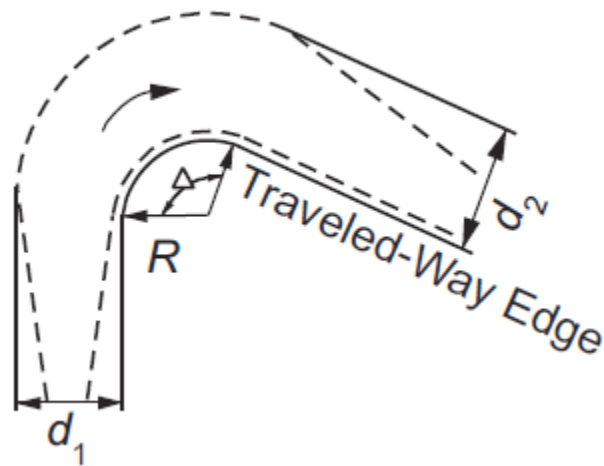
Figura 6 Caso A



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

El caso B corresponde al giro del vehículo igual en ambas calles, d_1 y la d_2 siempre son variables.

Figura 7 Caso B



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011

1.3.1. Manual de proyecto geométrico de carreteras instituto mexicano de transporte (IMT)

En este manual, El Instituto Mexicano del Transporte establece, un vehículo hipotético cuyas características se emplearán para determinar los lineamientos que regirán el proyecto geométrico de las carreteras e intersecciones. Las características físicas y operacionales de los vehículos de proyecto para cada tipo de carretera, deben guardar congruencia con los vehículos autorizados por la NOM-012-SCT-2-2014 y a su reglamento. De acuerdo con la distancia entre ejes extremos, los vehículos de proyecto cuyas características se muestran en la tabla 10, son los siguientes: presenta los radios mínimos de giro y de giro interno para la configuración de su parque automotor en la siguiente tabla:

Tabla 10 Vehículos de proyecto, según el tipo de camino

Características	Tipo de Carretera			
	ET-A	B	C	D
	Vehículo de Proyecto			
	TSR	CR	TS	C
Longitud Total del Vehículo, en metros	31.00	28.50	18.50	12.50
Distancia entre ejes extremos del vehículo, en centímetros	2970	2643	1540	762
Ancho Total del Vehículo, en centímetros	260	260	260	260
Entrevía del vehículo, en centímetros	260	260	260	260
Relación peso/potencia, Kg/hp	200	180	120	90

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte (IMT)

Las características de los vehículos, dependes estrictamente del tipo de vía sobre el cual van a circular, según la normativa **NOM-012-SCT-2-2014**, la cual establece la clasificación técnica de las carreteras, y los vehículos predeterminados para su diseño, tal como se observa en la tabla 11.

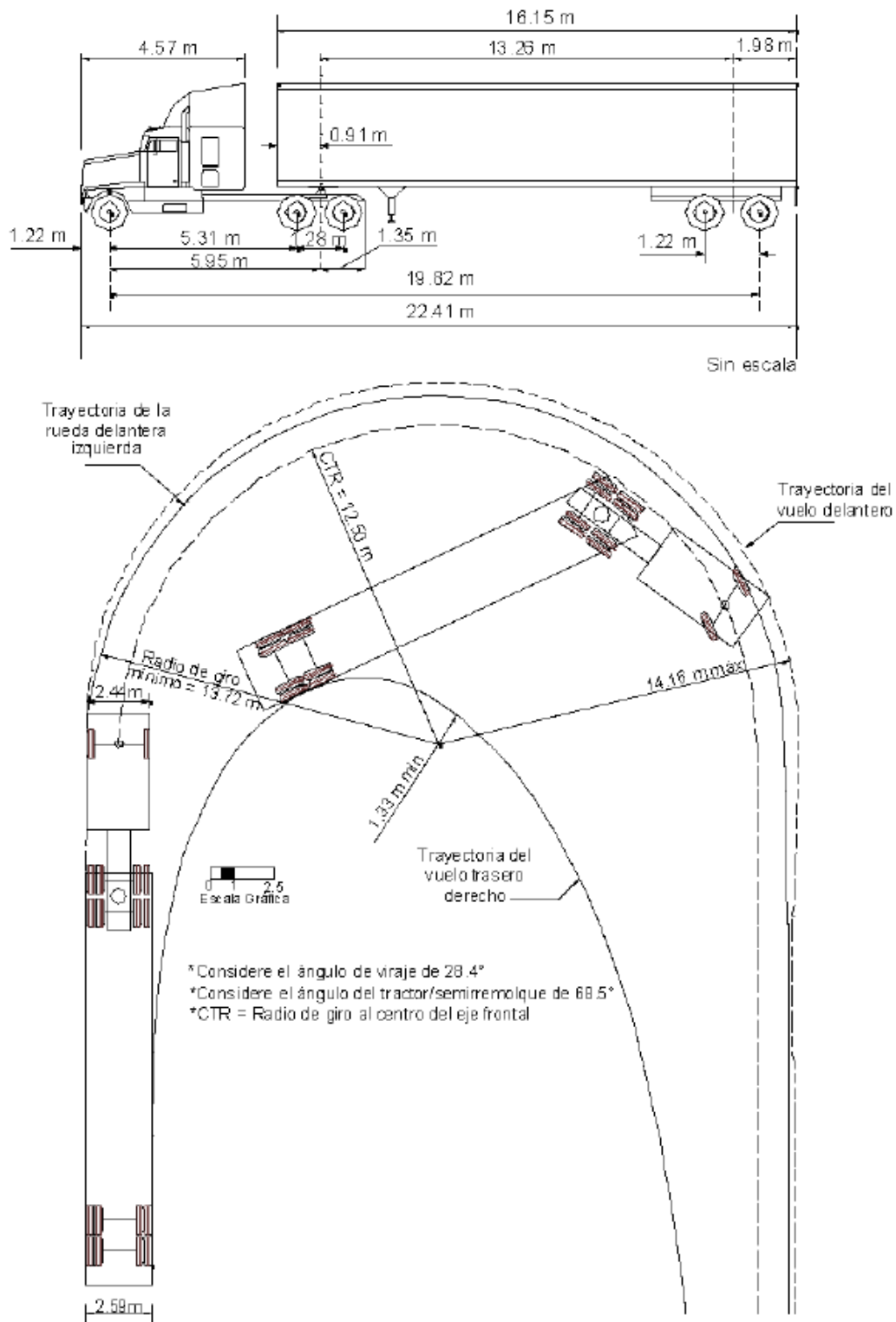
Tabla 11 Clasificación técnica de las carreteras

Tipo de Carretera	Nomenclatura
Ejes de Transporte, carreteras de cuatro carriles, con control total de accesos	ET 4
Ejes de Transporte, carreteras de dos carriles, con control total de accesos	ET 2
Carreteras de cuatro carriles, con control total o parcial de accesos	A 4
Carretera de dos carriles, con control total o parcial de accesos	A 2
Carreteras de do carriles, sin control de accesos	B 2
Carreteras de do carriles, sin control de accesos	C
Carreteras de do carriles, sin control de accesos	D

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte (IMT)

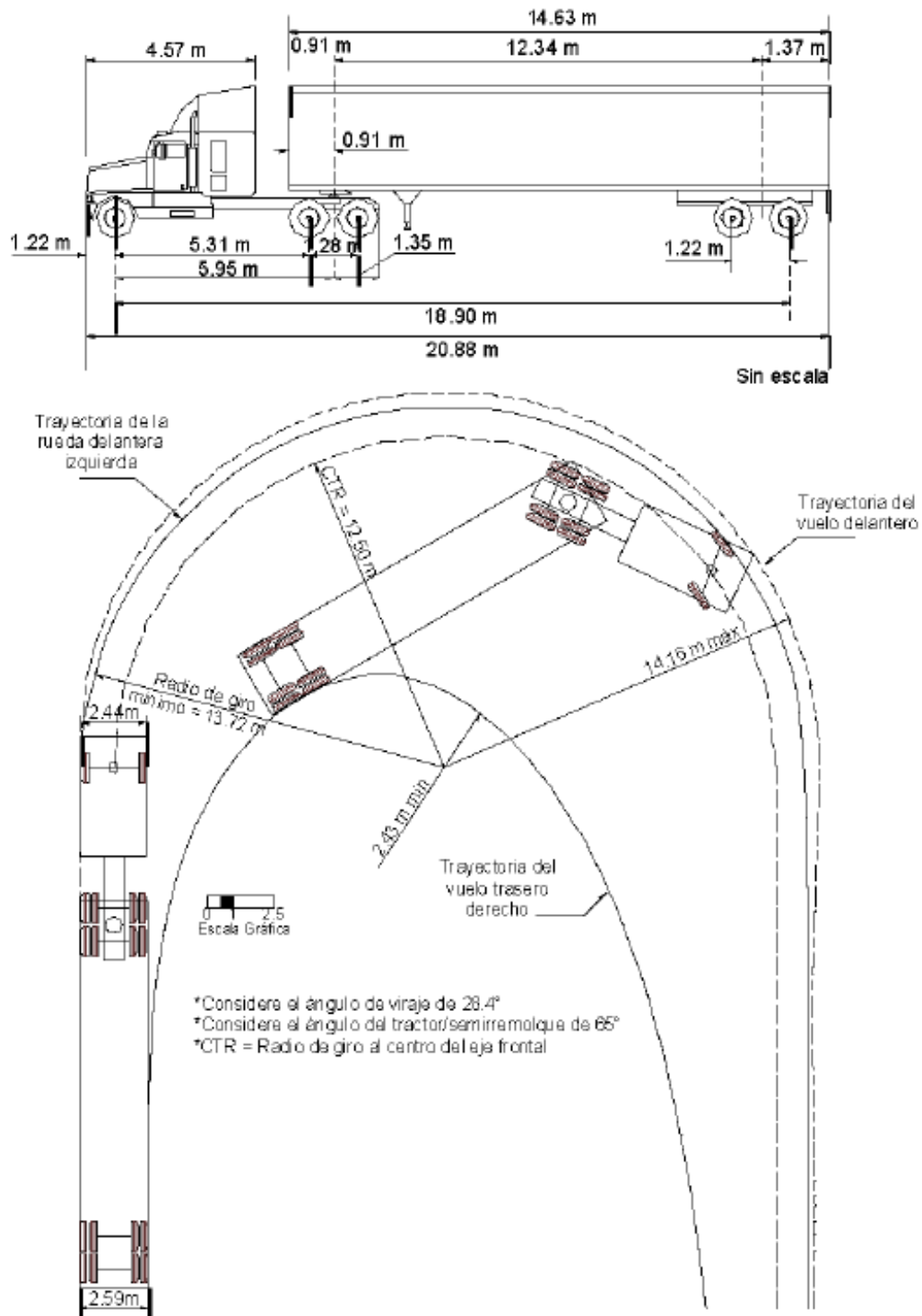
Las plantillas empleadas de las configuraciones de dichos vehículos son bastante similares a la presentada por la AASHTO en su versión 2011, sin embargo, difieren en medidas que al parecer no son de gran significancia, esta se presenta a continuación:

Figura 8 Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-1980



Fuente: Instituto Mexicano de Transporte (IMT)

Figura 9 Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-1890



Fuente: Instituto Mexicano de Transporte (IMT)

Tabla 12. Configuración parque automotor mexicano

VEHÍCULO DEL PROYECTO	TS	C	A
Longitud total, en m	31.00	14.00	6.00
Entre -eje equivalente, en m	14.50	7.50	3.75
Vuelo delantero, en m	1.20	1.00	0.90
Ancho total, en m	2.60	2.60	2.20
Entrevía, en m	2.60	2.40	1.90
Altura total, en m	4.25	4.25	3.50
Altura ojos conductor, en m	2.00	1.50	1.08
Altura de faros, en m	0.60	0.60	0.60
Ángulo del haz de luces, en grados	1.00	1.00	1.00
Peso bruto vehicular, en ton	67.50	22.50	3.50
Potencia de operación, en hp	450.00	150.00	70.00
Tipo de vehículo que representa	T3S2R4	C3	A2

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Primera Edición.

1.3.2. Manual de Carreteras DG-2018 Perú

Este “Manual de Carreteras – Diseño Geométrico DG-2018” propone en su sección 202 “Vehículos de diseño” como vehículo pesado la combinación de 3 diferentes tipos de tracto camión con semirremolques, denominados Semirremolque doble (T3S2S2), Semirremolque remolque (T3S2S1S2) y Semirremolque simple (T3S3), y a su vez estandariza los valores de radio de giro mínimo según los ángulos de incidencia a los que se encuentre la trayectoria. Algunos de éstos son extraídos de la norma AASHTO, sin embargo, la combinación T3S2S2 y T3S2S1S2 difieren y son propios de este país, es decir dicha combinación no se encuentra registrada en la normativa AASHTO 2004, en la tabla 13 se especifican las características de vehículos y radios mínimos necesarios para la operación del parque automotor.

Tabla 13. Vehículos de tipo M usados en el dimensionamiento de carreteras

Tipo de Vehículo	Alto Total	Ancho Total	Vuelo Lateral	Ancho Ejes	Largo Total	Vuelo Delantero	Separación de ejes	Vuelo Trasero	Radio mínimo rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de 2 ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70/1.90/4.00	3.10	12.80
Semirremolque Simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00/12.50	0.80	13.70
Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30/0.80/2.15/7.75	0.80	12.80
Semirremolque Doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40/6.80/1.40/6.80	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45/5.70/1.40/2.15/5.70	1.40	13.70
Semirremolque Simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40/11.90	2.00	1.00

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos (MTC-2003).

El manual contempla que el espacio mínimo requerido para ejecutar un giro de 180°, está definido por la trayectoria que sigue la rueda delantera izquierda del vehículo (trayectoria exterior) y por la rueda trasera derecha (trayectoria interior). “De igual manera, se debe considerar el espacio libre requerido por la sección en volado que existe entre el primer eje y el parachoques, o elemento más sobresaliente”.

La trayectoria exterior está dada por el radio de giro mínimo propio del vehículo y es una característica de fabricación.

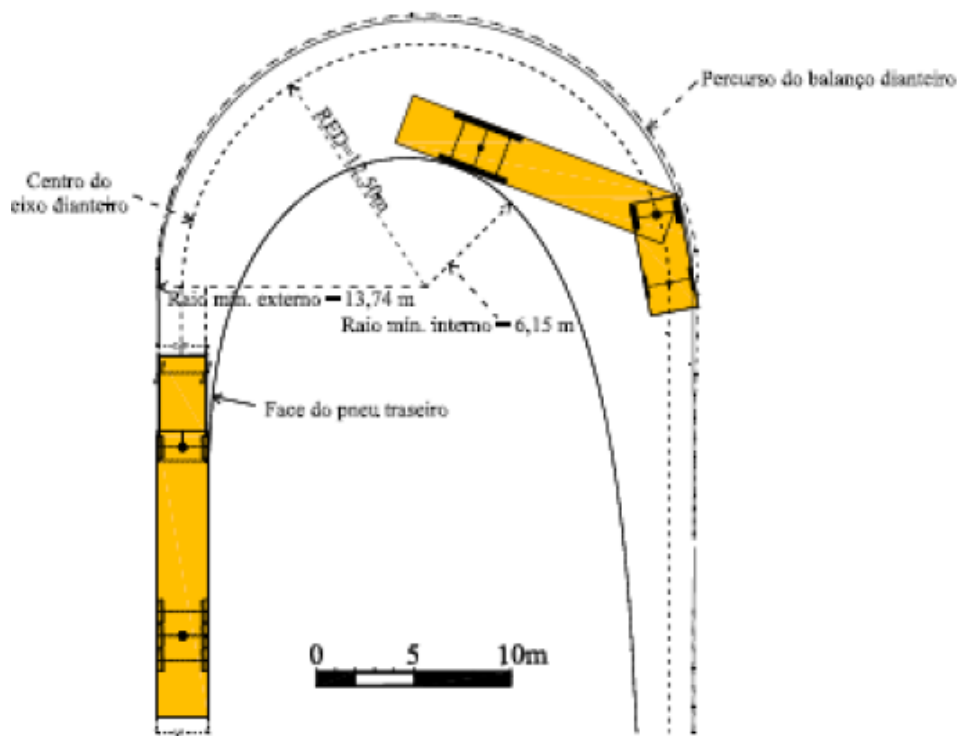
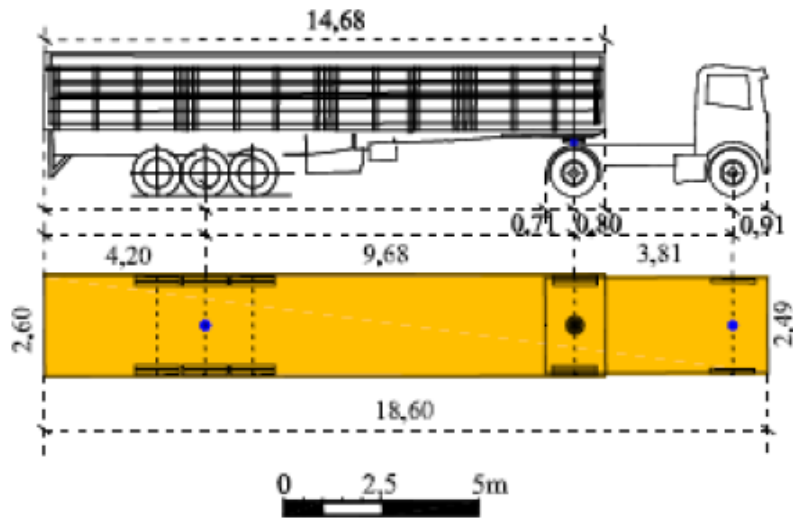
En este manual se contemplan 5 tipos de combinaciones con semirremolques, sin embargo, dichas combinaciones son propias y adaptadas a dicho país, por lo cual no es posible establecer una similitud o una correspondencia a los vehículos contemplados en este estudio (C3S2 y C3S3), sin embargo, las figuras contempladas en las paginas 69-97 presentan las planchas de giro y datos requeridos para dichas combinaciones.

1.3.3. Manual de Proyectos geométricos de vías urbanas Brasil

Por otra parte, el Manual de proyectos geométricos de vías urbanas del Ministerio de Transportes de Brasil, contempla 5 tipos de vehículos articulados (Tractocamiones con diferentes combinaciones propias de su parque automotor, el vehículo denominado CA (Carreta de 5 ejes) es el más próximo al trabajado en este documento, sin embargos sus dimensiones y ejes difieren.

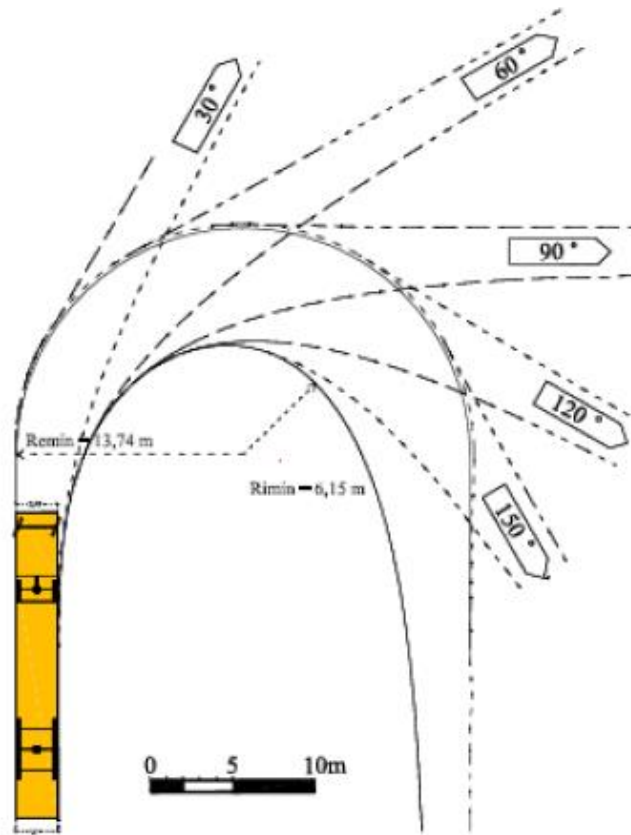
En la figura 10, se observa las dimensiones del vehículo "CA" con su respectiva plancha de giros, de igual manera las respectivas trayectorias de giro.

Figura 10 Dimensiones y trayectoria de giro de 180° del vehículo de 5 Ejes



Fuente: Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas. 2010

Figura 11 Trayectorias de giro del vehículo de 5 Ejes



Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Travessias Urbanas. 2010

1.3.4. Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC- España

España por otro lado, plantea en su “Instrucción de Carreteras-Norma 3.1-IC” del Ministerio de Fomento en la Dirección General de Carreteras, contemplan la utilización de radios de giro y vehículos propios denominados “Patrones”, los cuales no se encuentran presentes en la normativa AASHTO, aclaran que dichos patrones son empleados en la totalidad de los diseños viales para efectos de geometría y de requerirse uno nuevo, se debe realizar el respectivo estudio técnico y económico para comprobar si es necesario emplear otro tipo de vehículo. Es de aclarar que dicha normativa entró en vigencia a partir del 20 de febrero de 2016.

En la tabla 14 se consigna los datos de los vehículos de diseño con sus respectivos radios mínimo de giro para la óptima operación.

Tabla 14. Dimensiones de los Vehículos Patrón

CARACTERÍSTICA		CAMIÓN ARTICULADO		TREN DE CARRETERA	
		TRACTORA	SEMIREMOLQUE *	CAMIÓN	REMOLQUE**
Anchura		2.44	2.55	2.45	2.55
Longitud	Unidad	6.30	13.60	10.5	7.25
	Total	16.5		18.75	
Altura		2.79	4.04	2.79/4.04	4.04
Voladizo Delantero		1.40		1.40	
Distancia entre Ejes	No. 1	3.90		5.00	
	No. 2	5.65		1.40	
	No. 3		1.30	6.7	
	No. 4		1.30		1.30
Voladizo Trasero			2.95		2.95
Posición Pivote ***		3.20/0.70		1.40/5.30	

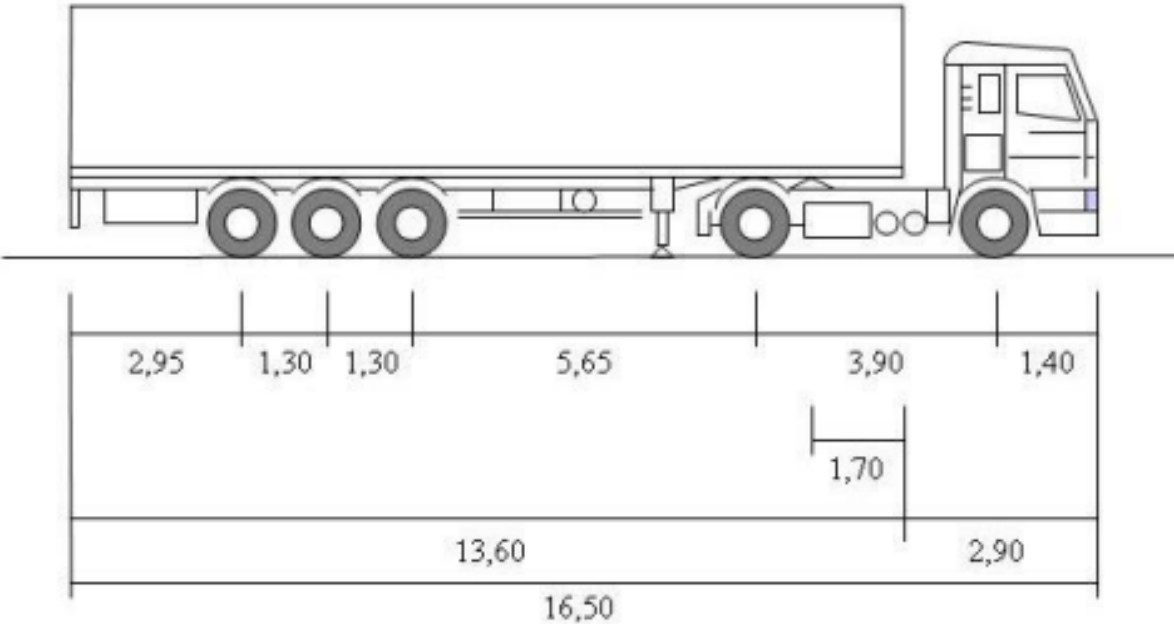
* El semirremolque tiene tres ejes y puede circular con el más adelantado izado.

** Los ejes de los remolques adoptan diversas configuraciones. El seleccionado tiene dos ejes centrados en la caja; pero los ejes se pueden situar también en los extremos de la caja. También puede tener tres ejes y un pivote de giro.

*** La primera cifra corresponde a la distancia del pivote al eje que está delante de él y la segunda al eje que está detrás. Por lo tanto, la suma de las dos cifras es la distancia entre esos dos ejes, entre los que está situado el pivote.

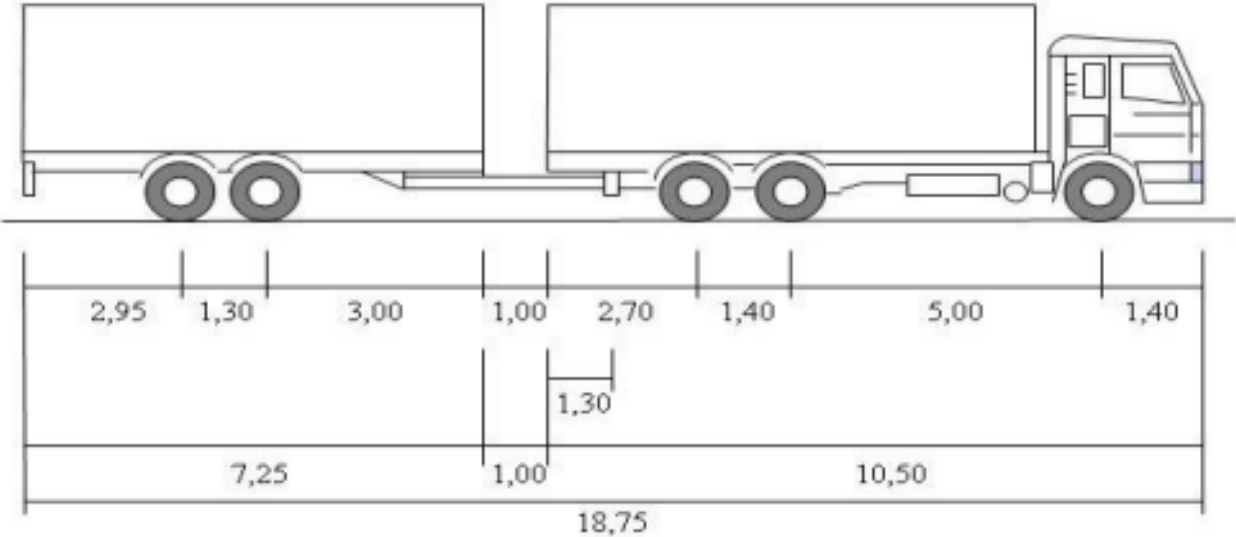
Fuente: Instrucciones de Carretera Norma 3.1 IC. 2016

Figura 12 Dimensiones Camión Articulado Patrón



Fuente: Instrucciones de Carretera Norma 3.1 IC. 2016

Figura 13 Dimensiones Tren de Carretera Patrón



Fuente: Instrucciones de Carretera Norma 3.1 IC. 2016

2. MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo del estudio partió de las siguientes etapas:

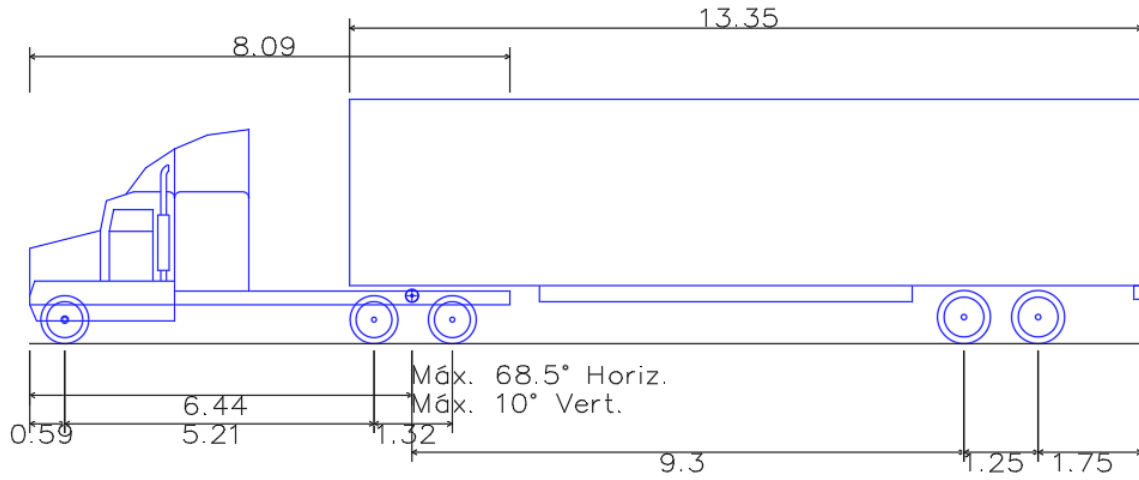
2.1. Determinación de los Vehículos de diseño

Para determinar el vehículo de diseño de este proyecto, se tuvo en cuenta el parque automotor que circula actualmente por el país, sin embargo dado que el Ingeniero Mario Arturo Rincón Villaba en su tesis Magistral “Determinación de radios de giro para diseños viales urbanos en Colombia”, realizó el estudio pertinente para establecer las dimensiones propias de los vehículos livianos, busetas y camiones C2, propios de nuestro país y a su vez determinó los radios de giro y sus respectivas plantillas para velocidades máximas de 15 km/h a diferentes ángulos de giro, se procedió a establecer los vehículos articulados C3S2 y C3S3 como vehículos de diseño, para poder de esta manera completar dicho estudio y conocer los radios mínimos requeridos, para una mejor operación a nivel urbano.

2.2. Establecer las dimensiones exactas de los vehículos en estudio (camiones C3-S2 y C3-S3).

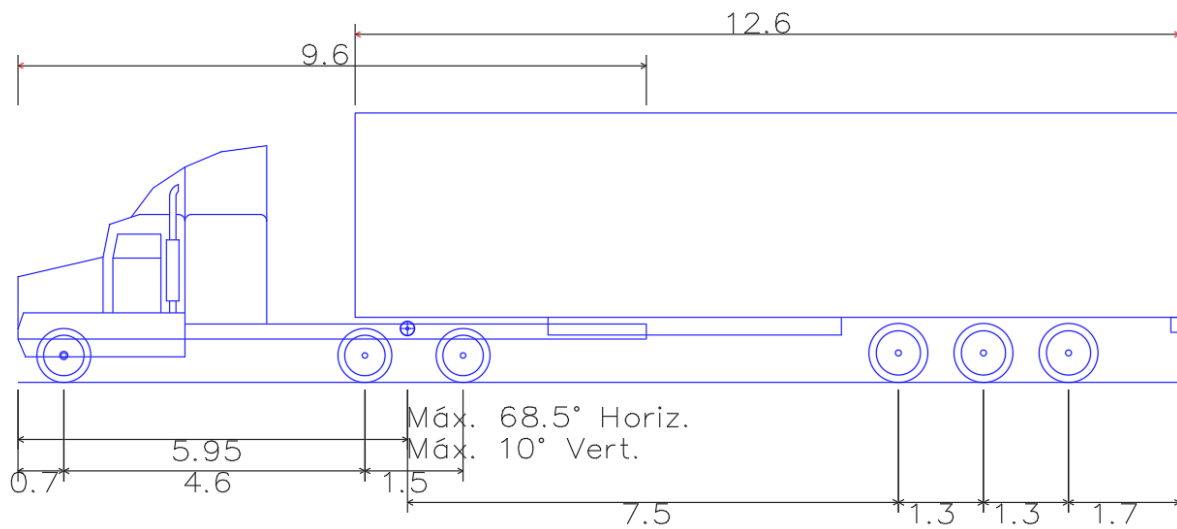
La resolución 0041 de 28 de diciembre de 2004 emitida por el ministerio de Transporte, define el vehículo C3S2 como un tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes y al vehículo C3S3 como un tractocamión de tres ejes con semi-remolque de tres ejes, estableciendo una longitud máxima de 18.5 metros, una altura máxima de 4.4 metros y un ancho máximo de 2.6 metros, para ambos vehículos. Sin embargo, mediante este estudio, se determinaron dimensiones de estos vehículos mediante medidas directas sobre los mismos, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 14 Dimensiones Tractocamión C3S2



Fuente: Propia

Figura 15 Dimensiones Tractocamión C3S3



Fuente: Propia

Es de aclarar que dichas dimensiones corresponden a la condición más crítica encontrada para este tipo de vehículos; en este estudio se tuvo en cuenta tres (3) diferentes marcas existentes en el medio (Kenworth, International y Volvo), las cuales se compararon sus dimensiones, descritas en las respectivas fichas técnicas, específicamente del tráiler y mediante la comparación de las mismas, se llegó a la conclusión que las dimensiones del semirremolque varían, sin importar el número de ejes que éste contemple, por lo cual es imposible estandarizar los semirremolques y la longitud total de éste vehículo.

2.3. Medición y control de velocidades.

Durante esta etapa, fue necesario establecer la velocidad máxima a la que los vehículos giraron a ángulo de 180°, ya que este es el movimiento más crítico a nivel de intersecciones, para dicho ejercicio, fue necesario emplear un radar el cual arrojaba las velocidades puntuales de dichos movimientos, empleando el principio Doppler, el cual consiste en el reflejo de una onda de radio sobre un objeto en movimiento y la variación en la frecuencia que esta experimenta, debido a la velocidad del objeto. La velocidad media de los vehículos analizados fue de 13 km/h, la velocidad máxima fue de 15 km/h.

Imagen 1 Control de Velocidad Tractocamiones



Fuente: Propia

2.4. Zona de Prueba

Las medidas tomadas a los giros realizados con el tracto camión C3S3 fueron llevadas a cabo en el municipio de Sopó (Cundinamarca), en las instalaciones de la planta de Baldosines San Lorenzo, ubicada vía Tocancipá - Sopó, a la altura de la vereda Centro Alto.

Esta plataforma cumplía con condiciones mínimas requeridas para el giro de 180° a una velocidad máxima de 15 km/h. De igual manera la superficie de rodadura era en concreto, garantizando el óptimo desarrollo durante el recorrido del tractocamión y sin obstáculos o condiciones estéticas que impidieran su marcha normal.

Finalmente, y uno de los factores más importantes, dicha zona corresponde a una zona privada, sin constante tráfico vehicular, lo que garantizó realizar el estudio de manera ágil y precisa.

Imagen 2 Imagen satelital Localización Estudio de Pruebas C3S3



Fuente: Google Earth Pro

Por otra parte, las medidas tomadas a los giros realizados con el tracto camión C3S2, fueron llevadas a cabo en el municipio de Siberia (Cundinamarca), en las Bodegas Morelia, ubicada vía El Rosal- Bogotá, antes del peaje de la Calle 80, frente a las bodegas de Yanbal.

A diferencia de la anterior plataforma, esta se encontraba sobre una superficie en adoquín, sin embargo, cumplía con condiciones mínimas requeridas para el giro de 180° a una velocidad máxima de 15 km/h.

Imagen 3 Imagen satelital Localización Estudio de Pruebas C3S2

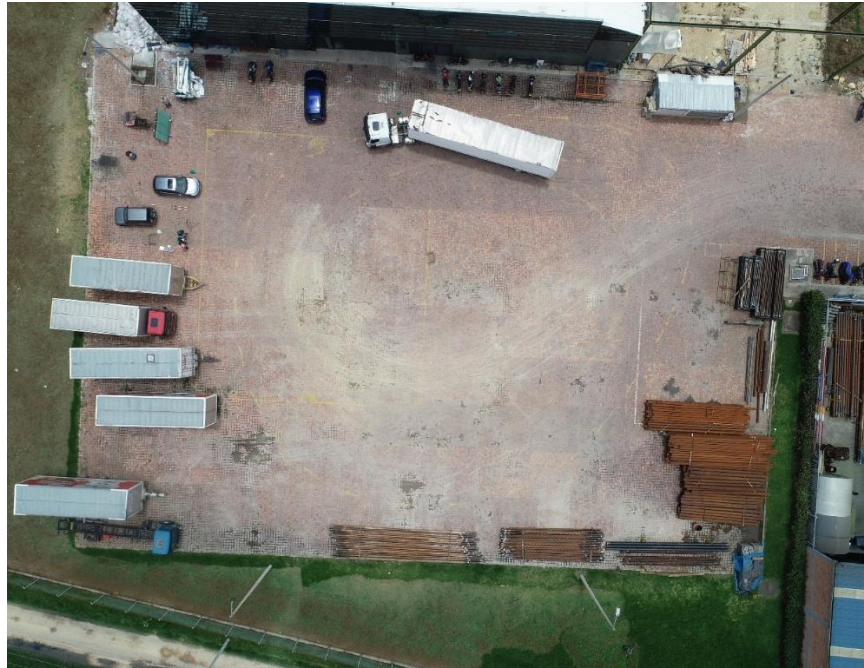


Fuente: Google Earth Pro

2.5. Demarcación de trayectorias de giro

Para garantizar la demarcación sobre las plataformas, fue necesario extender a medida que los vehículos realizaban las maniobras, oxido de calcio en los ejes externos e internos, garantizando las trayectorias recorridas, a continuación, se observa en las Imágenes 4 y 5, la demarcación de las trayectorias realizadas por el vehículo C3S2 y en las imágenes 6 y 7 las correspondientes al vehículo C3S3.

Imagen 4 Trayectoria de giro tractocamión C3S2



Fuente: Propia

Imagen 5 Trayectoria de giro tractocamión C3S2



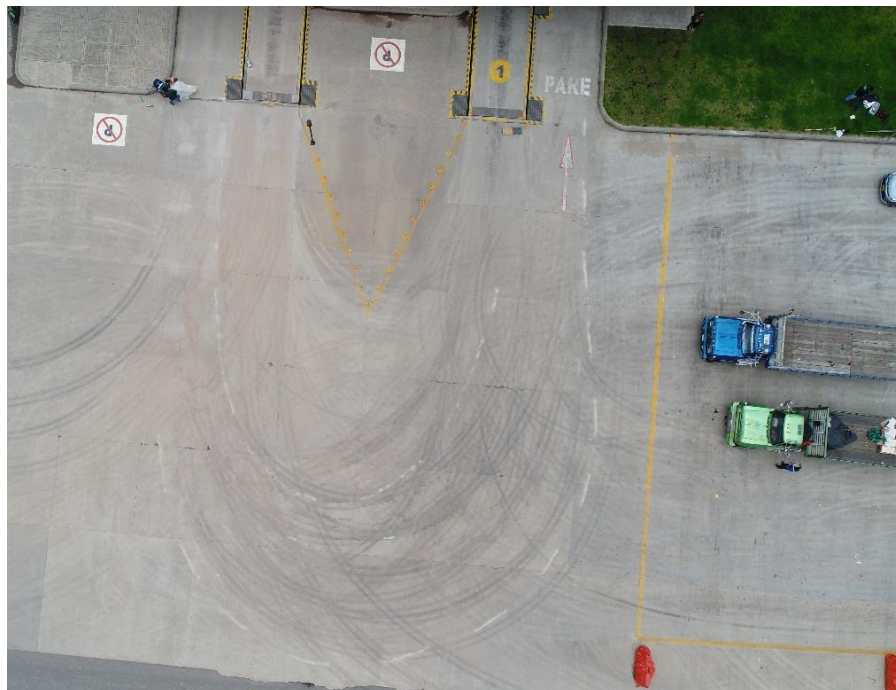
Fuente: Propia

Imagen 6 Trayectoria de giro tractocamión C3S3



Fuente: Propia

Imagen 7 Trayectoria de giro tractocamión C3S3



Fuente: Propia

Una vez realizada la respectiva demarcación, se procedió a realizar el pertinente levantamiento topográfico de las regiones o los espacios necesarios para las maniobras de los vehículos, para posteriormente generar las respectivas plantillas de giro mediante la aplicación de Autodesk “Vehicle Tracking”.

Se determinaron dos radios de giro, el radio de la rueda externa del Tráiler y el radio de la rueda interna correspondiente al Semirremolque para ambos casos (C3S2 y C3S3).

2.6. Tamaño Muestral

Con el objeto de continuar la investigación realizada por el Ing. Mario Rincón, se mantuvo el número de mediciones necesarias para realizar las pruebas (5), esto con el fin de garantizar las condiciones iniciales del estudio y de esta manera completar la totalidad del parque automotor. Es de aclarar que se mantuvo un nivel de confianza del 95%, una amplitud de 0.05, generando un tamaño muestral el cual se presenta a continuación:

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{d^2}$$

Donde:

n = Tamaño muestral

Z = Constante z para nivel de confianza 95% = (1.96)

S = Desviación estándar

d = Error máximo Tolerable

Una vez realizadas las pruebas, se procedió a verificar si el número de muestras satisfacía la condición para el estudio desarrollado. A continuación, se muestra en la tabla 15 las medidas obtenidas, datos de estadística descriptiva y el tamaño muestral, requerido para garantizar un estudio con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 15. Tamaño muestral

TRACTOCAMION	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO	TRACTOCAMION	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S2-1	13,276	7,442	C3S3-1	11,265	5,383
C3S2-2	13,362	7,369	C3S3-2	11,257	5,335
C3S2-3	13,297	7,386	C3S3-3	11,333	5,406
C3S2-4	13,365	7,325	C3S3-4	11,264	5,383
C3S2-5	13,286	7,408	C3S3-5	11,292	5,361
Estadística Descriptiva					
Media	13,317	7,386	Media	11,282	5,374
Mediana	13,297	7,386	Mediana	11,265	5,383
Varianza de la muestra	0,002	0,002	Varianza de la muestra	0,001	0,001
Desviación estándar	0,043	0,044	Desviación estándar	0,031	0,027
Tamaño de la Muestra					
Desviación estándar	0,043	0,044	Desviación estándar	0,031	0,027
Error Máx. Tolerable "d"	0,050	0,050	Error Máx. Tolerable "d"	0,050	0,050
Constante "Z"	1,960	1,960	Constante "Z"	1,960	1,960
Tamaño Muestral "n"	2,83	2,95	Tamaño Muestral "n"	1,52	1,12

Fuente: Propia

A partir de este resultado, se determinó que era necesario realizar únicamente 3 mediciones para garantizar un nivel de confiabilidad del 95%, sin embargo, el estudio se realizó con 5 mediciones, garantizando las condiciones iniciales del estudio, con una velocidad media de 13 km/h.

Estas mediciones en campo permitieron determinar el espacio requerido por este tipo de vehículos para generar maniobras de giro satisfaciendo seguridad y niveles de operatividad en las vías, a una velocidad constante de circulación.

2.7. Levantamiento Topográfico

Una vez demarcada la trayectoria de giro de los vehículos, se procedió a realizar el levantamiento topográfico de cada una de las muestras, tanto de la llanta interna correspondiente al Tráiler (Radio interno) como la llanta externa correspondiente al semirremolque (Radio externo), mediante el método de radiación simple, empleado en topografía para el levantamiento de detalles planimétricos.

El equipo empleado fue una estación total marca Topcon ES-105 cuya precisión angular es 2". Es de aclarar, que debido a que éste estudio NO requería de coordenadas reales y tampoco puntos de amarre georreferenciados, se procedió a realizar el levantamiento basado en coordenadas arbitrarias, y en diferentes sectores de la plataforma.

Imagen 8 Trayectoria de giro tractocamión C3S2



Fuente: Propia

Imagen 9 Trayectoria de giro tractocamión C3S3



Fuente: Propia

2.8. Coordenadas Levantamientos Topográficos

Luego de capturada la información en campo, se procedió a calcular las coordenadas planas respectivas para posteriormente hacer uso de la plataforma AutoCAD Civil 3D versión 2018 y proceder al cálculo de los radios mediante el dibujo en dicho software. A continuación, se presentan las coordenadas obtenidas de las 5 maniobras realizadas en campo.

Tabla 16. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 1 C3S2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	981.3333	1002.0026	Vehiculo_1
2	989.9434	1006.3721	Vehiculo_1
3	991.479	1023.9619	Vehiculo_1

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
4	993.6892	1016.447	Vehiculo_1
5	978.8712	1010.3686	Vehiculo_1
6	977.1945	1011.2055	Vehiculo_1
7	983.634	1010.2721	Vehiculo_1
8	987.1664	1012.8091	Vehiculo_1
9	990.1817	1027.8622	Vehiculo_1
10	992.8536	1020.3761	Vehiculo_1
11	993.5546	1013.6982	Vehiculo_1
12	991.8367	1008.8468	Vehiculo_1
13	988.5632	1004.9395	Vehiculo_1
14	988.8076	1027.8204	Vehiculo_1
15	976.5394	1002.4752	Vehiculo_1
16	989.0939	1025.6734	Vehiculo_1
17	971.7079	1004.9212	Vehiculo_1
18	985.814	1011.396	Vehiculo_1
19	966.8672	1016.8731	Vehiculo_1
20	981.5048	1009.9166	Vehiculo_1
21	972.0275	1032.0548	Vehiculo_1
22	975.8153	1012.3484	Vehiculo_1
23	974.086	1036.1302	Vehiculo_1
24	974.0612	1015.3915	Vehiculo_1
25	966.9416	1012.7176	Vehiculo_1
26	974.2944	1021.6184	Vehiculo_1
27	968.9735	1008.0333	Vehiculo_1
28	976.3461	1034.8183	Vehiculo_1
29	975.0907	1030.3718	Vehiculo_1
30	983.6859	1002.3407	Vehiculo_1
31	968.7151	1023.1007	Vehiculo_1
32	970.6899	1028.3088	Vehiculo_1
33	985.4495	1003.2592	Vehiculo_1
34	987.0302	1003.9281	Vehiculo_1
35	992.9703	1011.4444	Vehiculo_1
36	992.4443	1010.0206	Vehiculo_1
37	991.4062	1008.156	Vehiculo_1
38	974.6551	1013.8401	Vehiculo_1
39	973.8051	1016.8	Vehiculo_1
40	973.9987	1019.1879	Vehiculo_1
41	974.756	1025.5033	Vehiculo_1
42	988.2525	1014.5028	Vehiculo_1
43	988.8662	1016.9113	Vehiculo_1

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
44	989.2869	1019.2035	Vehiculo_1
45	989.3538	1022.8343	Vehiculo_1

Fuente: Propia

Tabla 17. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 2 C3S2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	995.4674	1019.4868	Vehiculo_2
2	992.3511	1019.1741	Vehiculo_2
3	995.0094	1016.6864	Vehiculo_2
4	991.2345	1016.199	Vehiculo_2
5	994.3629	1012.1206	Vehiculo_2
6	990.131	1013.6309	Vehiculo_2
7	993.8422	1007.4913	Vehiculo_2
8	988.8722	1010.6017	Vehiculo_2
9	992.9211	1004.014	Vehiculo_2
10	987.4809	1007.2564	Vehiculo_2
11	991.2064	1000.7913	Vehiculo_2
12	985.8434	1004.8618	Vehiculo_2
13	987.8255	997.563	Vehiculo_2
14	983.1443	1003.1216	Vehiculo_2
15	982.3302	995.3365	Vehiculo_2
16	979.7613	1002.6294	Vehiculo_2
17	978.4404	995.4114	Vehiculo_2
18	976.3163	1003.8735	Vehiculo_2
19	974.0365	996.7805	Vehiculo_2
20	973.8161	1006.7538	Vehiculo_2
21	970.0045	999.9792	Vehiculo_2
22	973.0419	1010.541	Vehiculo_2
23	967.5706	1004.2735	Vehiculo_2
24	973.6243	1014.8579	Vehiculo_2
25	966.8261	1009.6143	Vehiculo_2
26	968.3046	1015.2418	Vehiculo_2
27	974.5624	1019.3052	Vehiculo_2
28	969.1205	1018.5671	Vehiculo_2
29	975.5179	1023.4043	Vehiculo_2
30	970.0813	1022.0389	Vehiculo_2

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
31	977.0836	1029.9338	Vehiculo_2
32	971.1399	1025.6167	Vehiculo_2
33	973.7594	1035.7979	Vehiculo_2
34	971.9992	1028.4832	Vehiculo_2
35	974.339	1038.204	Vehiculo_2
36	972.8376	1032.9491	Vehiculo_2
37	976.4701	1027.9314	Vehiculo_2
38	977.4623	1032.4321	Vehiculo_2
39	993.2116	1021.4501	Vehiculo_2

Fuente: Propia

Tabla 18. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 3 C3S2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	1001.0314	1016.2922	Vehiculo_3
2	995.9221	1014.4619	Vehiculo_3
3	999.083	1013.2012	Vehiculo_3
4	995.6908	1007.9182	Vehiculo_3
5	993.2708	1012.7667	Vehiculo_3
6	993.2486	1004.5256	Vehiculo_3
7	989.4761	1010.2681	Vehiculo_3
8	989.8186	1001.98	Vehiculo_3
9	986.8151	1008.6918	Vehiculo_3
10	985.646	1000.421	Vehiculo_3
11	984.5048	1007.9157	Vehiculo_3
12	981.5634	1000.7452	Vehiculo_3
13	981.6074	1007.9591	Vehiculo_3
14	977.617	1002.073	Vehiculo_3
15	978.7136	1009.4613	Vehiculo_3
16	973.9471	1004.7351	Vehiculo_3
17	976.6925	1012.1886	Vehiculo_3
18	971.0378	1009.5614	Vehiculo_3
19	975.9608	1014.5244	Vehiculo_3
20	970.4327	1015.582	Vehiculo_3
21	976.339	1019.0142	Vehiculo_3
22	998.5973	1016.2618	Vehiculo_3
23	971.5871	1021.2451	Vehiculo_3
24	972.443	1025.6233	Vehiculo_3

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
25	973.2021	1030.1171	Vehiculo_3
26	976.4212	1024.9644	Vehiculo_3
27	974.0401	1034.5907	Vehiculo_3
28	976.7706	1029.6117	Vehiculo_3
29	974.4072	1037.0913	Vehiculo_3
30	976.8696	1034.9009	Vehiculo_3

Fuente: Propia

Tabla 19. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 4 C3S2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	999.2543	1018.2242	Vehiculo_4
2	998.2471	1019.9924	Vehiculo_4
3	997.6735	1012.6754	Vehiculo_4
4	996.6437	1018.156	Vehiculo_4
5	996.117	1008.894	Vehiculo_4
6	991.5731	1012.421	Vehiculo_4
7	992.8507	1005.3425	Vehiculo_4
8	989.454	1010.7287	Vehiculo_4
9	988.998	1002.969	Vehiculo_4
10	986.8175	1009.9139	Vehiculo_4
11	983.5755	1002.5569	Vehiculo_4
12	984.1347	1010.0563	Vehiculo_4
13	978.3473	1004.0506	Vehiculo_4
14	981.4271	1011.3847	Vehiculo_4
15	973.829	1008.062	Vehiculo_4
16	979.6455	1013.2825	Vehiculo_4
17	971.0338	1014.1811	Vehiculo_4
18	978.6262	1016.0052	Vehiculo_4
19	971.1224	1020.5064	Vehiculo_4
20	978.8127	1019.6571	Vehiculo_4
21	973.3642	1025.3504	Vehiculo_4
22	979.8727	1023.1882	Vehiculo_4
23	994.2806	1015.4945	Vehiculo_4
24	980.8796	1026.225	Vehiculo_4
25	975.4907	1027.8673	Vehiculo_4

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
26	982.3603	1029.5613	Vehiculo_4
27	978.5695	1030.1191	Vehiculo_4

Fuente: Propia

Tabla 20. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 5 C3S2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	995.983	1022.67	Vehiculo_5
2	995.3675	1019.0804	Vehiculo_5
3	993.3883	1023.1127	Vehiculo_5
4	994.3854	1014.6719	Vehiculo_5
5	992.4293	1019.0741	Vehiculo_5
6	993.6906	1010.8364	Vehiculo_5
7	990.9148	1013.2151	Vehiculo_5
8	992.5209	1004.8319	Vehiculo_5
9	989.3488	1008.3328	Vehiculo_5
10	990.0924	1000.2421	Vehiculo_5
11	987.2783	1005.061	Vehiculo_5
12	985.9656	996.8356	Vehiculo_5
13	984.4073	1003.1426	Vehiculo_5
14	979.7309	995.2523	Vehiculo_5
15	980.6541	1002.8066	Vehiculo_5
16	975.0637	996.1011	Vehiculo_5
17	976.8129	1004.7283	Vehiculo_5
18	971.2643	998.1109	Vehiculo_5
19	974.7139	1007.9707	Vehiculo_5
20	967.7496	1002.6651	Vehiculo_5
21	974.4539	1011.4797	Vehiculo_5
22	966.3547	1009.4807	Vehiculo_5
23	975.5703	1015.6038	Vehiculo_5
24	967.7892	1014.6684	Vehiculo_5
25	976.6838	1019.8039	Vehiculo_5
26	970.7855	1020.5915	Vehiculo_5
27	977.5473	1023.6699	Vehiculo_5
28	972.9752	1024.1606	Vehiculo_5
29	978.339	1026.7016	Vehiculo_5
30	975.3811	1028.7112	Vehiculo_5

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
31	979.199	1030.2606	Vehiculo_5
32	976.749	1031.575	Vehiculo_5

Fuente: Propia

Tabla 21. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 1 C3S3*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	968.736	987.149	Vehiculo_1
2	967.414	990.256	Vehiculo_1
3	966.487	992.407	Vehiculo_1
4	966.041	993.386	Vehiculo_1
5	965.192	995.584	Vehiculo_1
6	964.284	998.111	Vehiculo_1
7	963.95	999.79	Vehiculo_1
8	963.79	1002.062	Vehiculo_1
9	964.076	1003.725	Vehiculo_1
10	964.548	1005.179	Vehiculo_1
11	965.485	1006.652	Vehiculo_1
12	966.675	1007.818	Vehiculo_1
13	967.917	1008.526	Vehiculo_1
14	969.388	1008.949	Vehiculo_1
15	970.698	1008.947	Vehiculo_1
16	971.921	1008.717	Vehiculo_1
17	973.258	1008.228	Vehiculo_1
18	974.508	1007.575	Vehiculo_1
19	975.532	1006.797	Vehiculo_1
20	976.59	1005.878	Vehiculo_1
21	977.489	1004.873	Vehiculo_1
22	978.483	1003.475	Vehiculo_1
23	979.311	1002.012	Vehiculo_1
24	980.062	1000.584	Vehiculo_1
25	980.726	999.309	Vehiculo_1
26	981.391	997.865	Vehiculo_1
27	982.131	996.139	Vehiculo_1
28	982.683	994.704	Vehiculo_1
29	983.164	993.557	Vehiculo_1
30	966.24	986.109	Vehiculo_1

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
31	965.616	987.652	Vehiculo_1
32	964.968	989.33	Vehiculo_1
33	964.064	991.315	Vehiculo_1
34	963.334	993.087	Vehiculo_1
35	962.83	994.272	Vehiculo_1
36	962.109	996.564	Vehiculo_1
37	961.81	998.07	Vehiculo_1
38	961.516	999.828	Vehiculo_1
39	961.441	1001.318	Vehiculo_1
40	961.48	1002.934	Vehiculo_1
41	961.738	1004.281	Vehiculo_1
42	960.164	1001.907	Vehiculo_1
43	959.701	1004.152	Vehiculo_1
44	959.714	1006.213	Vehiculo_1
45	960.014	1007.87	Vehiculo_1
46	960.595	1009.344	Vehiculo_1
47	961.301	1010.6	Vehiculo_1
48	962.248	1011.858	Vehiculo_1
49	963.458	1013.021	Vehiculo_1
50	964.725	1013.914	Vehiculo_1
51	966.086	1014.599	Vehiculo_1
52	967.863	1015.202	Vehiculo_1
53	969.265	1015.521	Vehiculo_1
54	970.624	1015.68	Vehiculo_1
55	972.074	1015.604	Vehiculo_1
56	973.409	1015.327	Vehiculo_1
57	974.957	1014.817	Vehiculo_1
58	976.692	1013.922	Vehiculo_1
59	978.477	1012.611	Vehiculo_1
60	980.025	1010.967	Vehiculo_1
61	981.274	1009.259	Vehiculo_1
62	982.402	1007.437	Vehiculo_1
63	983.329	1005.538	Vehiculo_1
64	984.126	1003.605	Vehiculo_1
65	984.569	1001.877	Vehiculo_1
66	984.986	999.826	Vehiculo_1
67	985.173	997.835	Vehiculo_1
68	985.428	996.027	Vehiculo_1
69	986.003	994.554	Vehiculo_1

Fuente: Propia

Tabla 22. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 2*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	967.974	988.034	Vehiculo_2
2	967.293	989.576	Vehiculo_2
3	966.457	991.53	Vehiculo_2
4	965.62	993.719	Vehiculo_2
5	964.941	995.622	Vehiculo_2
6	964.298	997.766	Vehiculo_2
7	963.715	1000.325	Vehiculo_2
8	963.541	1002.537	Vehiculo_2
9	963.879	1005.167	Vehiculo_2
10	964.735	1006.897	Vehiculo_2
11	966.141	1008.216	Vehiculo_2
12	967.87	1008.91	Vehiculo_2
13	969.551	1008.764	Vehiculo_2
14	971.444	1008.212	Vehiculo_2
15	973.227	1007.16	Vehiculo_2
16	974.7	1005.921	Vehiculo_2
17	976.384	1004.008	Vehiculo_2
18	977.419	1002.565	Vehiculo_2
19	978.495	1000.942	Vehiculo_2
20	985.864	994.338	Vehiculo_2
21	985.183	996.313	Vehiculo_2
22	984.468	998.395	Vehiculo_2
23	983.604	1000.648	Vehiculo_2
24	982.989	1002.841	Vehiculo_2
25	982.278	1005.402	Vehiculo_2
26	981.693	1007.686	Vehiculo_2
27	980.867	1009.892	Vehiculo_2
28	979.878	1011.782	Vehiculo_2
29	978.847	1013.129	Vehiculo_2
30	974.554	1016.412	Vehiculo_2
31	972.813	1016.968	Vehiculo_2
32	971.339	1017.308	Vehiculo_2
33	969.494	1017.398	Vehiculo_2
34	967.735	1017.355	Vehiculo_2
35	966.026	1016.891	Vehiculo_2
36	963.973	1016.381	Vehiculo_2
37	962.161	1015.103	Vehiculo_2
38	960.666	1013.354	Vehiculo_2

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
39	959.605	1011.66	Vehiculo_2
40	959.064	1009.845	Vehiculo_2
41	958.795	1008.124	Vehiculo_2
42	958.684	1005.956	Vehiculo_2
43	959.131	1003.956	Vehiculo_2
44	959.496	1002.379	Vehiculo_2
45	960.194	1000.412	Vehiculo_2
46	960.904	998.582	Vehiculo_2
47	961.769	996.52	Vehiculo_2
48	962.528	994.375	Vehiculo_2
49	963.645	991.935	Vehiculo_2
50	964.457	990.039	Vehiculo_2
51	965.289	988.225	Vehiculo_2
52	965.809	986.796	Vehiculo_2
53	966.259	985.83	Vehiculo_2

Fuente: Propia

Tabla 23. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 3*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	979.975	1013.597	Vehiculo_3
2	979.149	1015.043	Vehiculo_3
3	974.606	1006.33	Vehiculo_3
4	974.053	1008.719	Vehiculo_3
5	973.245	1007.586	Vehiculo_3
6	971.255	1001.017	Vehiculo_3
7	970.343	1003.129	Vehiculo_3
8	968.661	996.438	Vehiculo_3
9	967.4379	999.5772	Vehiculo_3
10	966.0324	993.3514	Vehiculo_3
11	964.8229	996.3095	Vehiculo_3
12	961.8127	989.6134	Vehiculo_3
13	961.2828	993.3404	Vehiculo_3
14	958.3767	986.9358	Vehiculo_3
15	958.3177	990.669	Vehiculo_3
16	954.5403	984.6791	Vehiculo_3
17	954.9317	989.1541	Vehiculo_3

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
18	950.2309	982.8418	Vehiculo_3
19	950.5574	988.0026	Vehiculo_3
20	946.3979	982.684	Vehiculo_3
21	947.935	988.154	Vehiculo_3
22	942.3391	984.1509	Vehiculo_3
23	945.504	989.811	Vehiculo_3
24	939.229	986.8	Vehiculo_3
25	944.3937	991.9785	Vehiculo_3
26	937.0534	991.0876	Vehiculo_3
27	944.4924	994.9834	Vehiculo_3
28	936.8946	996.0535	Vehiculo_3
29	946.008	997.3556	Vehiculo_3
30	938.8076	1000.4561	Vehiculo_3
31	949.1268	1000.0842	Vehiculo_3
32	942.4936	1003.8439	Vehiculo_3
33	951.8171	1002.5424	Vehiculo_3
34	948.3584	1006.2718	Vehiculo_3
35	954.3904	1004.2961	Vehiculo_3
36	953.996	1009.048	Vehiculo_3
37	957.0294	1005.9818	Vehiculo_3
PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
38	959.633	1010.933	Vehiculo_3
39	960.682	1008.311	Vehiculo_3
40	966	1013.626	Vehiculo_3
41	965.617	1010.528	Vehiculo_3
42	973.809	1016.873	Vehiculo_3
43	972.272	1013.497	Vehiculo_3

Fuente: Propia

Tabla 24. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 4*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	983.688	1005.301	Vehiculo_4
2	984.585	1003.325	Vehiculo_4
3	985.671	1017.9753	Vehiculo_4
4	980.4017	1001.138	Vehiculo_4
5	976.228	1001.961	Vehiculo_4

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
6	975.8612	998.5701	Vehiculo_4
7	971.921	999.956	Vehiculo_4
8	971.3025	996.0263	Vehiculo_4
9	968.233	998.873	Vehiculo_4
10	967.0596	994.1817	Vehiculo_4
11	965.3948	999.0855	Vehiculo_4
12	963.424	994.0308	Vehiculo_4
13	962.9231	1000.8141	Vehiculo_4
14	960.2282	994.9392	Vehiculo_4
15	961.6783	1004.2692	Vehiculo_4
16	957.7535	996.4887	Vehiculo_4
17	962.9195	1007.6463	Vehiculo_4
18	955.0671	999.449	Vehiculo_4
19	964.9963	1009.2817	Vehiculo_4
20	953.63	1002.962	Vehiculo_4
21	967.4452	1009.7085	Vehiculo_4
22	953.4524	1006.3902	Vehiculo_4
23	969.5103	1010.1723	Vehiculo_4
24	954.3461	1009.9065	Vehiculo_4
25	972.4249	1010.8807	Vehiculo_4
26	958.0435	1014.5631	Vehiculo_4
27	975.2732	1011.5089	Vehiculo_4
28	979.1922	1012.4343	Vehiculo_4
29	964.0595	1016.7878	Vehiculo_4
30	982.8287	1013.3215	Vehiculo_4
31	986.9401	1014.4735	Vehiculo_4
32	989.8714	1018.3208	Vehiculo_4
33	981.3928	1017.7383	Vehiculo_4
34	977.0202	1017.5112	Vehiculo_4
35	973.09	1017.3429	Vehiculo_4
36	966.45	1017.062	Vehiculo_4

Fuente: Propia

Tabla 25. *Coordenadas levantamiento topográfico vehículo 5*

PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
1	965.588	986.007	Vehiculo_5
2	967.864	986.929	Vehiculo_5
3	963.3182	988.1134	Vehiculo_5
4	966.4128	988.9658	Vehiculo_5
5	964.3855	991.8967	Vehiculo_5
6	961.0059	990.4594	Vehiculo_5
7	959.2072	992.3332	Vehiculo_5
8	962.2387	994.7287	Vehiculo_5
9	956.3062	994.8642	Vehiculo_5
10	959.3606	998.6003	Vehiculo_5
11	952.1751	998.6968	Vehiculo_5
12	957.1938	1001.3938	Vehiculo_5
13	949.7435	1001.8916	Vehiculo_5
14	955.675	1003.3953	Vehiculo_5
15	948.7991	1004.1417	Vehiculo_5
16	948.4439	1006.2837	Vehiculo_5
17	955.2631	1006.138	Vehiculo_5
18	948.529	1008.78	Vehiculo_5
19	956.2713	1008.7752	Vehiculo_5
20	949.4854	1011.7897	Vehiculo_5
21	958.4653	1010.5368	Vehiculo_5
22	961.3605	1010.9766	Vehiculo_5
23	951.326	1014.717	Vehiculo_5
24	953.436	1016.496	Vehiculo_5
25	956.504	1017.995	Vehiculo_5
26	959.872	1018.613	Vehiculo_5
27	963.2174	1017.9758	Vehiculo_5
28	965.8982	1016.7094	Vehiculo_5
29	968.7677	1014.1482	Vehiculo_5
30	971.6201	1009.9522	Vehiculo_5
31	963.7382	1010.0179	Vehiculo_5
32	974.0377	1006.3325	Vehiculo_5
33	965.6204	1008.1015	Vehiculo_5
34	975.966	1003.3804	Vehiculo_5
35	968.9638	1004.5336	Vehiculo_5
36	977.5628	1000.9105	Vehiculo_5
37	971.5566	1002.0435	Vehiculo_5
38	979.3979	998.1038	Vehiculo_5

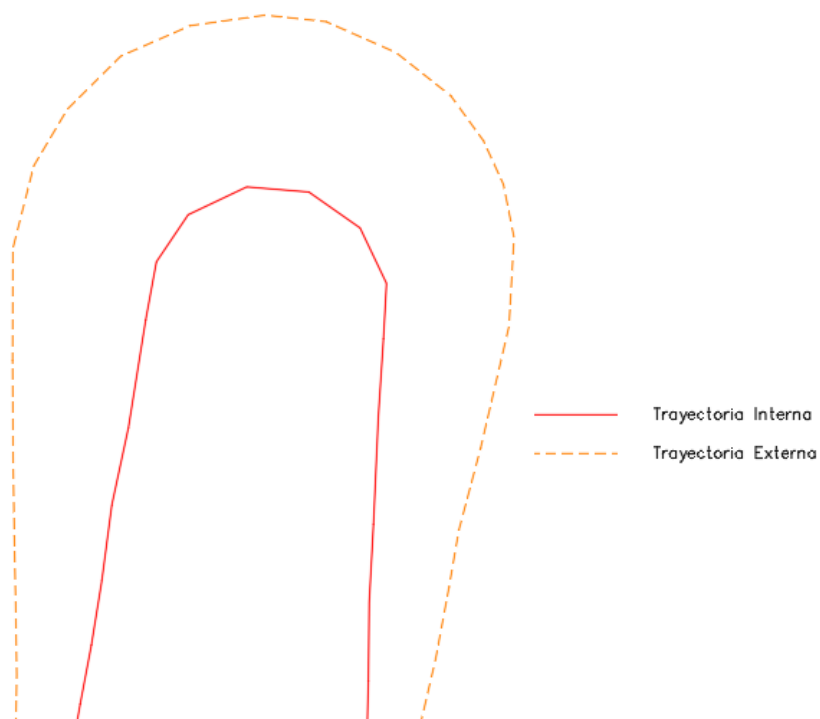
PUNTO	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
39	973.8428	999.4645	Vehiculo_5
40	980.9203	995.9302	Vehiculo_5
41	975.8586	997.3224	Vehiculo_5
42	982.376	993.65	Vehiculo_5
43	977.7628	995.4033	Vehiculo_5
44	980.278	992.811	Vehiculo_5

Fuente: Propia

2.9. Determinación de radios de Giro

Una vez generadas las coordenadas del levantamiento de cada una de las maniobras realizadas, se exportaron en formato .CSV, para posteriormente cargarlo en el software AutoCAD Civil 3D versión 2018 como cartera de puntos y se unieron mediante polilíneas, recreando las trayectorias realizadas en campo, tal como se observa en la siguiente figura.

Figura 16 Representación Trayectorias AutoCAD Civil 3D

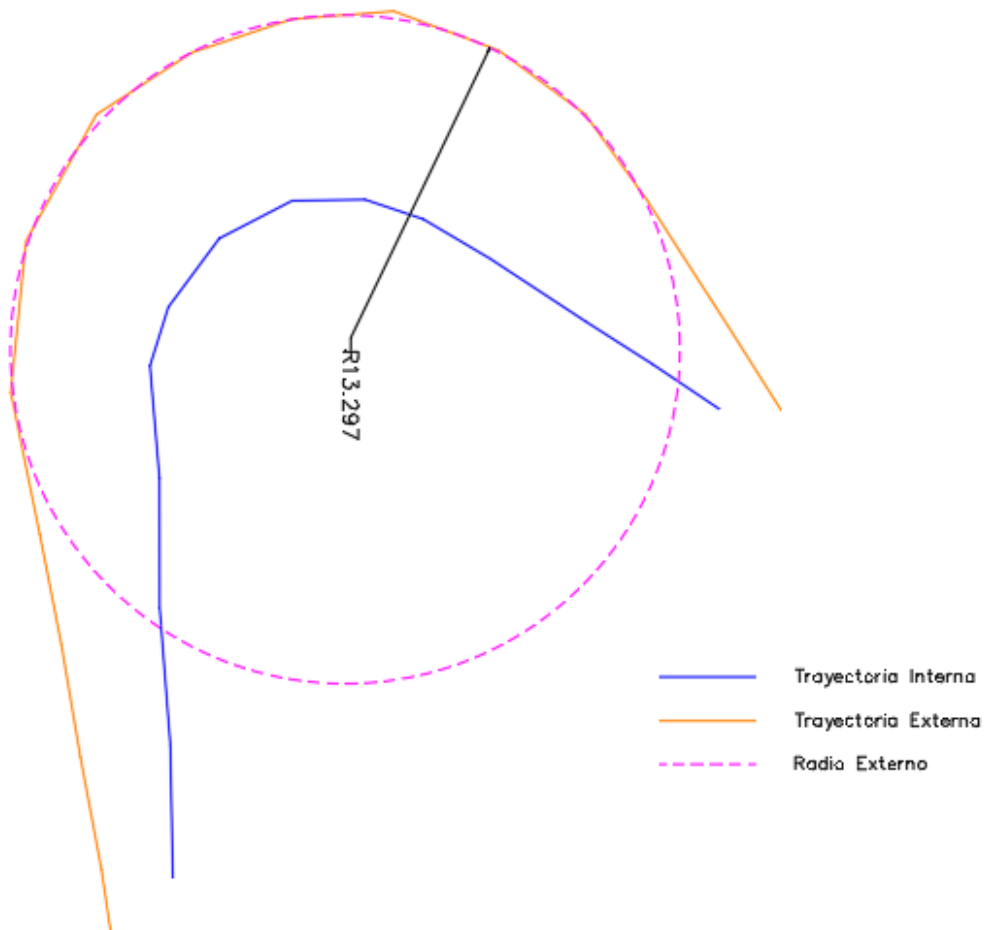


Fuente: Propia

2.9.1. Radio Externo

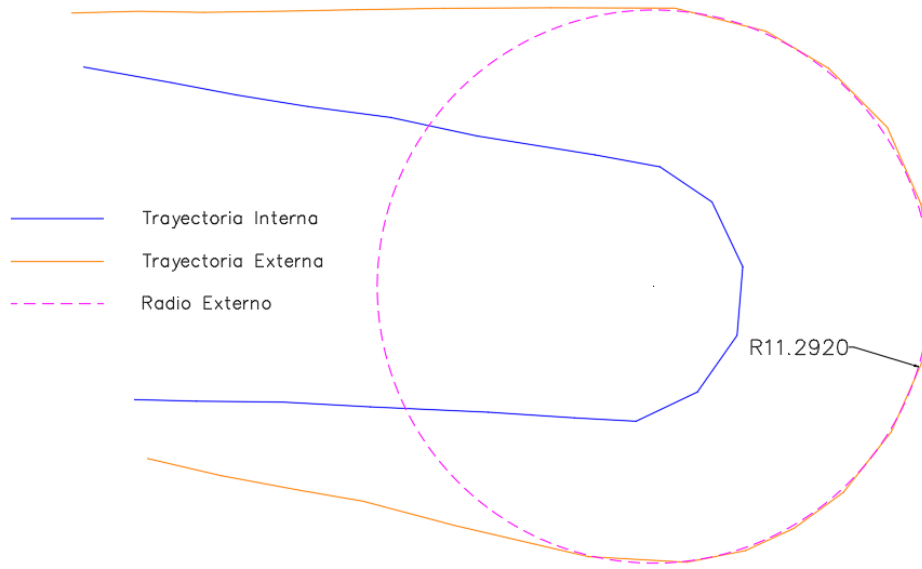
Este radio corresponde a la trayectoria descrita por la rueda delantera derecha si el vehículo gira en sentido opuesto a las manecillas del reloj, o en caso contrario, representa la rueda delantera izquierda, este radio se determinó a partir de círculos inscritos en la trayectoria, ajustando el más próximo y basado en el levantamiento topográfico hecho en campo.

Figura 17 Radio Externo Vehículo C3S2



Fuente: Propia

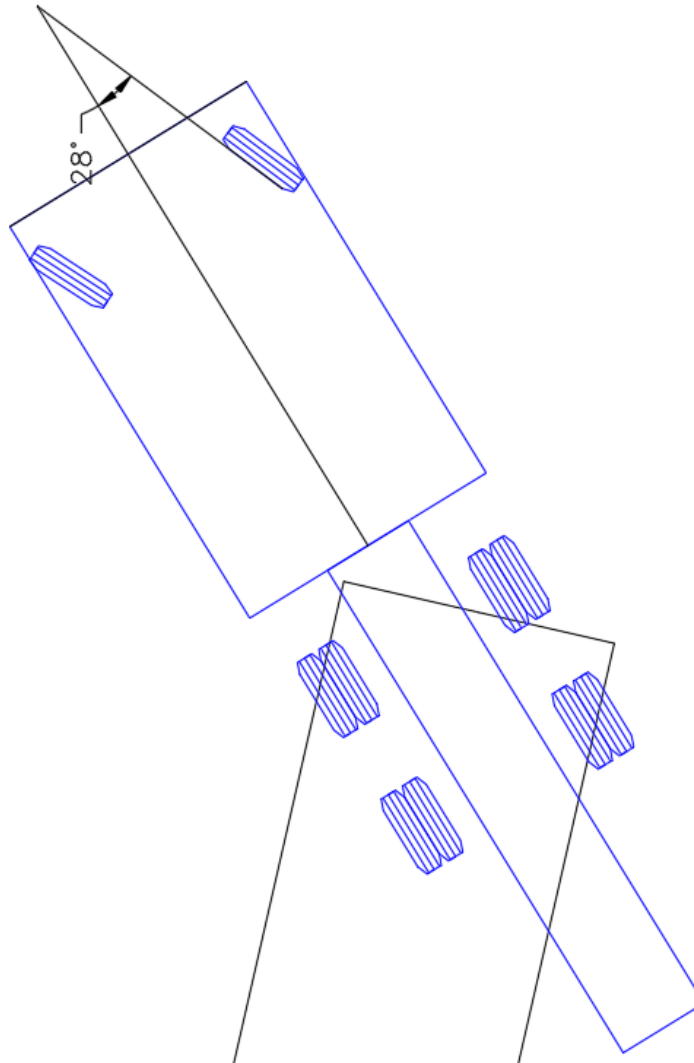
Figura 18 Radio Externo Vehículo C3S3



Fuente: Propia

Es importante definir que en el radio externo influye de manera directa, el ángulo máximo de dirección que posee el tráiler de ambos articulados (28°), tal como se indica en la siguiente figura. Dicho ángulo fue comprobado en campo.

Figura 19 *Ángulo máximo de dirección Vehículo C3S2 Y C3S3*

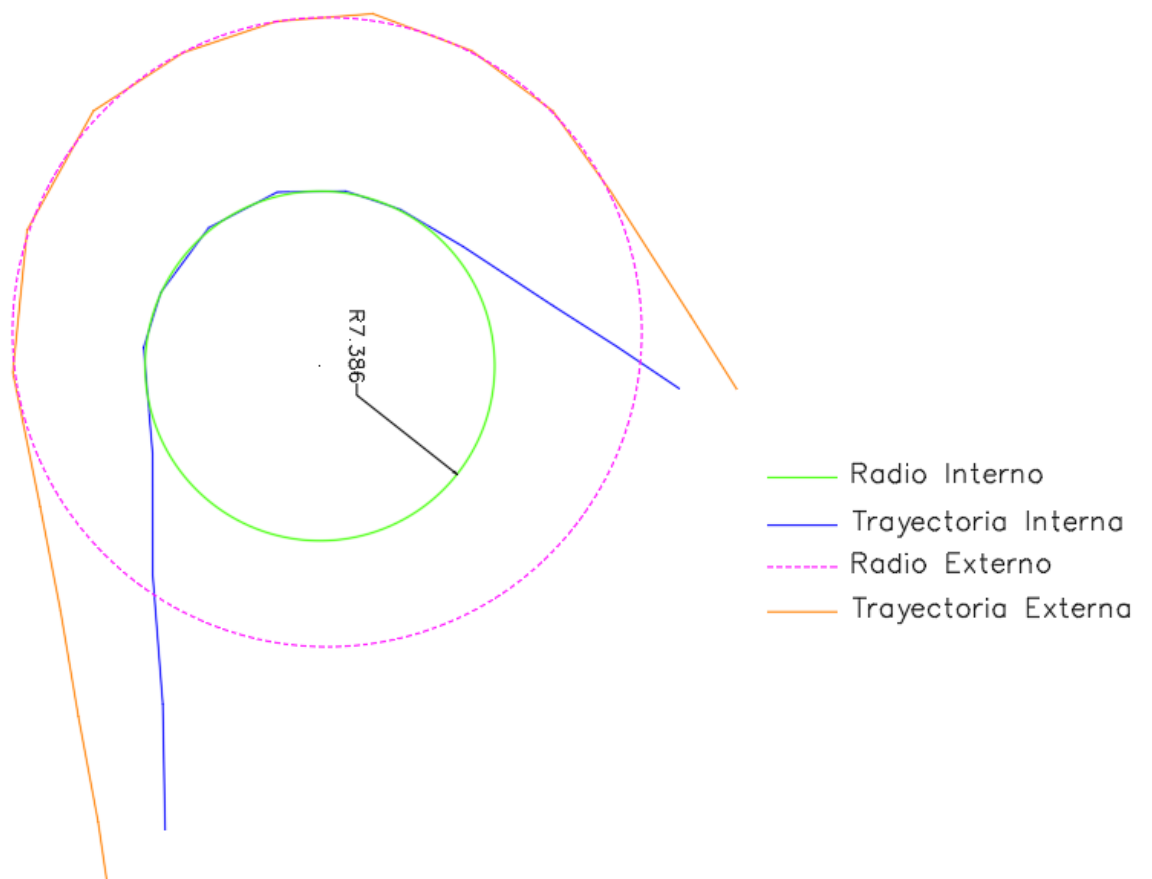


Fuente: Propia

2.9.2. Radio Interno

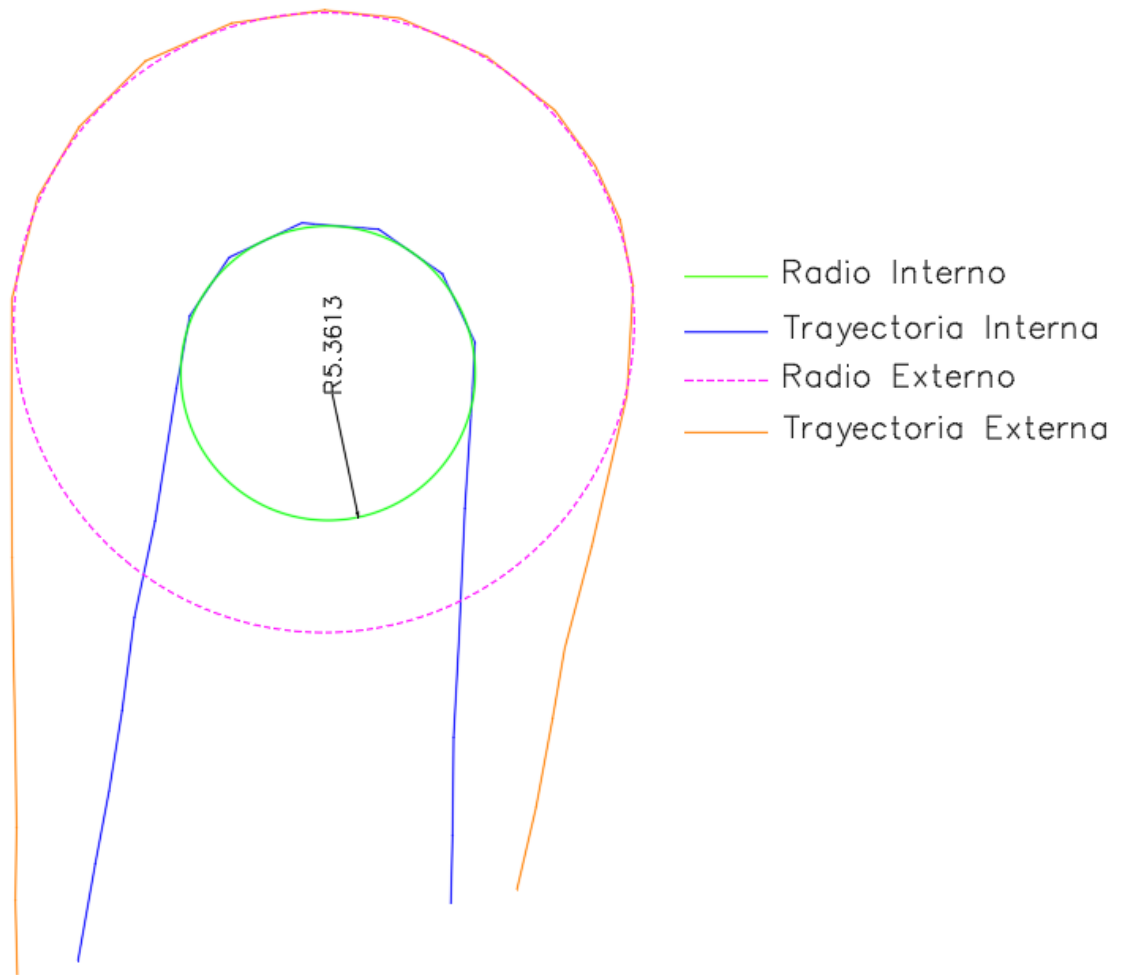
Este radio corresponde a la trayectoria descrita por la rueda trasera interna si el vehículo gira en sentido opuesto a las manecillas del reloj, este radio se determinó a partir de círculos inscritos en la trayectoria, ajustando el más próximo y basado en el levantamiento topográfico hecho en campo.

Figura 20 *Radio Interno Vehículo C3S2*



Fuente: Propia

Figura 21 Radio Interno Vehículo C3S3



Fuente: Propia

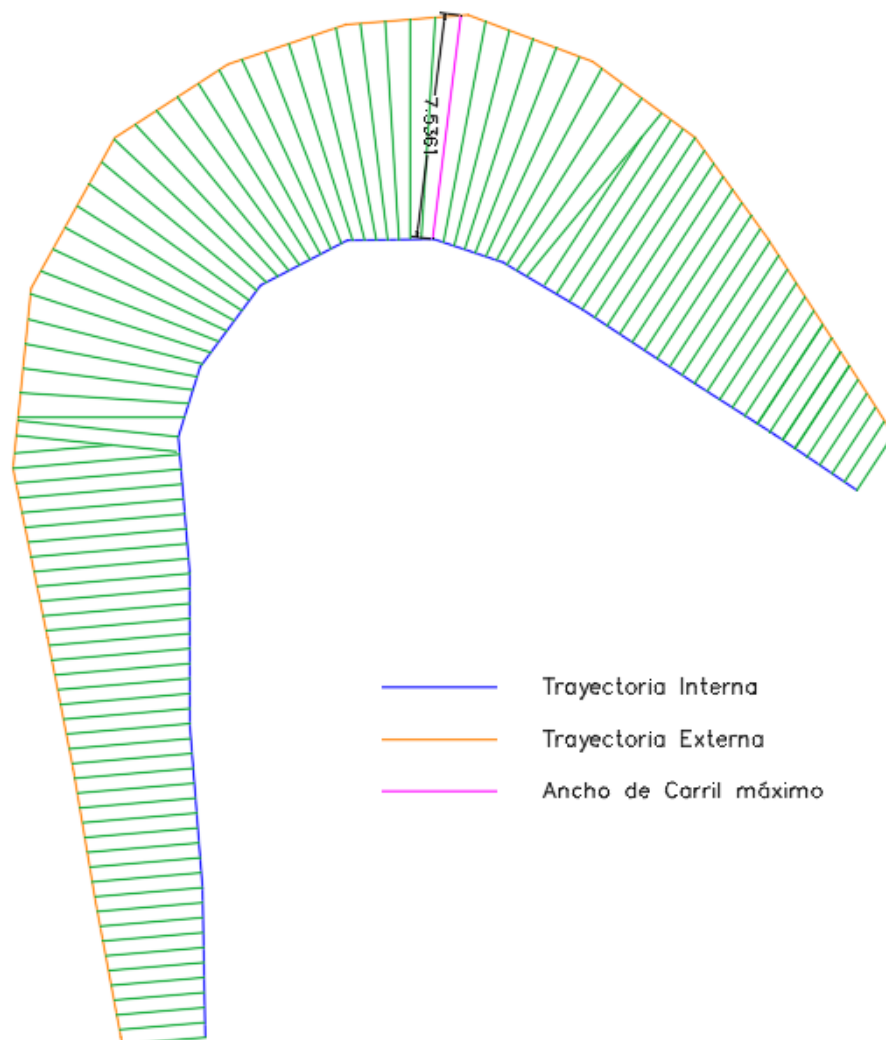
2.10. Anchos de Carril

Una vez determinados los respectivos radios de giro tanto internos como externos, se procedió a determinar los anchos de carril máximos requeridos para realizar la maniobra de giro de los dos tractocamiones C3S2 y C3S3, recordando que estos anchos dependen siempre del vehículo de diseño, así como de la velocidad a la cual realice el giro.

Para definir estos anchos de carril, fue necesario trazar líneas perpendiculares a lo largo y entre las trayectorias descritas anteriormente (numeral 2.9), se trazaron con un espaciamiento de 50 cm, con el fin de mantener y conservar el mismo espaciamiento entre los puntos de topografía tomados en campo y de esta manera detallar rigurosamente la trayectoria descrita por el vehículo, posteriormente se midieron dichas líneas y la obtenida con mayor longitud, es la requerida como ancho máximo de carril.

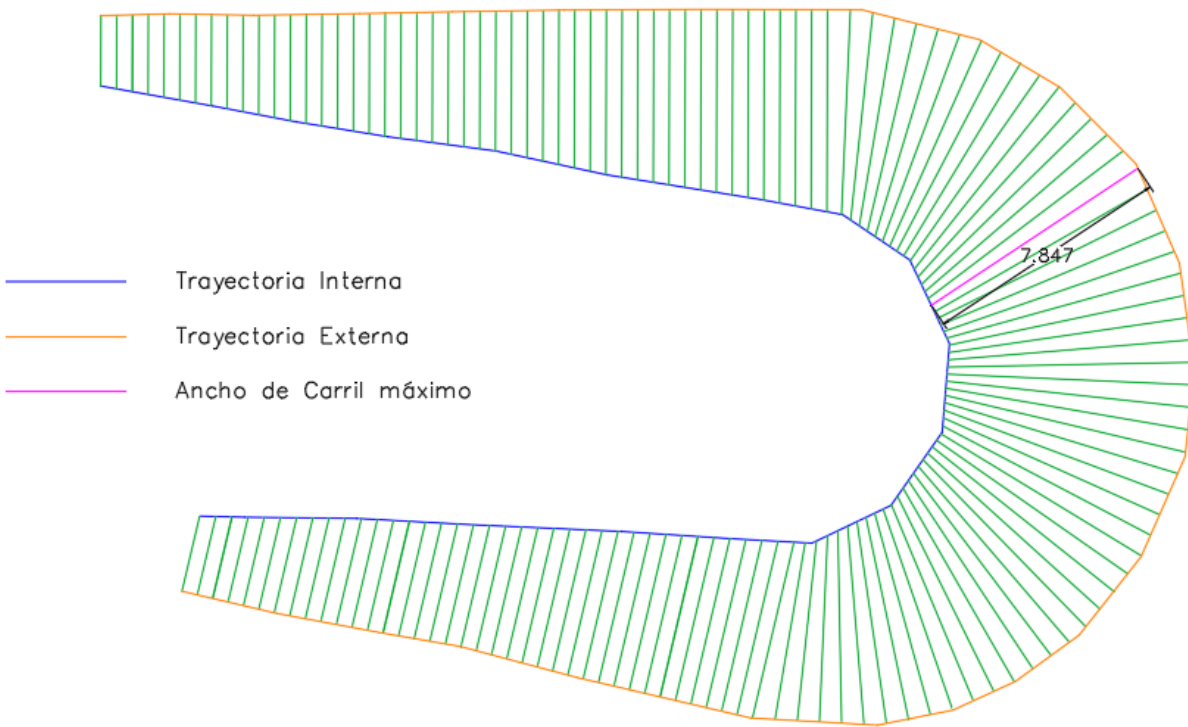
En la siguiente figura, se ilustra la metodología descrita.

Figura 22 Ancho mínimo de carril Vehículo C3S2



Fuente: Propia

Figura 23 Ancho mínimo de carril Vehículo C3S3

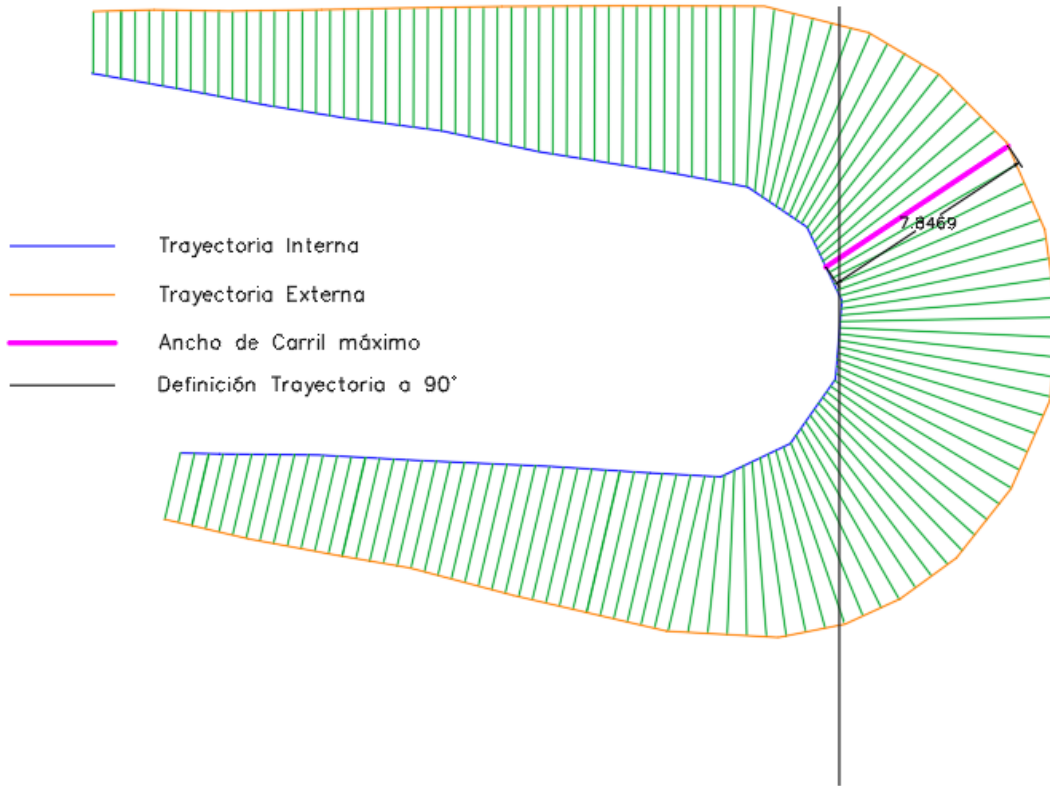


Fuente: Propia

De igual manera, para determinar la trayectoria de giro a 90°, fue necesario trazar una perpendicular a la trayectoria exterior con un desfase del mismo ancho máximo de carril determinado en el numeral anterior, es decir (7.54 para el C3S2 y 7.85m para el C3S3), dicho corredor, determina el giro a 90 ° muy común en intersecciones urbanas.

Las figuras 24 y 25 muestran lo mencionado anteriormente.

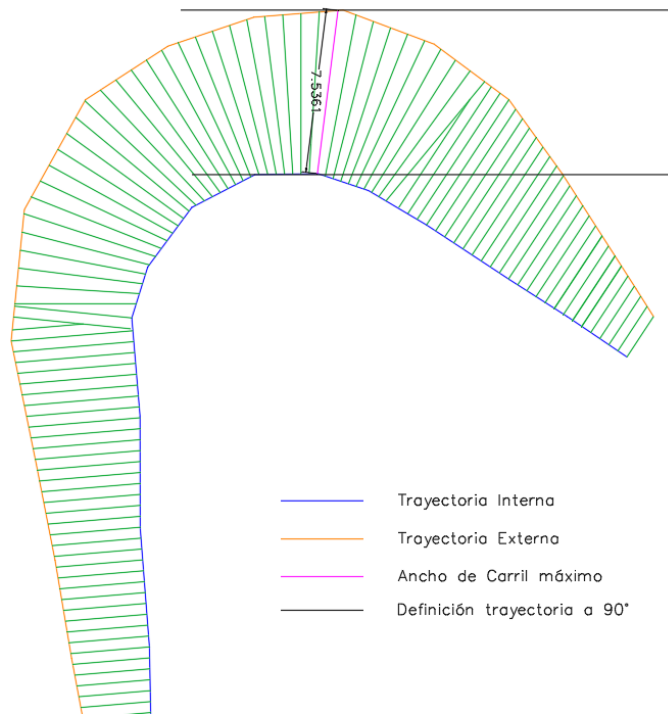
Figura 24 Definición trayectoria 90° Vehículo C3S3



Fuente: Propia

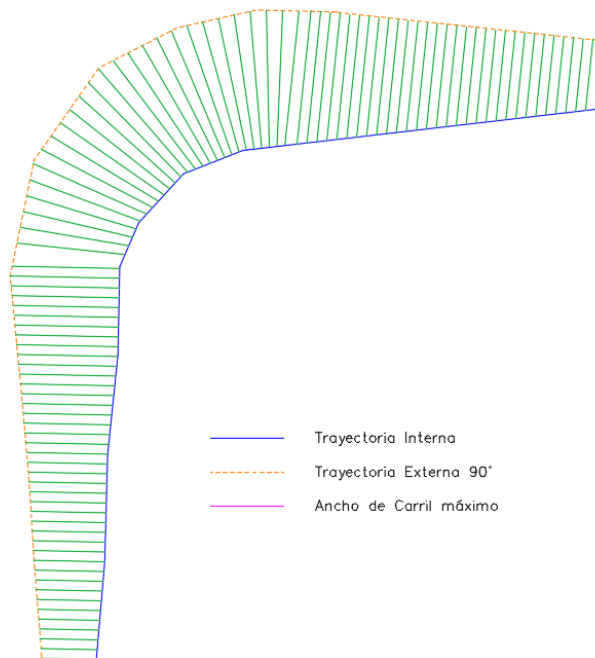
Finalmente, para determinar la trayectoria a 90° se realiza la transición correspondiente y se eliminan las trayectorias sobrantes de los 180°, dando como resultado final la trayectoria definitiva para 90° tal como se muestra a continuación.

Figura 25 Definición trayectoria 90° Vehículo C3S2



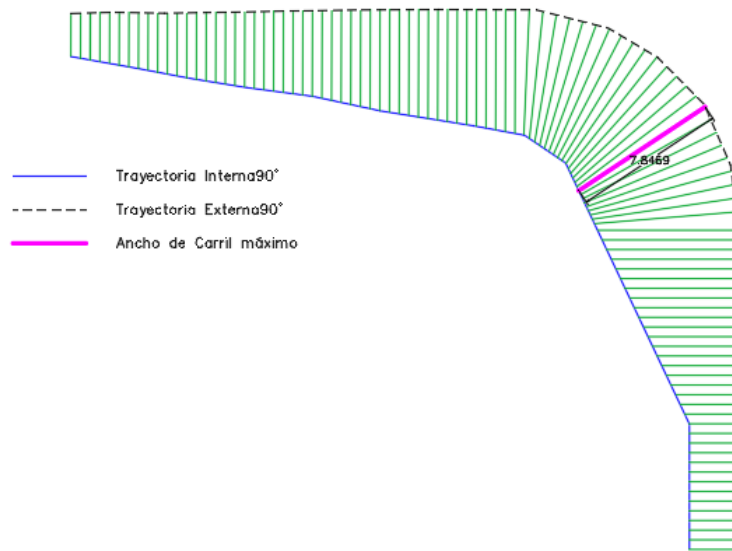
Fuente: Propia

Figura 26 Definición trayectoria 90° Vehículo C3S2



Fuente: Propia

Figura 27 Definición trayectoria 90° Vehículo C3S3



Fuente: Propia

3. MODELACIÓN SOFTWARE VEHICLE TRACKING

Autodesk®Vehicle Tracking, es un software de completa solución de análisis y de diseño de transporte, análisis de ruta y trayectorias de vehículos. El software permite a los profesionales, diseñadores y planificadores modelar las trayectorias y evaluar los movimientos de los vehículos a emplear en diseños geométricos de vías entre otras funcionalidades, a partir de las dimensiones que estos tengan².

Dentro de los objetivos específicos se contempló definir las dimensiones específicas de este tipo de vehículos C3-S2 y C3S3, sin embargo, es de aclarar que la cantidad de combinaciones de semirremolques encontradas en este estudio fue bastante amplia, por lo cual las dimensiones establecidas en el numeral 2.2 de este documento, hacen referencia a la combinación más crítica encontrada durante el estudio.

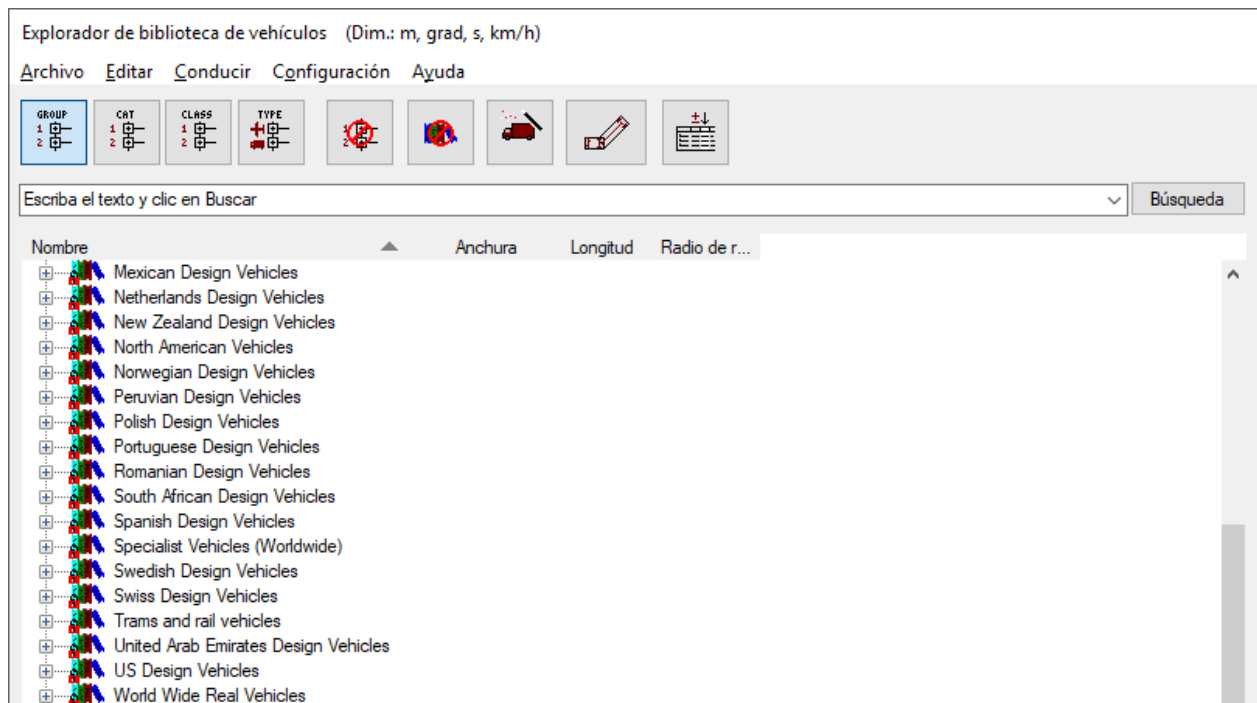
² Tomado de modulo knowledge.autodesk.com

Una vez definidas las características y dimensiones de los Tracto camiones, se hizo necesario el uso de este software para de esta manera, poder definir y comparar la plantilla de giro y los posibles ángulos de giro (30°, 60° 90° 120°, 150° y 180°), comunes en intersecciones urbanas.

3.1. Creación Tractocamión C3S2 y C3S3 Autodesk Vehicle Tracking

Dado que este software maneja una configuración norteamericana, el articulado más parecido al tractocamión C3S2, es el WB-19 de la norma AASHTO, por otro lado el vehículo articulado C3S3, no se contempla en la norma AASHTO, por lo cual es necesario crear dicho vehículo, a partir de las dimensiones obtenidas en campo, para ello se accede a la biblioteca de vehículos de este software.

Figura 28 Biblioteca de Vehículos Autodesk



Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Se debe crear un nuevo tipo de vehículo que sea articulado a partir del asistente de vehículos, allí es necesario ingresar parámetros y medidas que se describen a continuación.

En primera instancia el asistente solicita datos de información tales como tipo de vehículo, para este caso, “articulado” el número de unidades que tiene dicho vehículo (Tráiler y Semirremolque), una descripción, origen de datos y un nombre de identificación, tal como se observa en la figura 29.

Figura 29 *Asistente de Vehículo*

Asistente del vehículo: Nombre

Este asistente le ayudará a definir o editar vehículos sencillos. Consulte el manual de usuario o la ayuda en línea para ver las limitaciones.

Nombre del vehículo

Origen de datos

Descripción

Sitio web

Notas

Tipo de vehículo

Número de unidades (un remolque con barra es una unidad)

Haga clic en Siguiete para continuar

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

La siguiente ventana, presenta datos relevantes tales como número de ejes delanteros y traseros, ancho de rodadura delantera y trasera (tráiler) y número de ruedas que componen cada eje del trailer.

Figura 30 *Asistente de Vehículo*

Número de ejes delanteros	<input type="text" value="1"/>
Anchura de la rodada delantera	<input type="text" value="2.350"/> m
Ruedas en cada eje	<input type="text" value="2"/>
Número de ejes traseros	<input type="text" value="2"/>
Anchura de la rodadura trasera	<input type="text" value="2.350"/> m
Ruedas en cada eje	<input type="text" value="4"/>

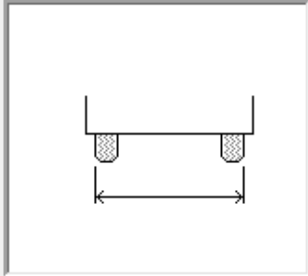


Diagrama que muestra un eje horizontal con dos ruedas representadas por rectángulos sombreados. Una línea horizontal con flechas en ambos extremos indica la anchura de la rodadura entre las ruedas.

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Luego se hace necesario definir la distancia entre ejes y el espaciamiento entre ejes traseros del tráiler, como se muestra a continuación.

Figura 31 *Asistente de Vehículo*

La batalla y la distancia entre ejes de una unidad son los principales factores para volver al camil inicial tras un adelantamiento. Una unidad con batalla larga y un sólo eje puede tener la misma capacidad de retomo al camil que una unidad con una bat

Distancia entre ejes	<input type="text" value="4.6"/> m
Espaciamiento del eje trasero	<input type="text" value="1.500"/> m

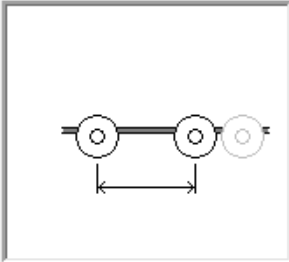


Diagrama que muestra un eje horizontal con tres ruedas representadas por círculos. Una línea horizontal con flechas en ambos extremos indica la distancia entre los ejes de las dos primeras ruedas.

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Ahora es necesario ingresar las características del Trailer en cuanto a longitud ancho y voladizo

Figura 32 *Asistente de Vehículo*

Longitud m
Anchura m
Voladizo trasero m
Espejos retrovisores

Estilo carroc.
Vehículo tractor articulado (cabina con litera grande)

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

De igual manera las dimensiones de la cabina (ancho, largo)

Figura 33 *Asistente de Vehículo*

Longitud de la cabina m
Anchura de chasis m

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Posteriormente se debe definir número de ejes delanteros del semirremolque, ancho de las ruedas traseras y numero de ruedas que conforman el eje tridem.

Figura 34 *Asistente de Vehículo*

The screenshot shows a configuration window with four input fields on the left and a diagram on the right. The fields are: 'Número de ejes delanteros' with a value of 0; 'Número de ejes traseros' with a value of 3; 'Anchura de la rodadura trasera' with a value of 2.570 m; and 'Ruedas en cada eje' with a value of 4. The diagram on the right shows a top-down view of a vehicle chassis with two axles, each having two wheels, and a dimension line indicating the width between the two axles.

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Posteriormente el asistente solicita el ingreso de la distancia existente entre la quinta rueda y el eje de la primera rueda correspondiente al eje tridem, así como la distancia entre ejes traseros del semirremolque.

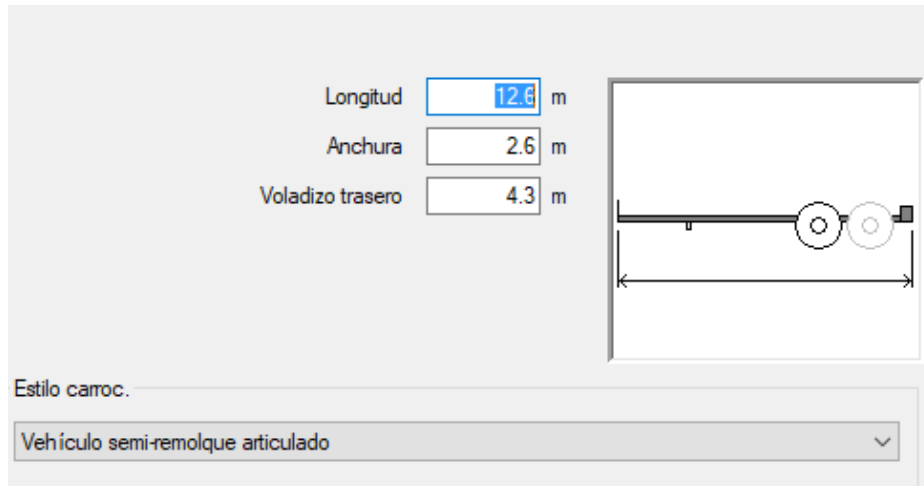
Figura 35 *Asistente de Vehículo*

The screenshot shows a configuration window with two input fields on the left and a diagram on the right. The fields are: 'Distancia entre ejes' with a value of 7.3 m; and 'Espaciamiento del eje trasero' with a value of 1.300 m. The diagram on the right shows a top-down view of a vehicle chassis with a single axle and two wheels, and a dimension line indicating the distance between the axle and the first wheel.

Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Finalmente, las dimensiones, largo, ancho y voladizo trasero del semirremolque.

Figura 36 Asistente de Vehículo



Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Los parámetros para el tractocamión C3S2 se resumen a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 26. *Parámetros creación tráiler C3S2*

Tráiler	
Item	Valor (m)
Número de ejes delanteros	1
Ancho rodadura delantera	2.30
Ruedas en cada eje	2
Número de ejes traseros	2
Ancho rodadura trasera	2.30
Ruedas en cada eje	4
Distancia entre ejes	5.21
Espaciamiento del eje trasero	1.32
Longitud	8.09
Anchura	2.55
Voladizo trasero	2.29
Longitud de Cabina	4.23
Anchura de Chasis	0.8

Fuente: Propia

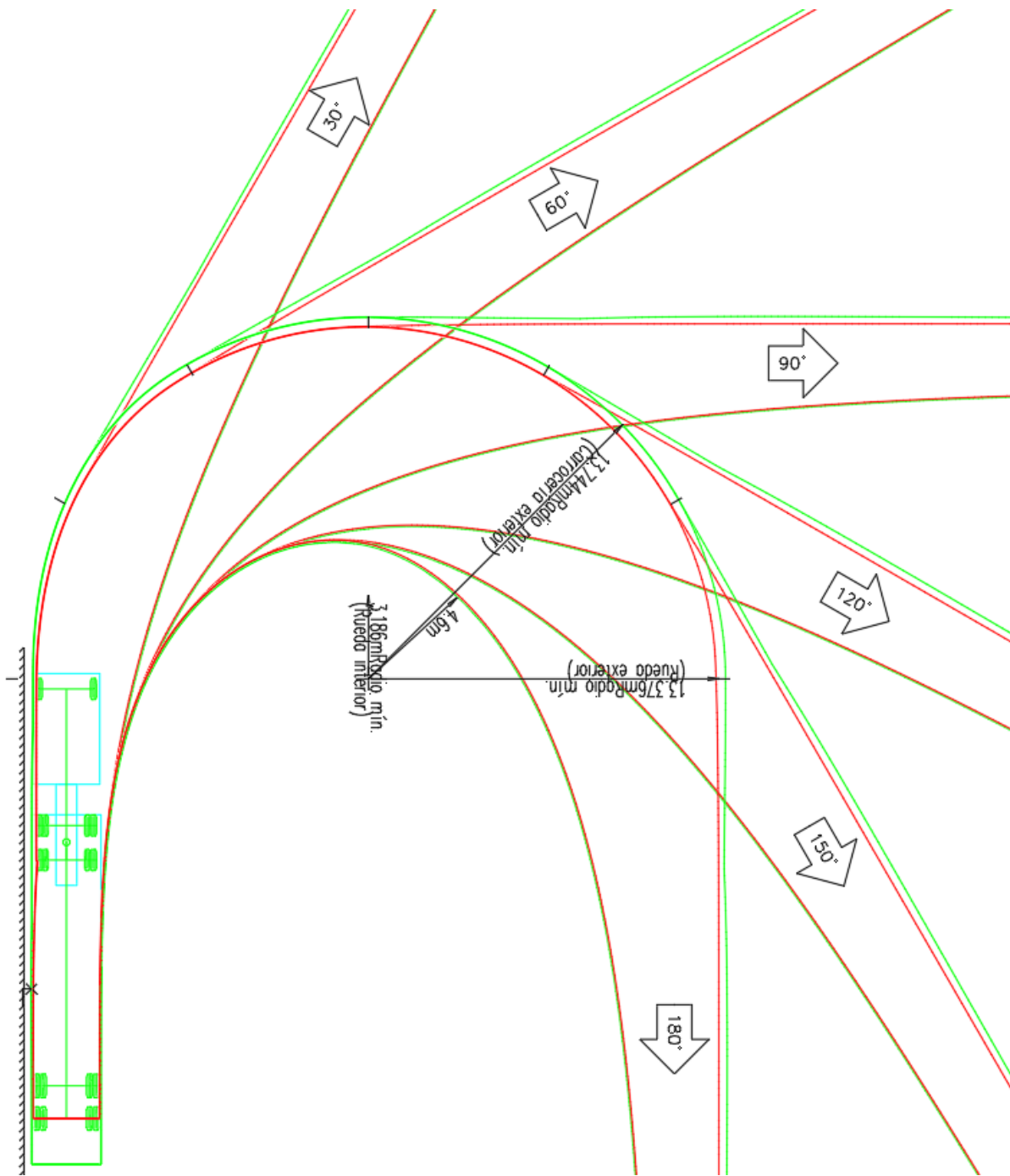
Tabla 27. *Parámetros creación Semirremolque C3S2*

Semirremolque	
Item	Valor (m)
Número de ejes delanteros	0
Número de ejes traseros	2
Ancho rodadura trasera	2.55
Ruedas en cada eje	4
Distancia entre ejes	9.3
Espaciamiento del eje trasero	1.25
Longitud	13.35
Anchura	2.64
Voladizo trasero	3.0

Fuente: Propia

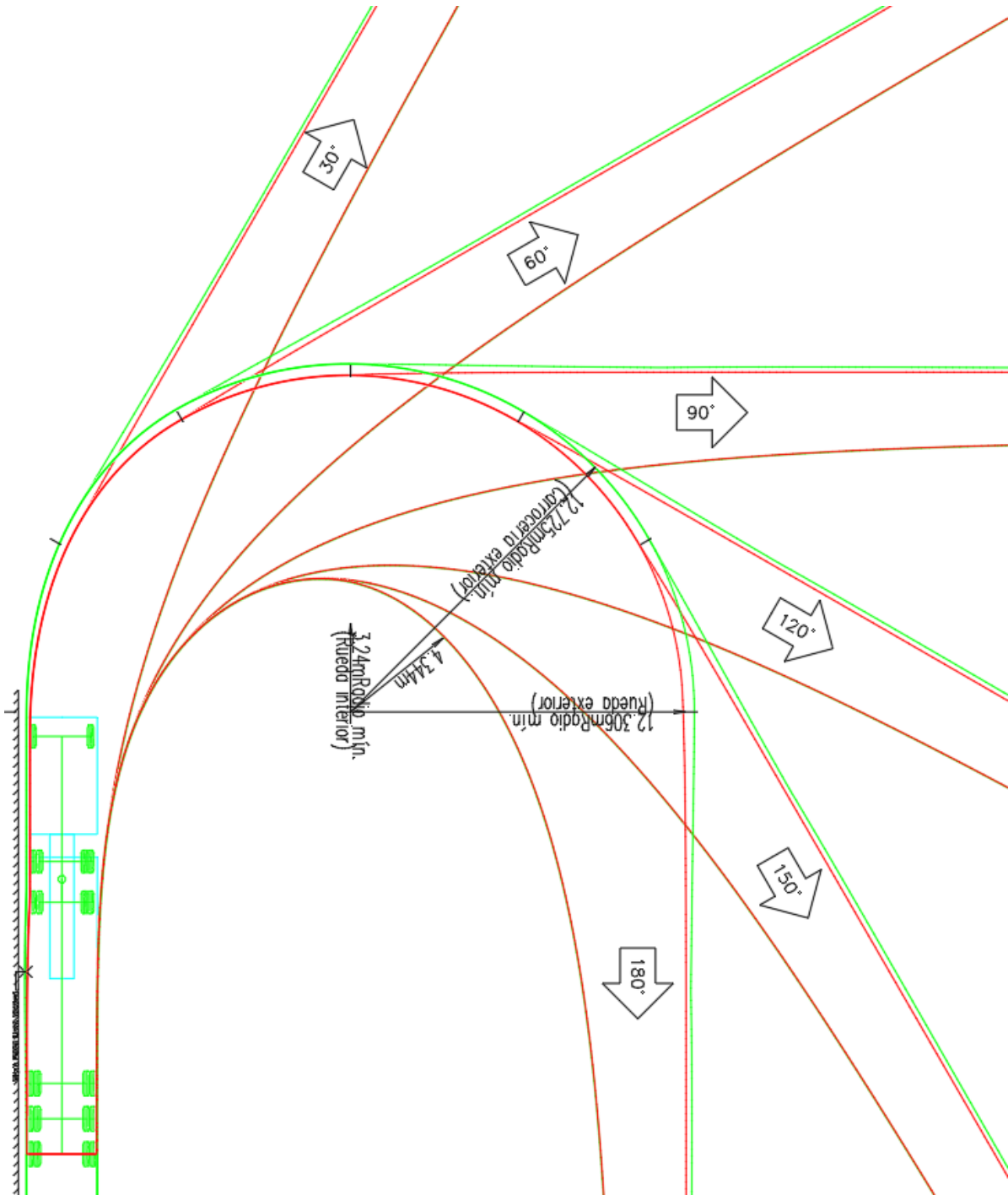
Una vez creados los vehículos de diseño, se procede a generar las plantillas de giro que el software internamente genera a partir de las dimensiones ingresadas, dando como resultado las siguientes figuras.

Figura 37 Plantilla de giro Tractocami3n C3S2



Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Figura 38 Plantilla de giro Tractocamión C3S3

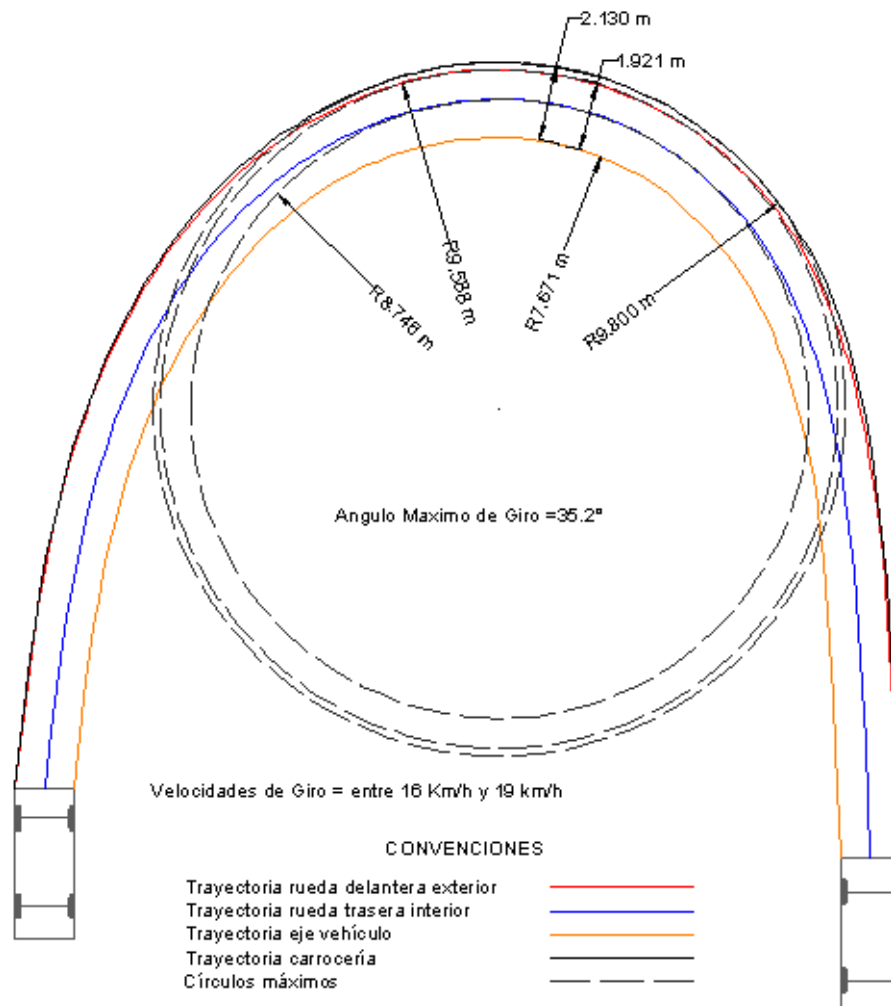


Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

4. RESULTADOS

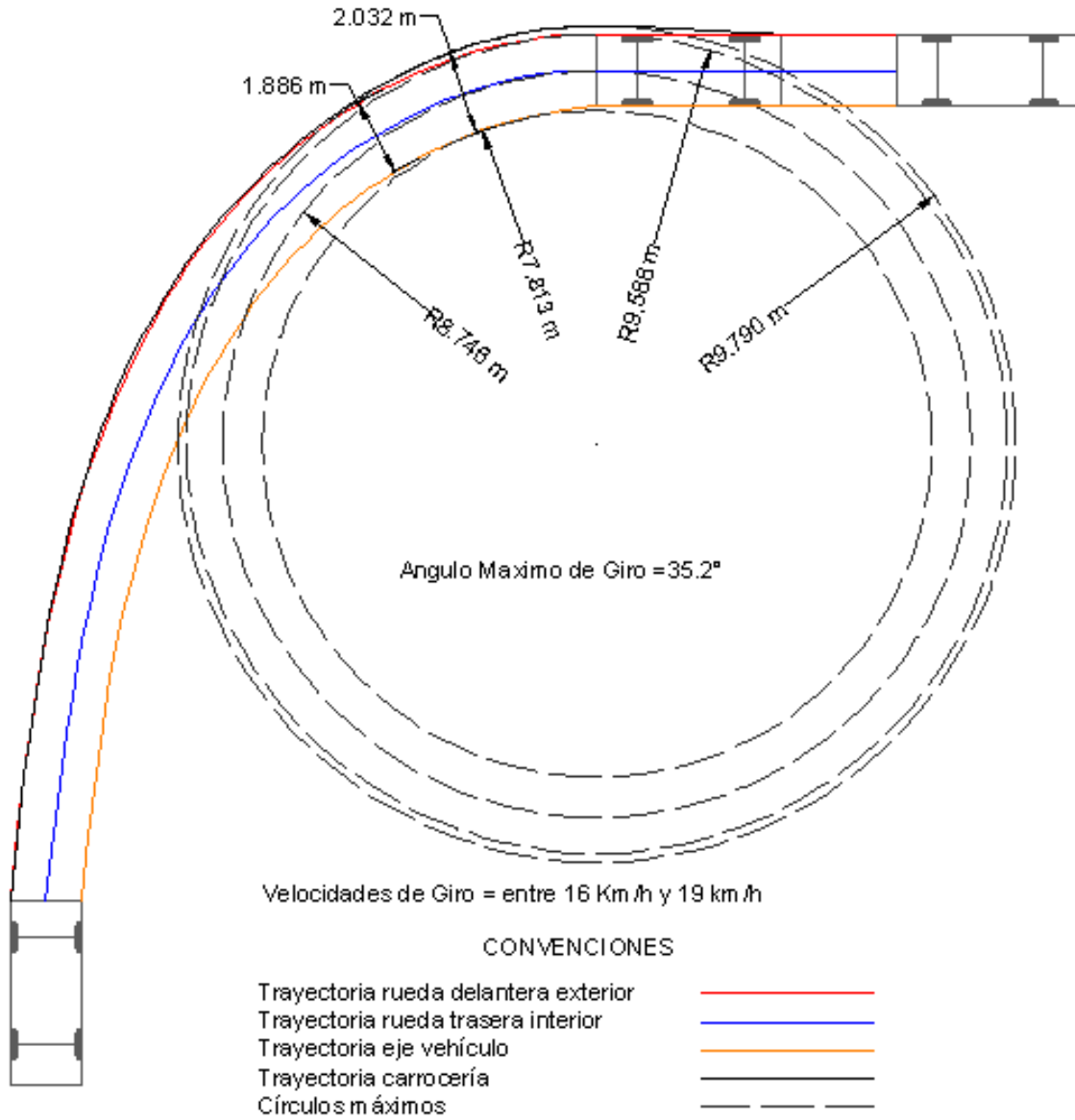
Una vez concluido el estudio inicial realizado por el Ingeniero Mario Arturo Rincón Villalba quien planteó en su tesis magistral denominada “DETERMINACIÓN DE RADIOS DE GIRO PARA DISEÑOS VIALES URBANOS EN COLOMBIA”, las plantillas propuestas para diferentes tipos de vehículos existentes en Colombia (automóvil, camioneta, colectivo, busetón y camión C2) a velocidades inferiores a 20 km/h, se obtuvo los siguientes resultados.

Figura 39 Especificación Propuesta (Automóvil Giro 180°)



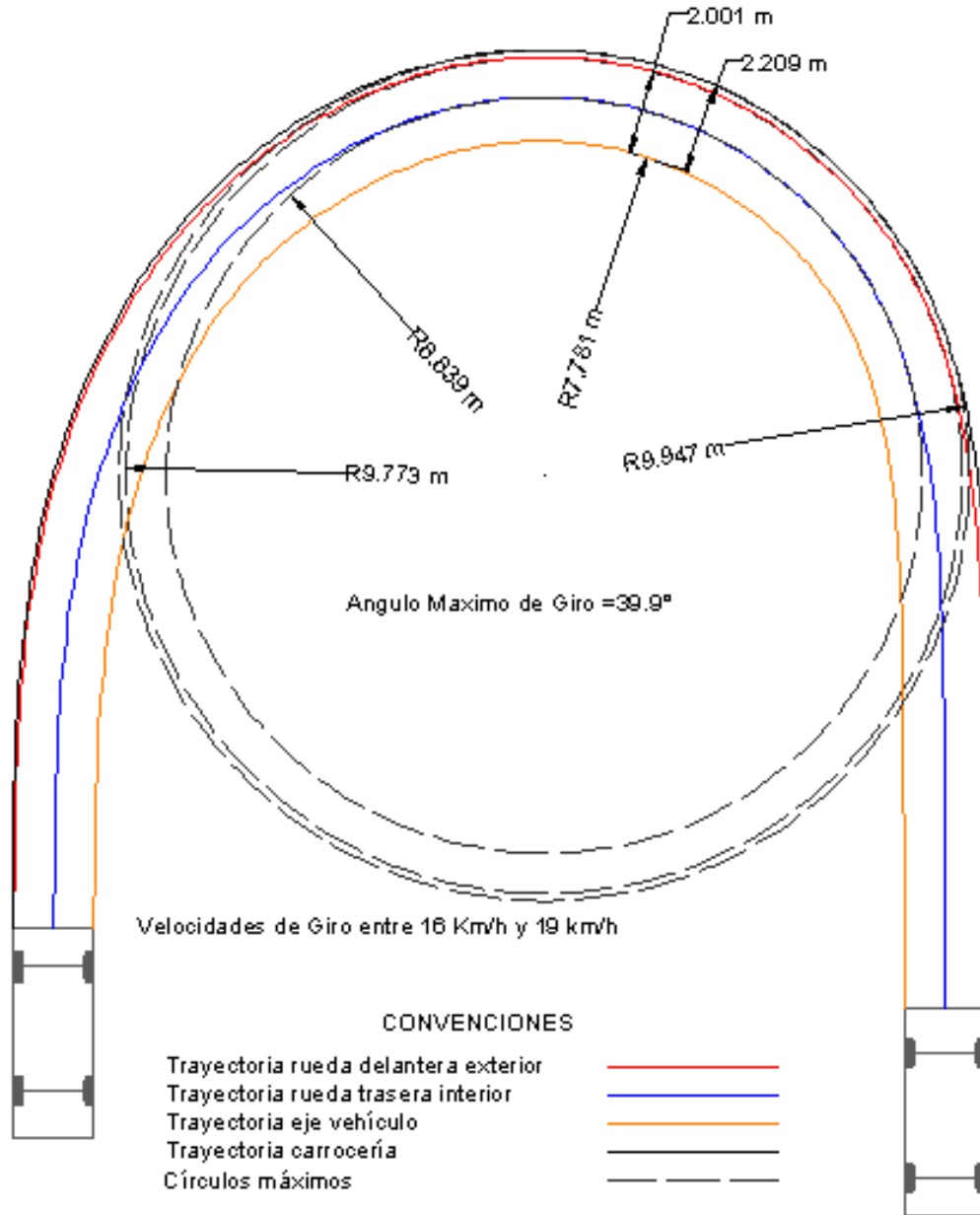
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 40 Especificación Propuesta (Automóvil Giro 90°)



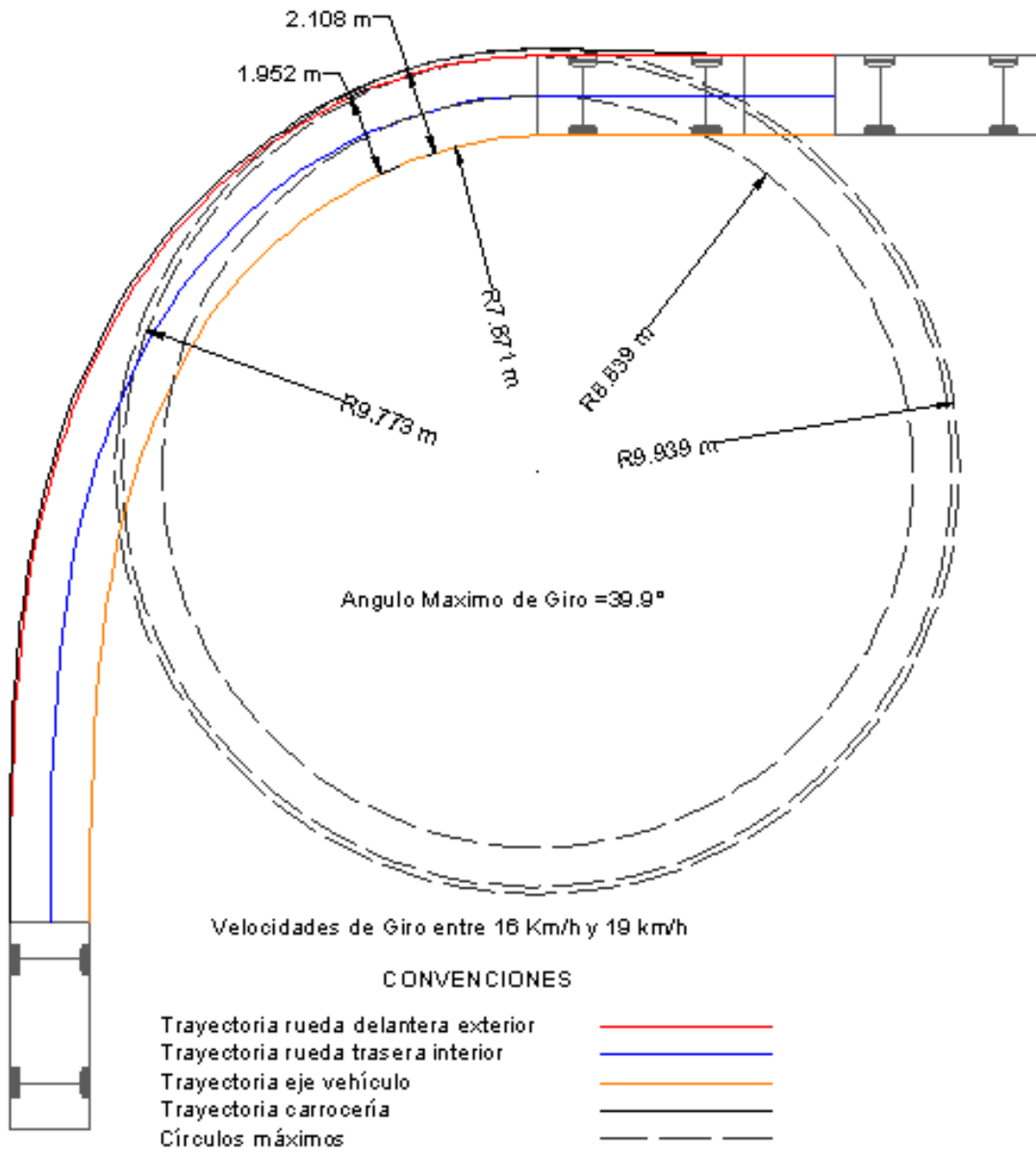
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 41 Especificación Propuesta (Camioneta Giro 180°)



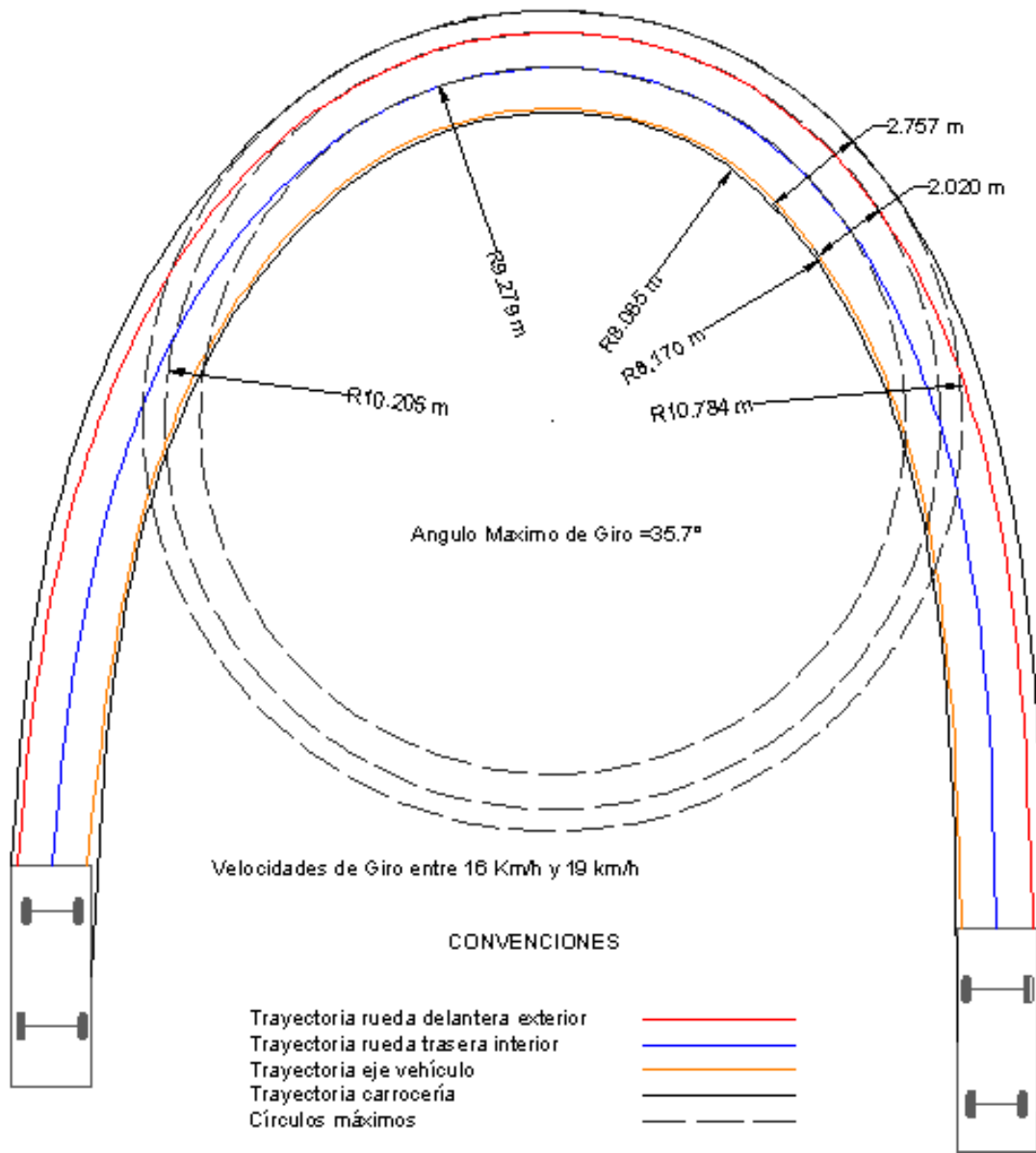
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 42 Especificación Propuesta (Camioneta Giro 90°)



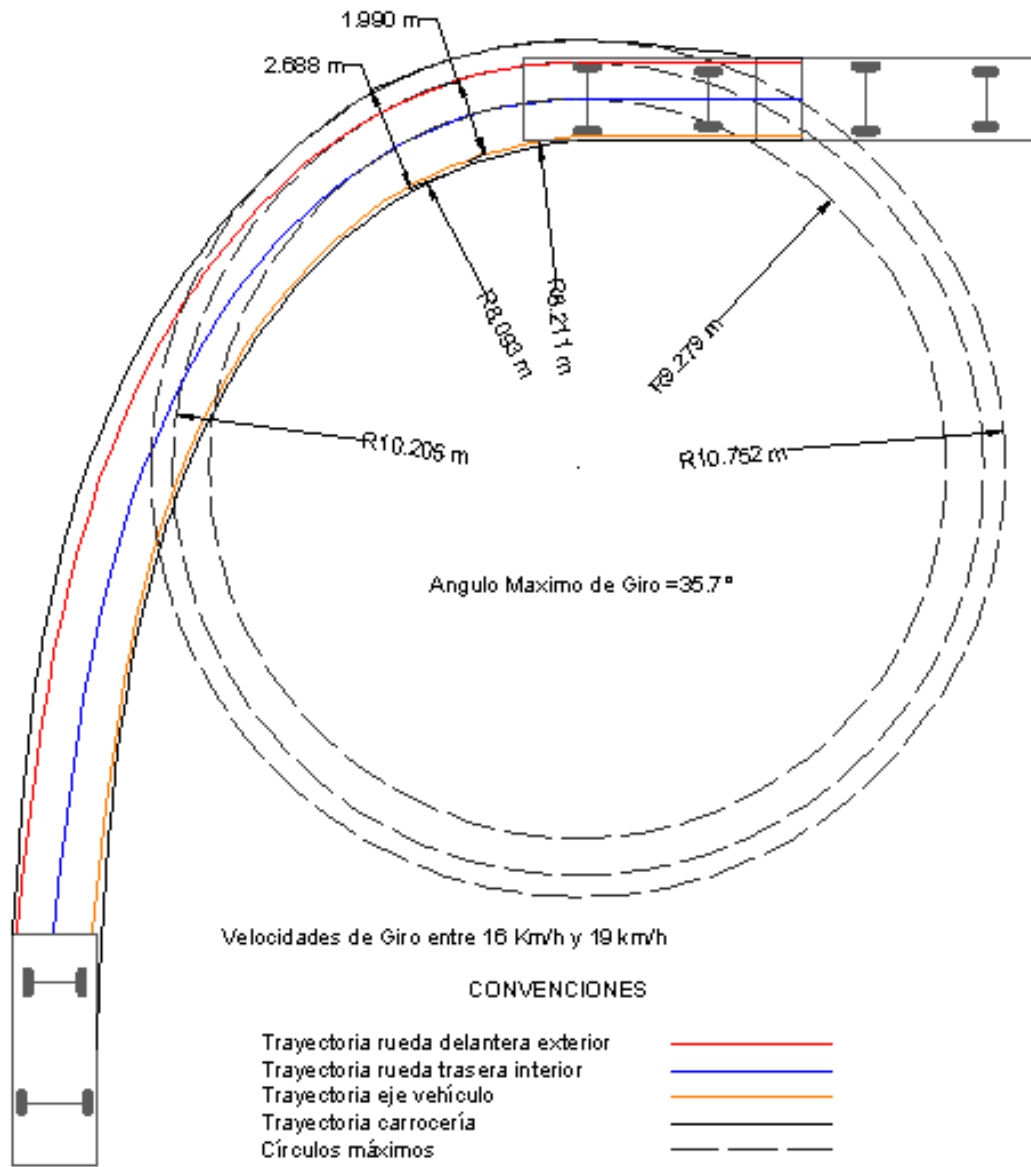
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 43 Especificación Propuesta (Colectivo Giro 180°)



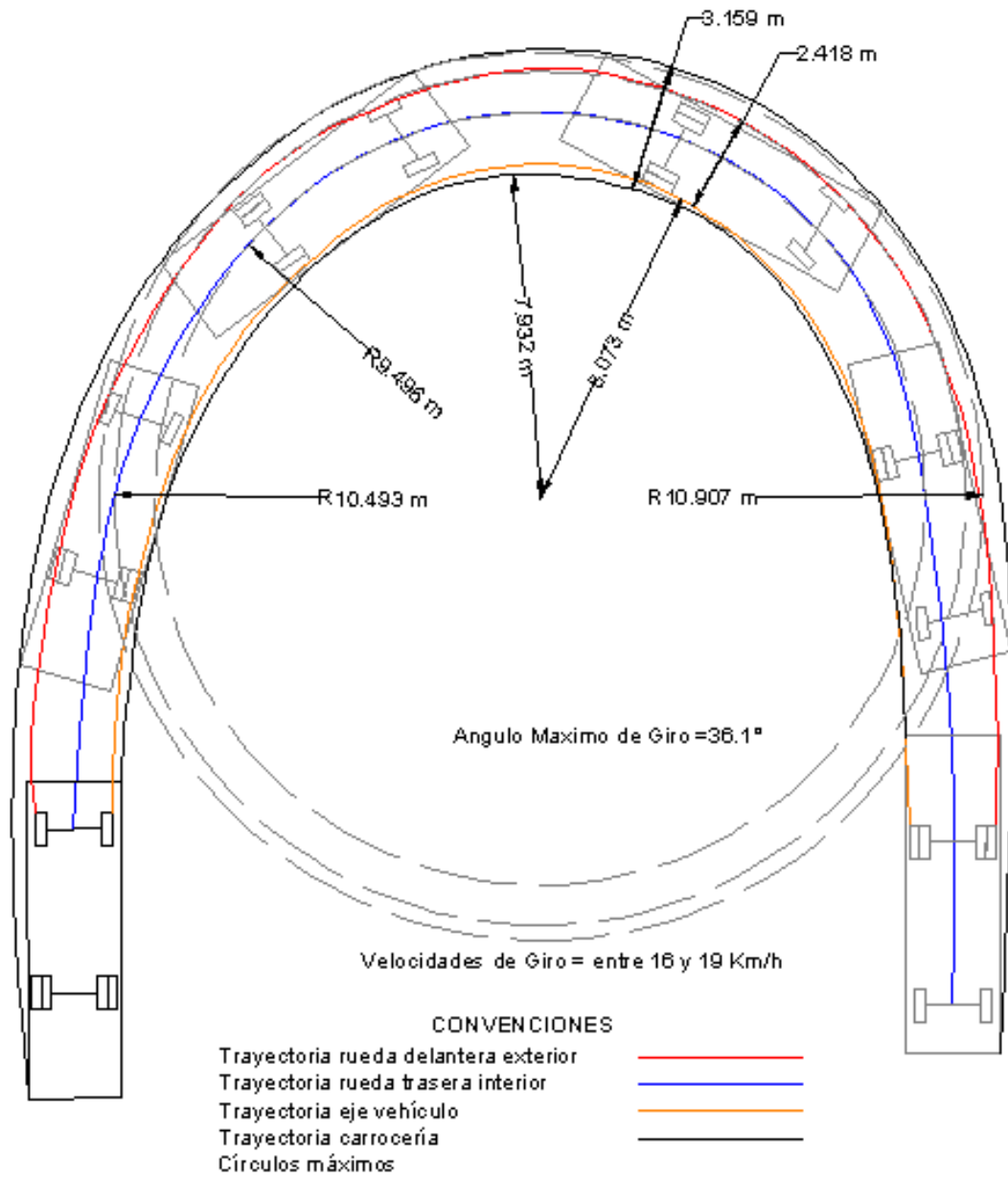
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 44 Especificación Propuesta (Colectivo Giro 90°)



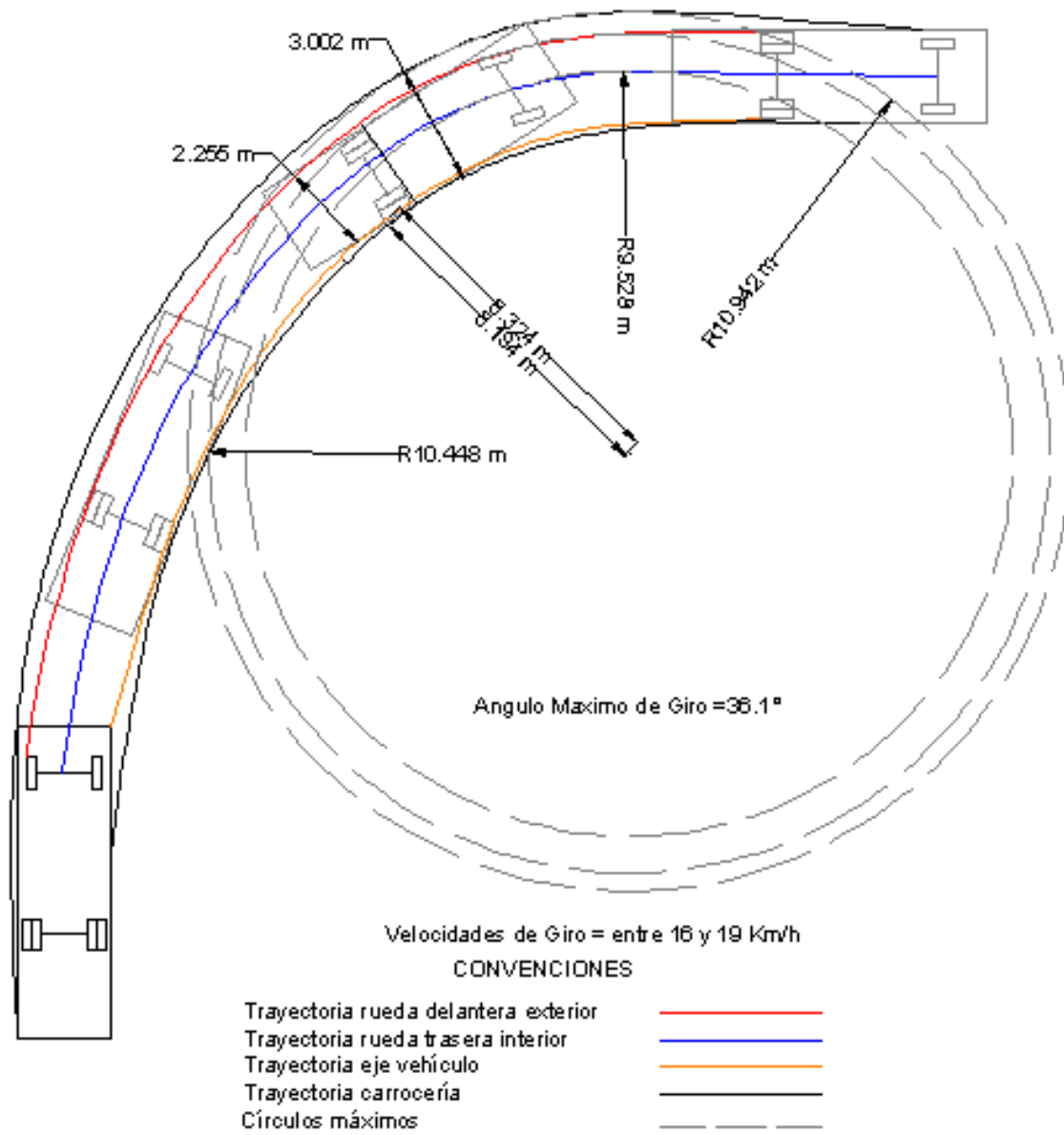
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 45 Especificación Propuesta (Buseton Giro 180°)



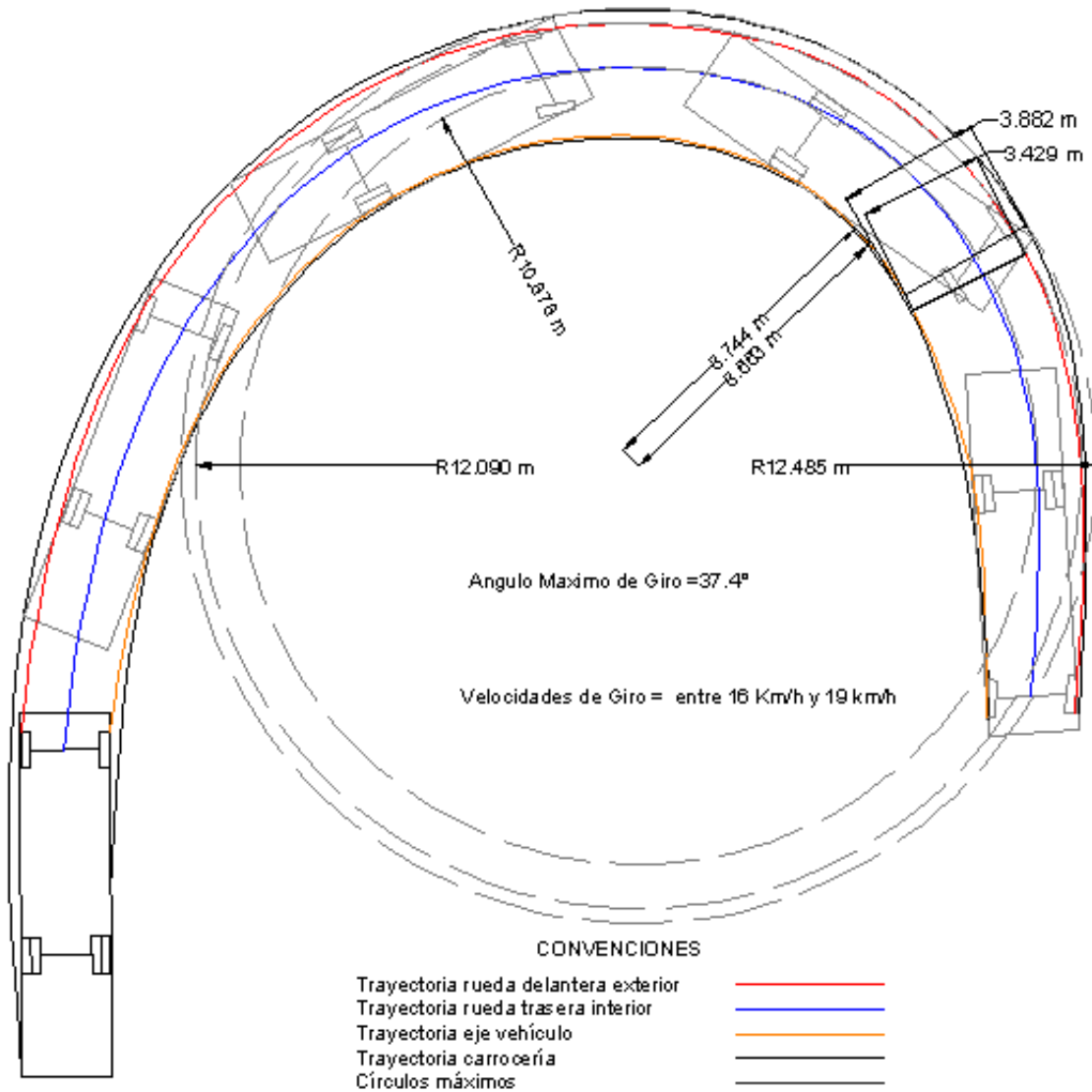
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 46 Especificación Propuesta (Buseton Giro 90°)



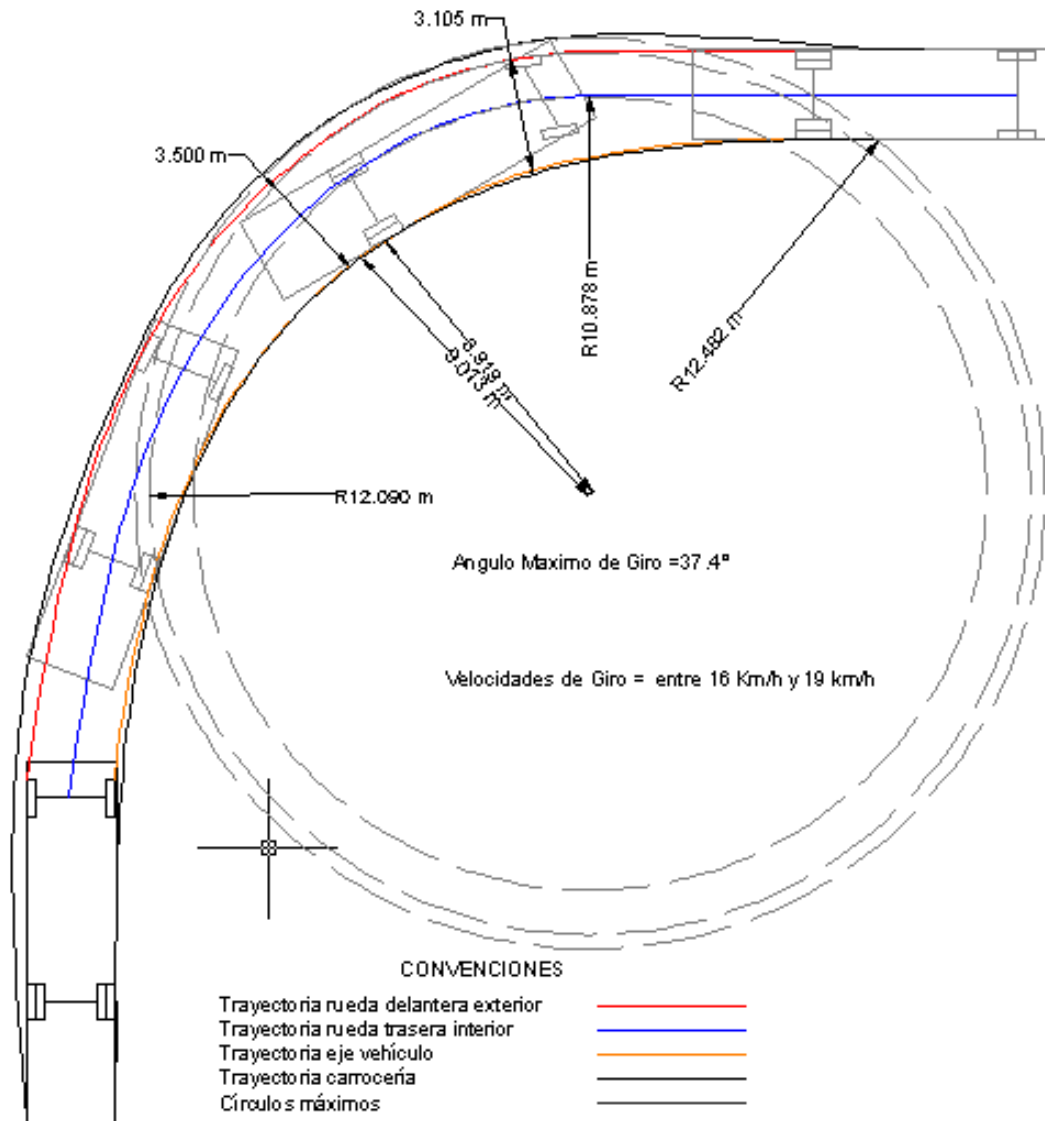
Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 47 Especificación Propuesta (Bus o Camión C2 Giro 180°)



Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

Figura 48 Especificación Propuesta (Bus o Camión C2 Giro 90°)



Fuente: (Rincón Villalba, 2011)

De igual manera como resultado el estudio realizado y descrito a lo largo de este documento se obtuvo los respectivos resultados propuestos y las plantillas para giros a 180° y 90° a velocidades máximas de 15 km/h de los vehículos articulados C3S2 y C3S3 como se muestra a continuación.

Tabla 28. Resultados giro 180° Tractocamión C3S2

TRACTOCAMIÓN	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S2-1	13.276	7.442
C3S2-2	13.362	7.369
C3S2-3	13.297	7.386
C3S2-4	13.365	7.325
C3S2-5	13.286	7.408
Estadística Descriptiva		
Media	13.317	7.386
Mediana	13.297	7.386
Varianza de la muestra	0.002	0.002
Desviación estándar	0.043	0.044
Tamaño de la Muestra		
Desviación estándar	0.043	0.044
Error Máx. Tolerable "d"	0.050	0.050
Constante "Z"	1.960	1.960
Tamaño Muestral "n"	2.83	2.95

Fuente: Propia

De igual manera se muestran los resultados obtenidos para giros de 90° con su respectiva estadística descriptiva.

Tabla 29. Resultados giro 90° Tractocamión C3S2

TRACTOCAMIÓN	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S2-1	12.480	7.119
C3S2-2	12.550	7.168
C3S2-3	12.543	7.175
C3S2-4	12.513	7.222
C3S2-5	12.464	7.235
Estadística Descriptiva		
Media	12.510	7.184
Mediana	12.513	7.175
Varianza de la muestra	0.001	0.002
Desviación estándar	0.038	0.046
Tamaño de la Muestra		
Desviación estándar	0.038	0.046
Error Máx. Tolerable "d"	0.050	0.050
Constante "Z"	1.960	1.960
Tamaño Muestral "n"	2.20	3.31

Fuente: Propia

Tabla 30. Resultados giro 180° Tractocamión C3S3

TRACTOCAMIÓN	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S3-1	11.265	5.383
C3S3-2	11.257	5.335
C3S3-3	11.333	5.406
C3S3-4	11.264	5.383
C3S3-5	11.292	5.361
Estadística Descriptiva		
Media	11.282	5.374
Mediana	11.265	5.383
Varianza de la muestra	0.001	0.001
Desviación estándar	0.031	0.027
Tamaño de la Muestra		
Error Máx. Tolerable "d"	0.050	0.050
Constante "Z"	1.960	1.960
Tamaño Muestral "n"	1.52	1.12

Fuente: Propia

Tabla 31. Resultados giro 90° Tractocamión C3S3

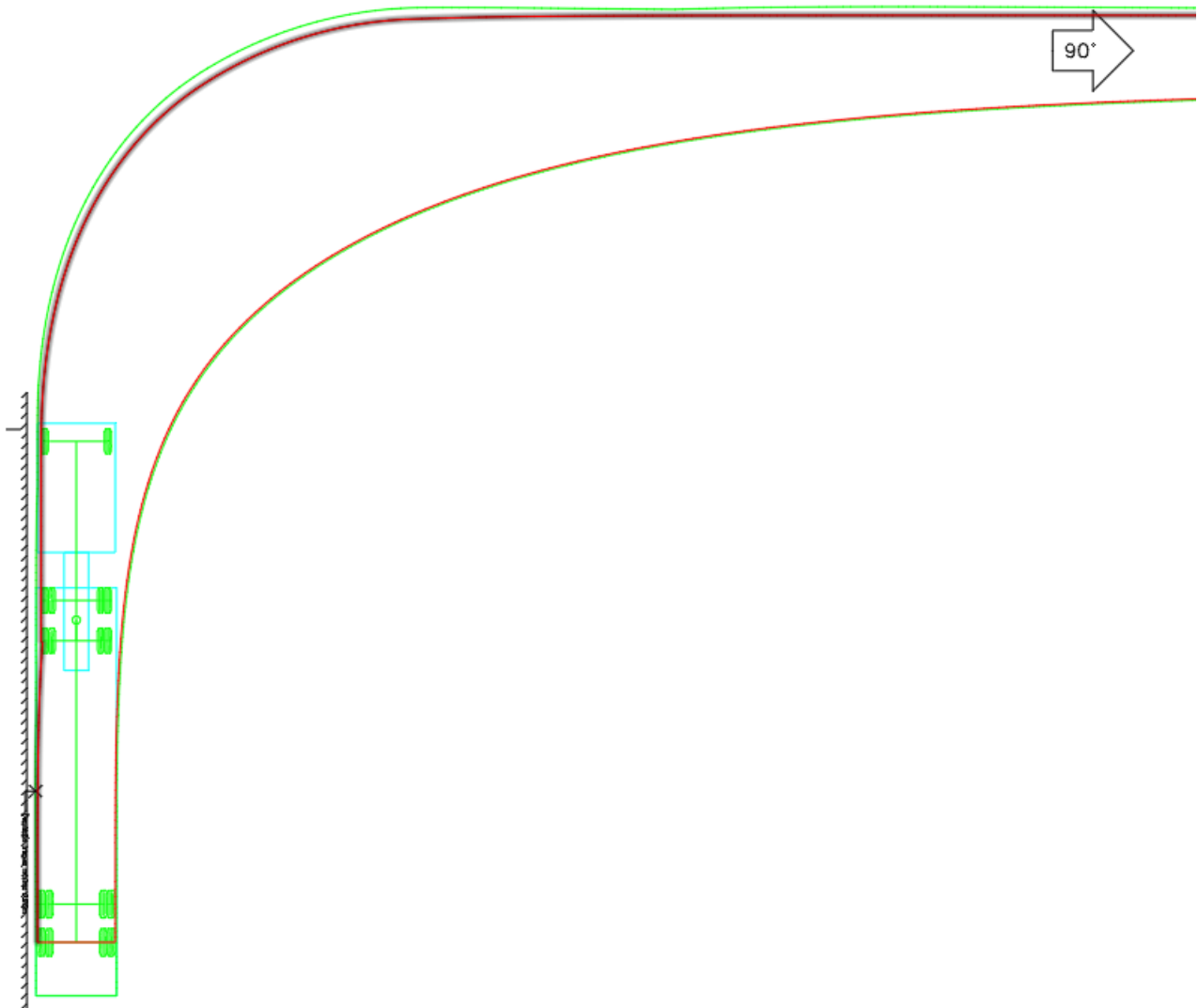
TRACTOCAMIÓN	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S3-1	11.093	5.254
C3S3-2	11.085	5.206
C3S3-3	11.161	5.277
C3S3-4	11.092	5.254
C3S3-5	11.124	5.233
Estadística Descriptiva		
Media	11.111	5.245
Mediana	11.093	5.254
Varianza de la muestra	0.001	0.001
Desviación estándar	0.032	0.027
Tamaño de la Muestra		
Desviación estándar	0.032	0.027
Error Máx. Tolerable "d"	0.050	0.050
Constante "Z"	1.960	1.960
Tamaño Muestral "n"	1.557	1.112

Fuente: Propia

4.1. Resultados simulación Autodesk Vehicle Tracking

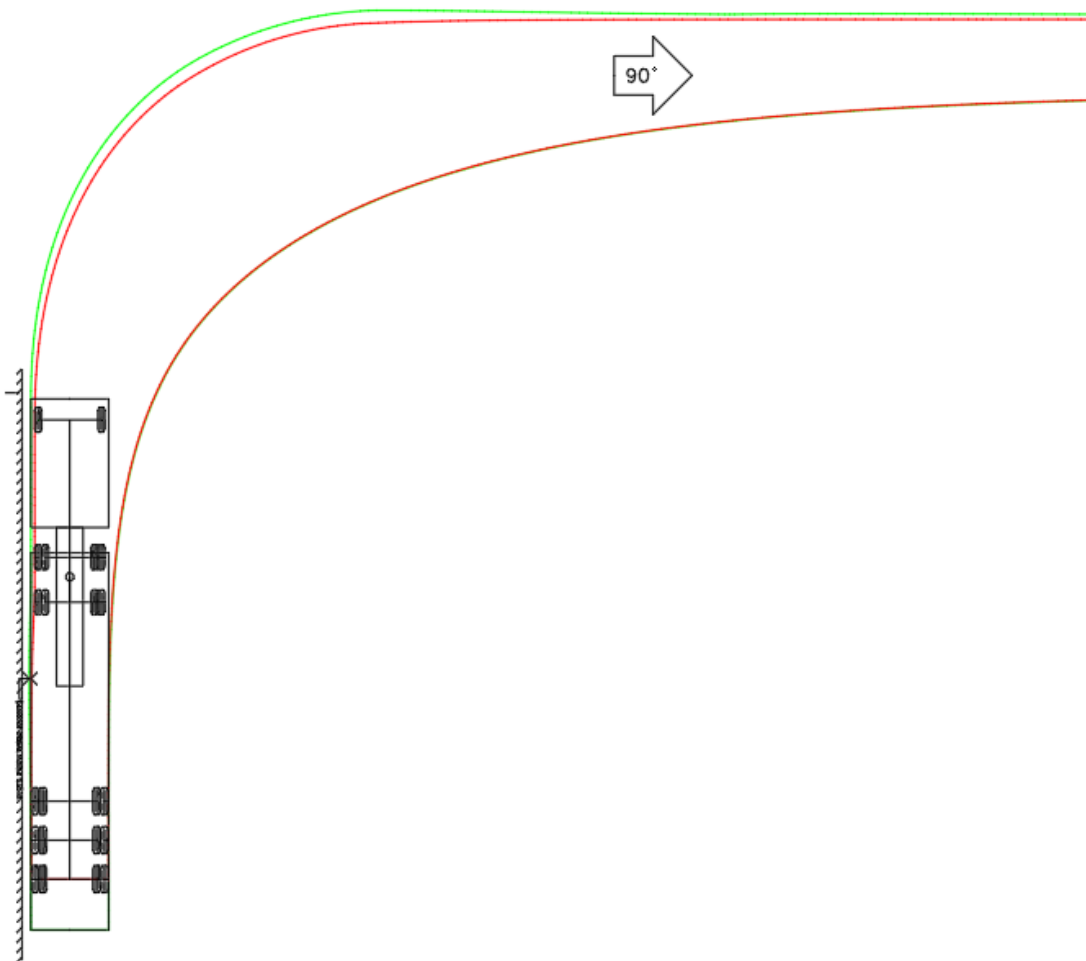
A continuación, en las figuras 49 y 50 se muestra el resultado obtenido mediante el software, el cual permite determinar los radios de giro tanto internos como externos a diferentes ángulos de incidencia en ambos vehículos articulados.

Figura 49 Radio de giro Tractocamión C3S2 Vehicle Tracking 90°



Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Figura 50 Radio de giro Tractocamión C3S3Vehicle Tracking 90°

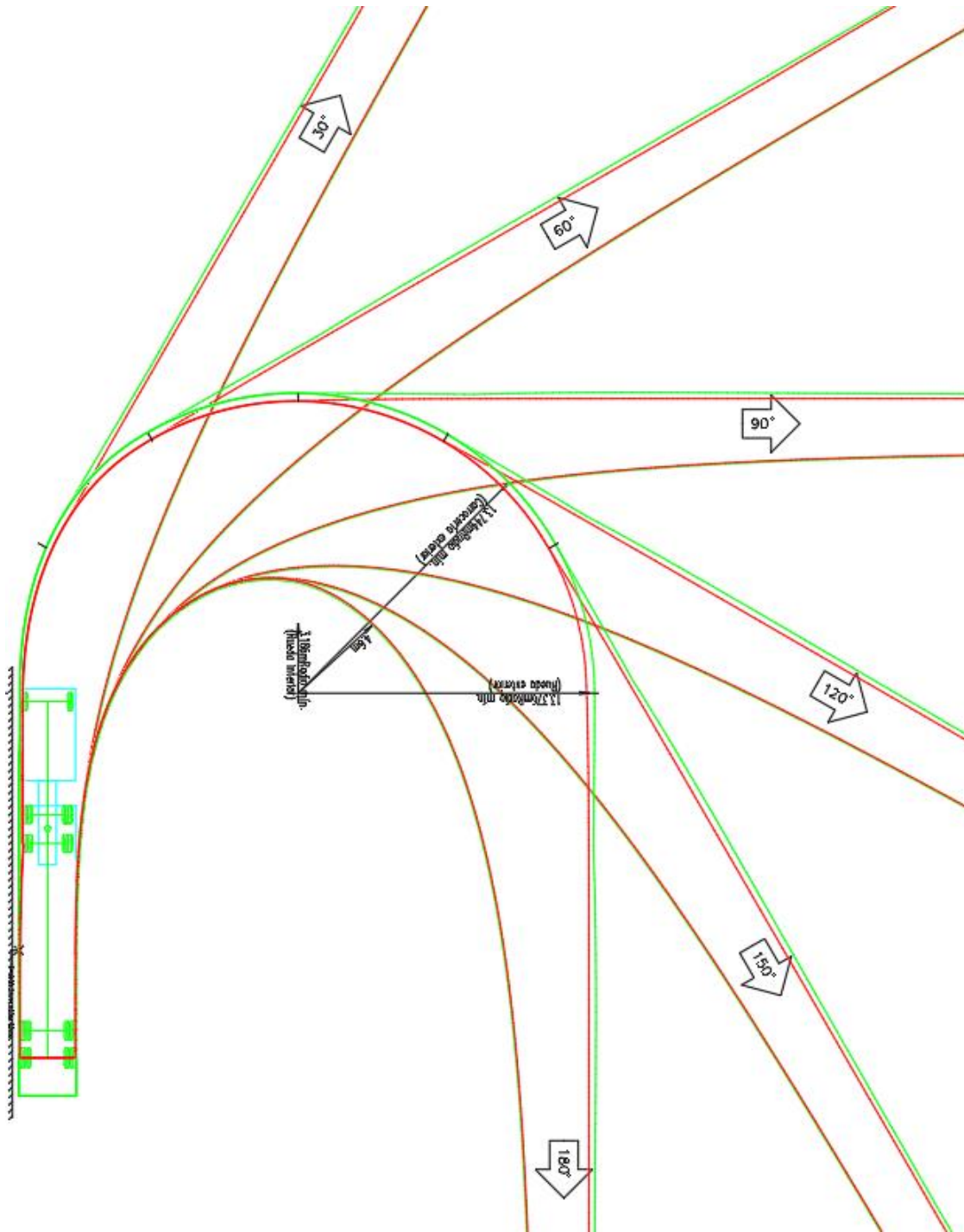


Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

La trayectoria roja, hace referencia al radio de giro realizado por la llanta externa e interna, mientras que la trayectoria verde, relaciona la trayectoria requerida por la carrocería del vehículo.

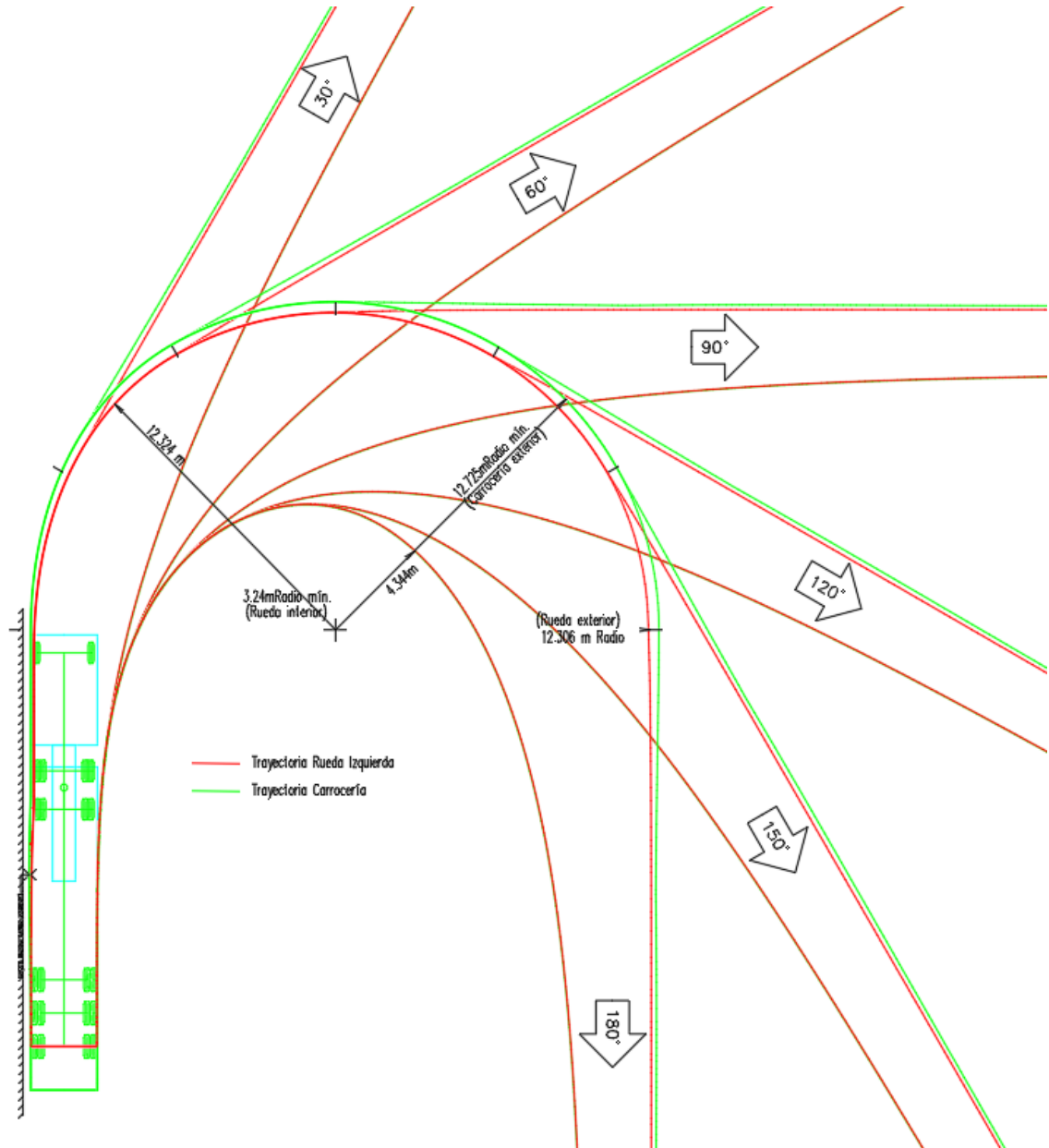
De la misma manera, se presentan los respectivos resultados de los ángulos de incidencia simulados mediante el software.

Figura 51 Radios de giro Tractocamión C3S2 Vehicle Tracking 30°, 60°, 90°, 120°, 150° y 180°



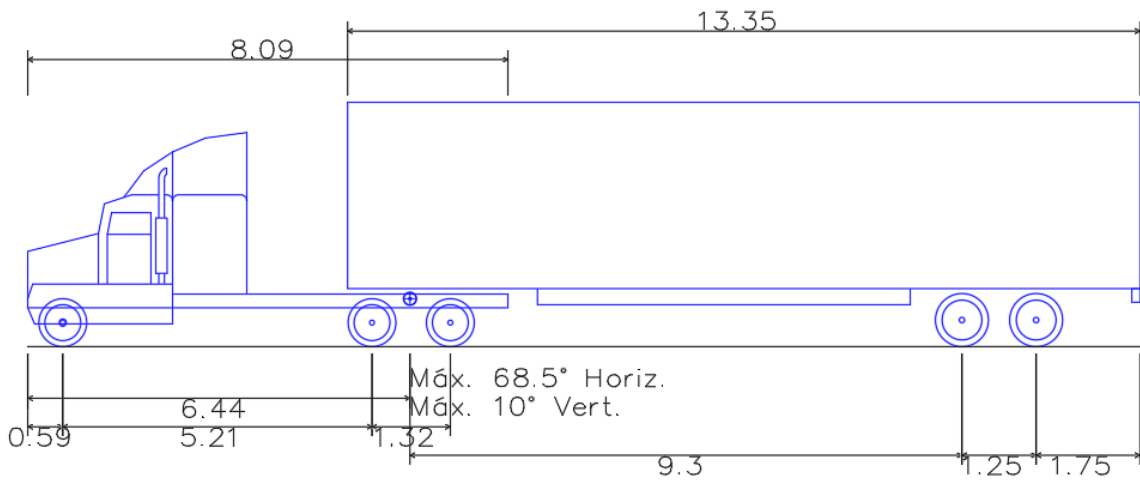
Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Figura 52 Radios de giro Tractocami3n C3S3 Vehicle Tracking 30°, 60°, 90°, 120°, 150° y 180°



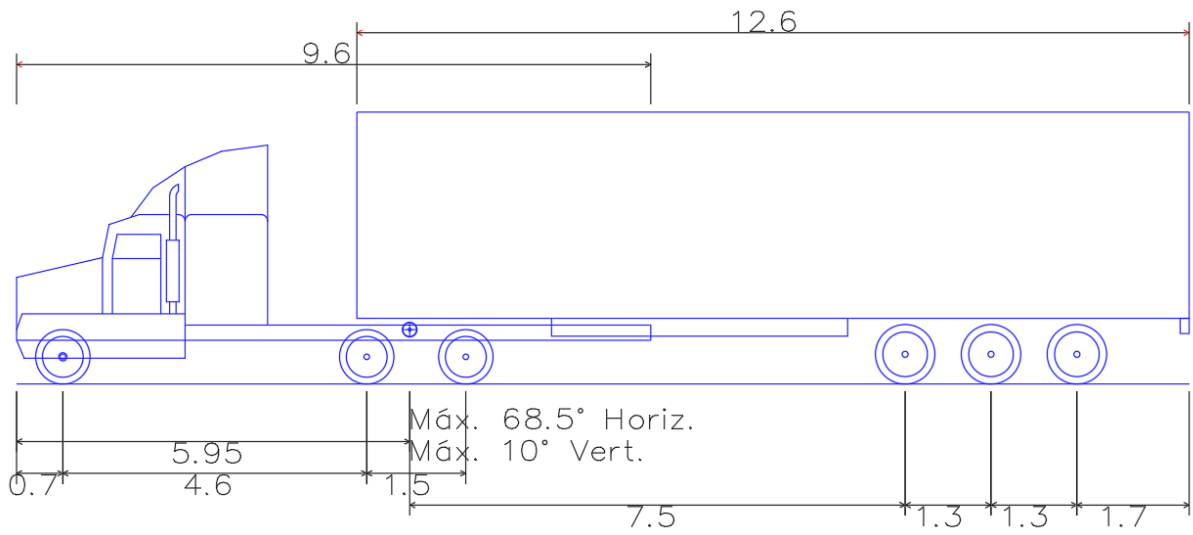
Fuente: Autodesk Vehicle Tracking 2018

Figura 53 Dimensiones Tractocamión C3S3



Fuente: Propia

Figura 54 Dimensiones Tractocamión C3S3



Fuente: Propia

Una vez realizada la simulación, se procedió a comparar los datos obtenidos mediante el software, con los alcanzados en este estudio, arrojando las siguientes diferencias.

Tabla 32. Comparación resultados Vehicle Tracking – Estudio

RADIOS DE GIRO 180°				
VEHÍCULO	MÉTODO	VELOCIDAD	RADIO EXTERNO	RADIO INTERNO
C3S2	Vehicle Tracking	15 Km/h	13.744	3.186
	Estudio		13.317	7.386
	Diferencias		0.427	4.2
C3S3	Vehicle Tracking	15 Km/h	12.324	3.240
	Estudio		11.282	5.374
	Diferencias		1.042	2.134

Fuente: Propia

Como se puede observar, existen diferencias entre los datos medidos en campo y los obtenidos mediante la simulación, el valor más representativo se observa en el vehículo C3S2 al contemplar el radio interno ya que varía en más de 4 metros al obtenido mediante la simulación, sin embargo la representación se acerca mucho a la realidad, ajustándose por encima el radio externo del vehículo, por otra parte, en cuanto a la diferencia encontrada entre el estudio y la simulación del radio interno, se puede atribuir a parámetros de seguridad o características especiales en la programación del software y/o la creación del vehículo en el asistente, dado que este código es cerrado, es difícil verificar el método de cálculo empleado por esta herramienta.

Por otro lado, los levantamientos obtenidos del estudio realizado en campo, corresponden a situaciones típicas y maniobras comunes empleadas por los conductores de estos vehículos, para maniobrar de la mejor manera posible en una curva a nivel urbano. Cabe destacar que hay movimientos que no son perfectamente rectos, factor que difiere en el software, a lo cual se puede atribuir otra variable en la diferencia hallada.

Es de aclarar que los datos obtenidos por la simulación de igual manera solo son posibles hasta una velocidad máxima de 15 Km/h.

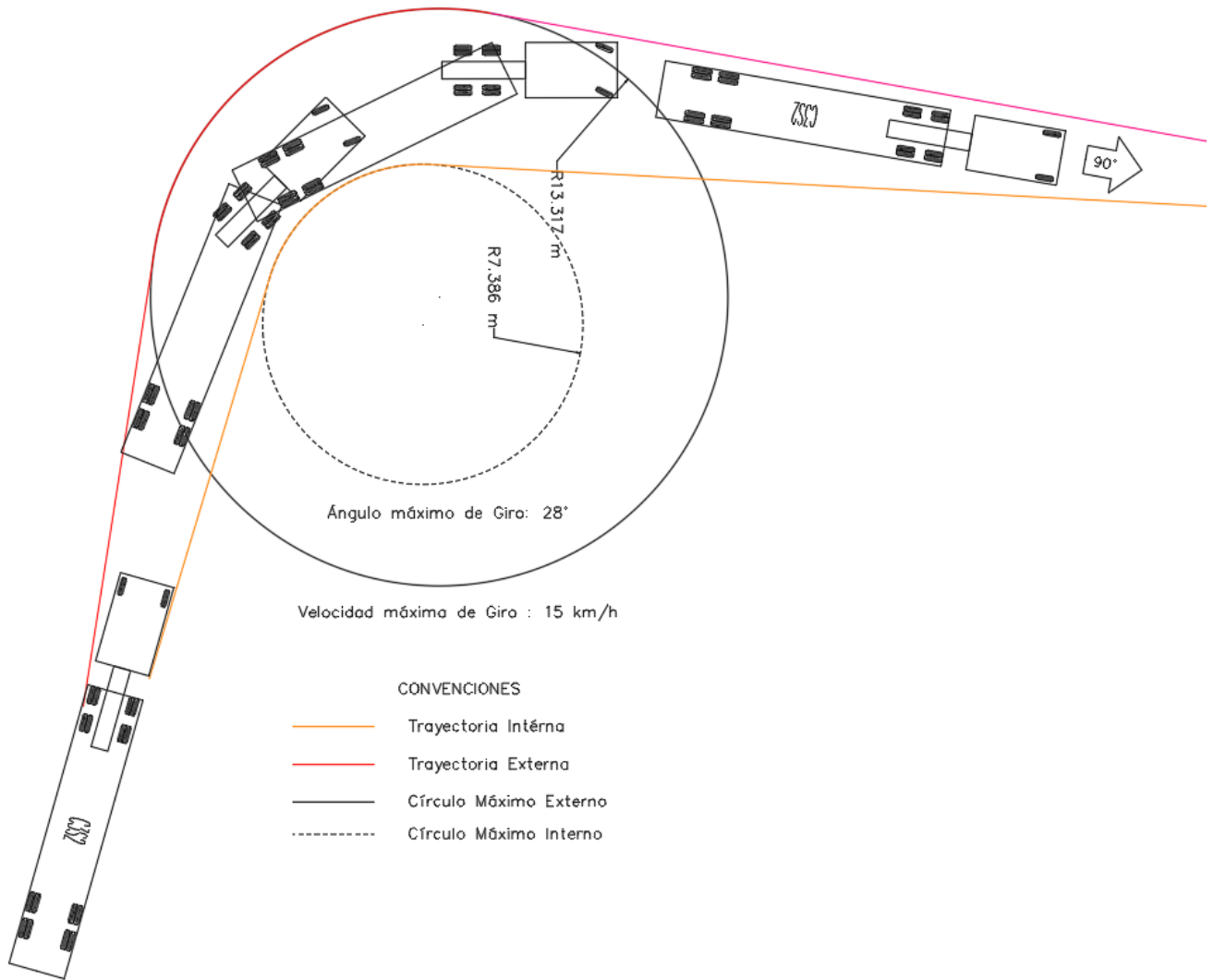
4.2. Plantillas Propuestas

Concluido el estudio, se procede a plantear las respectivas plantillas de giro, las cuales podrán ser empleadas para determinar los radios de giro requerido para los vehículos en estudio (C3S2 – C3S3), aclarando que son radios mínimos, ya que, en el mercado automotriz, los fabricantes propenden por construir accesorios (tráiler – semirremolques) no estandarizados y sujetos a modificaciones, por lo cual no se puede hablar de un tipo de vehículo articulado genérico para los diseños viales.

4.2.1. Tractocamión C3S2

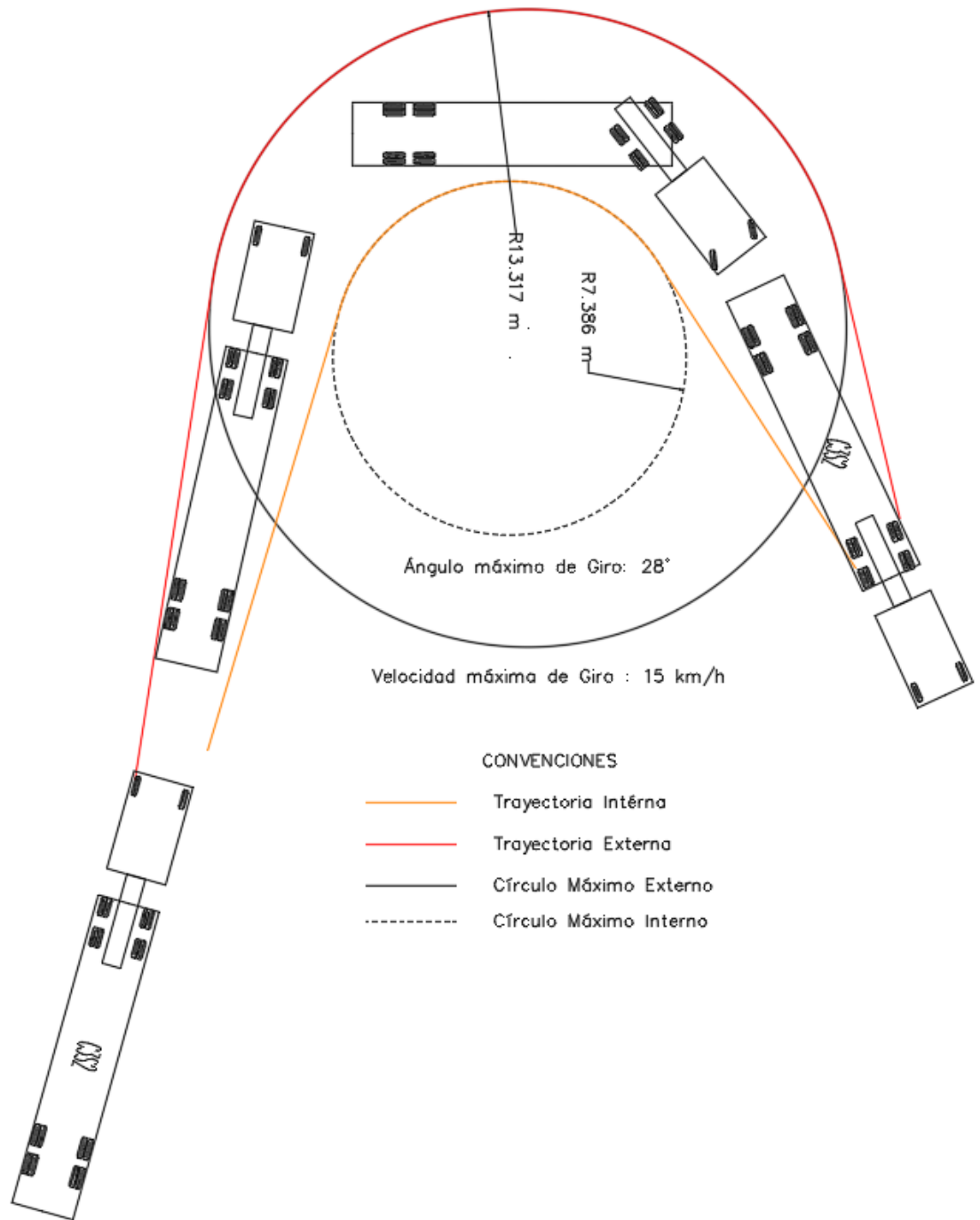
En las siguientes figuras (55 – 56), se observan las respectivas plantillas propuestas para giros a 90 y 180° respectivamente, para una velocidad máxima de 15km/h.

Figura 55 Especificación Propuesta (C3S2 Giro 90°)



Fuente: Propia

Figura 56 Especificación Propuesta (C3S2 Giro 180°)

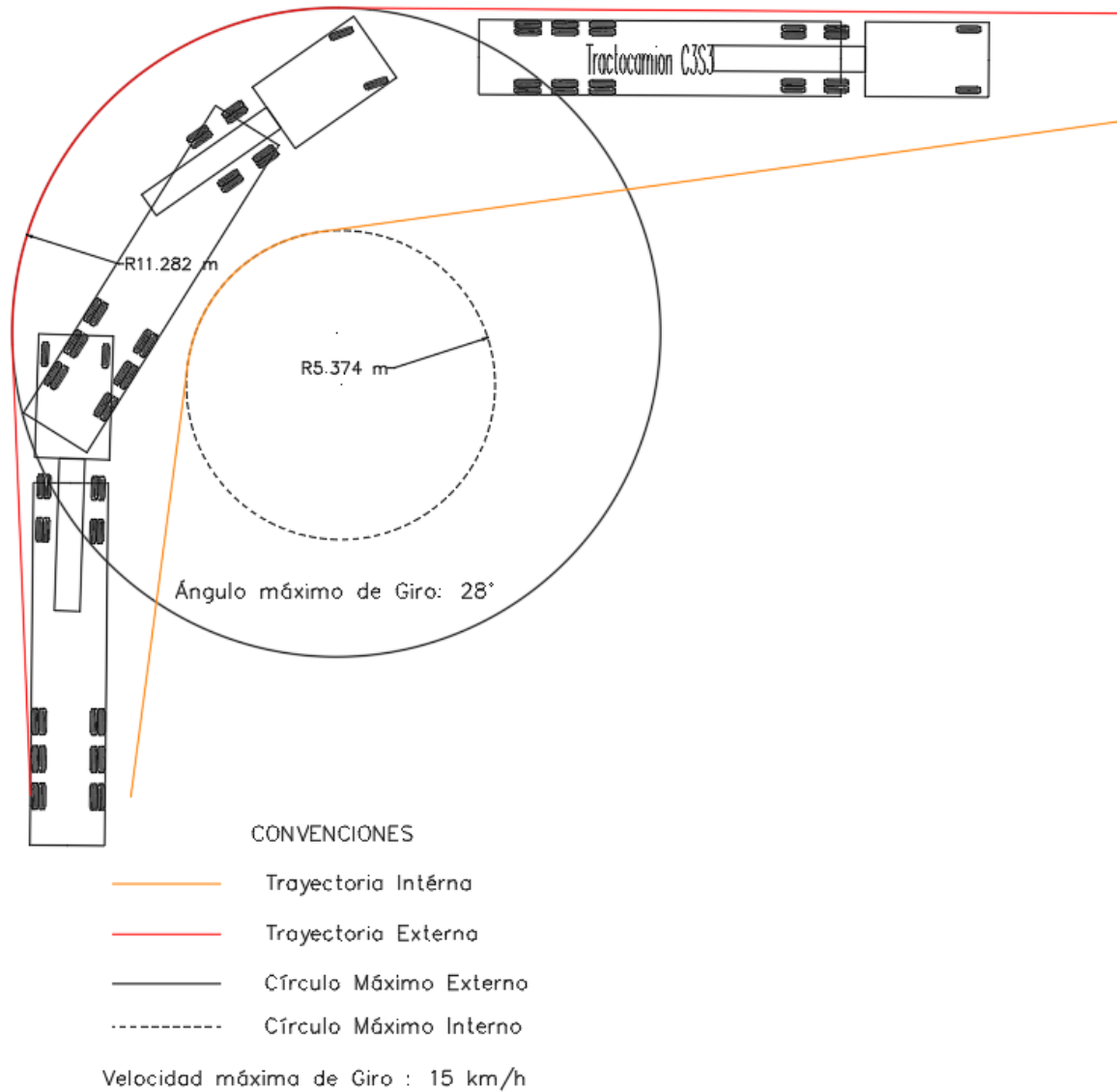


Fuente: Propia

4.2.2. Tractocamión C3S3

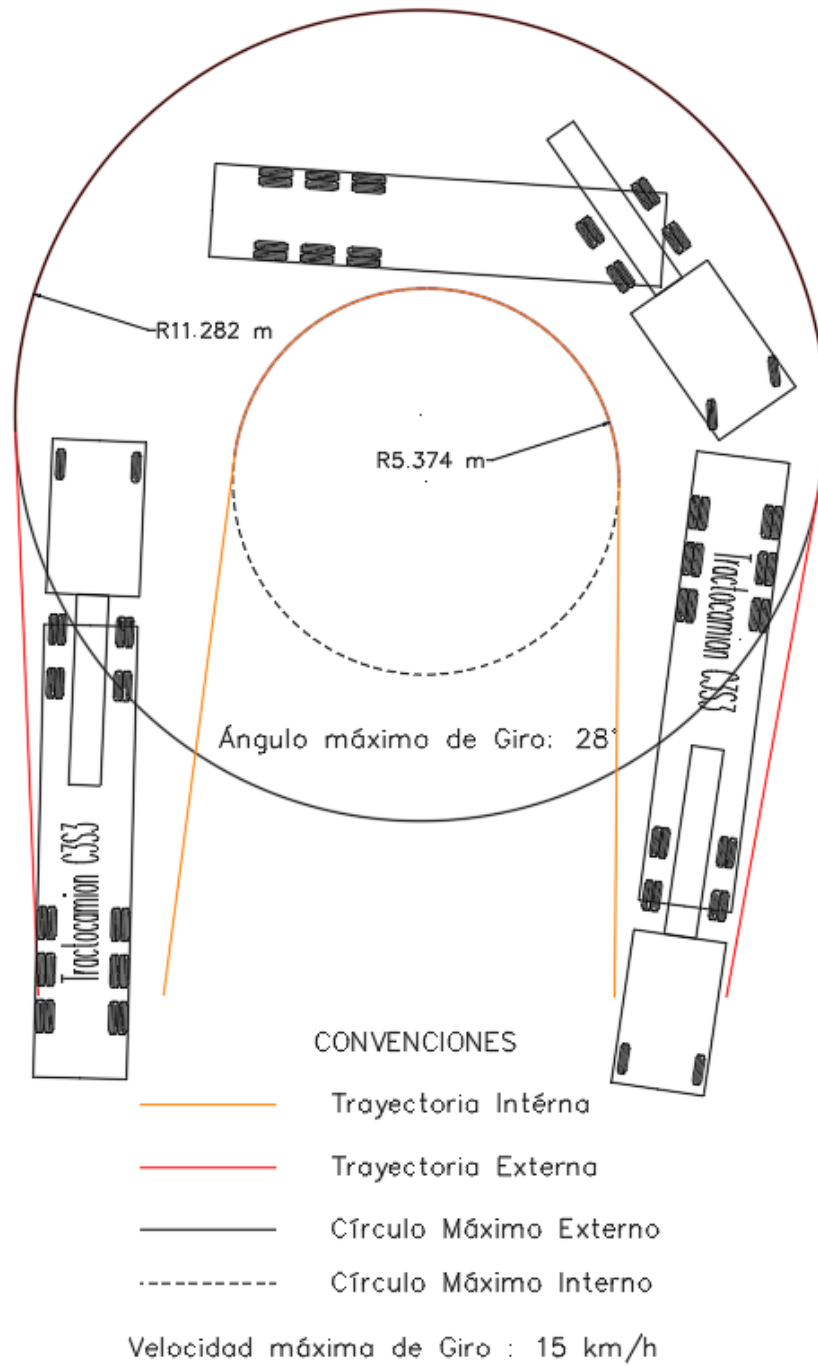
A continuación, se presentan las plantillas propuestas para giros a 90° y 180°, para velocidades máximas de 15 km/h.

Figura 57 Especificación Propuesta (C3S3 Giro 90°)



Fuente: Propia

Figura 58 Especificación Propuesta (C3S3 Giro 180°)



Fuente: Propia

5. CONCLUSIONES

- Se determinó satisfactoriamente, las dimensiones específicas de los tractocamiones C3S2 y C3S3, vehículos muy comunes en áreas urbanas, actualmente este último, no se contempla en el Manual de Diseño de Carreteras de Colombia, ni tampoco es mencionado en la normativa AASHTO; sin embargo en el manual Colombiano se menciona el tractocamión C3S2 y como vehículo de diseño, presenta dimensiones mucho más grandes que el mismo C3S3, de igual manera los radios contemplados son mucho más amplios ya que es un vehículo adaptado de norma AASHTO 2004.
- Dada la variedad de combinaciones y dimensiones existentes en la mayoría de los semirremolques empleados en el país, se hace complicado definir por estándares los vehículos articulados, sin embargo, durante el estudio, se establecieron las dimensiones más críticas, garantizando la óptima operabilidad y libre maniobra a nivel urbano sin llegar a generar conflicto con otros usuarios de la vía.
- Se elaboró satisfactoriamente las respectivas plantillas de radios de giro, para ángulos de incidencia a 90° y 180° para los vehículos articulados C3S2 y C3S3, objeto de este estudio, aclarando que los resultados obtenidos se garantizan a una velocidad de maniobrabilidad máxima de 15km/h, respondiendo de igual manera condiciones de seguridad y comodidad en la vía.
- Al comprobar los radios de giros obtenidos mediante el software Autodesk Vehicle Tracking, se pudo analizar las diferencias generadas (en algunos casos mayores a 4 metros), con el estudio, diferencias que se pueden atribuir a factores propios que emplea el software para generar estos resultados (factor de seguridad, velocidad constante, factor humano no considerado), sin embargo es importante aclarar, que los datos capturados en campo y la metodología empleada para capturar dicha información, garantiza maniobras propias del conductor, condiciones de la vía y velocidades no superiores a 15 km/h, lo cual supone que

son factores aún más relevantes e importantes a tener en cuenta, a la hora de generar algún tipo de diseño, mejora o mantenimiento en las vías no solo urbanas sino rurales.

- Con el estudio realizado, se completa la investigación del Ingeniero Mario Arturo Rincón Villalba, analizando y dimensionando los espacios necesarios, así como anchos de carril mínimos que se deben contemplar a la hora de cualquier diseño geométrico, para los tipos de vehículos articulados como lo son el C3S2 y C3S3.
- Al momento de modelar las características del Vehículo articulado C3S2 contemplado en el Manual de Diseño de Carreteras Colombiano, en su edición 2008, mediante el software Vehicle Tracking, fue imposible obtener los radios de giro a 180°, dado que dichas características no pudieron ser procesadas por el software, lo cual genera una cierta incertidumbre a la hora de analizar los radios propuestos para este vehículo en dicho manual.

6. RECOMENDACIONES

- Una vez finalizado el estudio inicialmente planteado por el Ingeniero Mario Rincón Villalba, y cuyo complemento es este trabajo, es necesario plantear una actualización del Manual de Diseño de Carreteras para Colombia, o en su defecto incorporar una metodología propia de nuestro país, basados en los estudios realizados para determinar los diseños geométricos más acorde a las condiciones del parque automotor existente en la actualidad y las velocidades de operación con las que actualmente cuenta la zona urbana y rural.
- Dada la diferencia encontrada en los anchos de carril requeridos y los radios de giro mínimo de los vehículos que establece el software Vehicle Tracking y los calculados en este estudio, se recomienda adoptar los planteados y sugeridos en este documento, ya que se asemejan aún más a la realidad, condiciones, velocidades y lo más importante decisiones y maniobrabilidad propia del conductor, factores que no son tenidos en cuenta en las simulaciones generadas mediante un software.
- Una vez concluido este estudio, es necesario determinar dichos radios de giro para la categoría de buses y/o camiones que no se contemplaron en etapas previas a estos estudios, esto con el fin de completar en su totalidad, los requerimientos mínimos, en cuanto a radios de giro propios del parque automotor vigente en nuestro país, con el fin de garantizar diseños más apropiados a nuestra realidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 706_Manual_de_Projeto_Geometrico.pdf. (n.d.).
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A policy on geometric design of highways and streets, 2011*. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/A_Policy_on_Geometric_Design_of_Highways.html?id=puLERKfS0RcC&redir_esc=y
- Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. *Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de La Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana*, 2(January 1999), 328.
- Bañón, L., & Beviá, J. F. (2012). Manual de carreteras. 2000, 600. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benitez, R. & Medina, A. (1986). Diseño geométrico de carreteras. *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*, 25.
- Cárdenas Grisales, J. (2000). *Diseño Geométrico de vías (2a ed..)*.
- Chocontá Rojas, P. A., & Choconta Rojas, P. A. (2011). *Diseño geométrico de vías (3a ed..)*.
- Comunicaciones, M. de T. y, Viceministerio de Transportes, & Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). Diseño Geométrico DG-2018, 285. Retrieved from http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Cruz Cruz, H. V. (2014). Creación de aplicativos con la plataforma civil 3D, para diseño geométrico de vías de cuarta generación.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). (2010). Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias, 280.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2010). Manual de projeto geométrico de travessias urbanas, 392. <https://doi.org/IPR. Publ. 740>

- Garber, N. J., & Hoel, L. a. (2009). *Traffic and highway engineering. Usa*.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000746](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000746).
- González Hernández, L. H. (Ministerio de T. de C., & Vanegas Olaya, M. del P. (Ministerio de T. de C. (2013). Caracterización del Transporte Terrestre Automotor de Carga en Colombia 2010-2012. *PhD Proposal*, 1, 49.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutierrez, M. (2017). Manual de Proyecto de Maquetas. *Manual de Proyectos de Maquetas*, 1(Tomo 1), Numero 6.
- Highway, S. (2004). *Geometric Design of Highways and Streets American Association of State Highway A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.
- INVÍAS. (2009). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 298.
- *Manual de carreteras : diseño geométrico DG-2013*. (n.d.). Retrieved from <http://www.librosperuanos.com/libros/detalle/15970/Manual-de-carreteras.-Diseno-geometrico-DG-2013>
- Manual, H. C. (2000). Transportation research board. *National Research Council, Washington, DC, 113*(August 2012), 1–18.
- Ministerio de Transporte. (2004). Resolución N° 004100.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Viceministerio de Transportes, & Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). Diseño Geométrico DG-2013, 328. <https://doi.org/ISBN No. 978-612-304-192-2>
- Mtop. (2003). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras-2003 MTOP. *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*, 475. Retrieved from <http://es.scribd.com/doc/64165603/Normas-de-Diseno-Geometrico-2003#scribd>
- Oficina Asesora de Planeación. (2005). Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura, 133. Retrieved from <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?id=455>
- Pozueta Echavarri, J. (2014). Nuevos criterios para el diseño y clasificación del viario urbano. *Carreteras*, (193), 33–53.

- Rincón Villalba, M. A. (2011). Determinación de radios de giro para diseños viales urbanos en Colombia.
- Rincón Villalba, M. A., & González Vargas, C. J. (2012). *Ingeniería de tránsito : conceptos básicos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://editorial.udistrital.edu.co/detalle.php?id=239&f=6#sthash.iRrUXHvf.dpbs>
- Rincón Villalba Mario Arturo, González Carlos Javier, V. V. W. E. (2013). *Diseño geométrico de vías* (1 Edición). Retrieved from <http://editorial.udistrital.edu.co/contenido.php?id=119&f=6>
- Ry Mayor Reyes Spíndola, R. (2013). *Ingeniería de tránsito : fundamentos y aplicaciones*. (Octava edi).
- Sierra, F. J. (2004). *Los defectos viales y sus probables consecuencias*. ANI - Academia Nacional de Ingenieros. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=bfYdnQAACAAJ>

(“706_Manual_de_Projeto_Geometrico.pdf,” n.d.; *Manual de carreteras : diseño geométrico DG-2013.*, n.d.; American Association of State Highway and Transportation Officials., 2011; Bañón Blázquez & Beviá García, 2000; Bañón & Beviá, 2012; Benitez, R. & Medina, 1986; Cárdenas Grisales, 2000; Chocontá Rojas & Choconta Rojas, 2011; Comunicaciones, Viceministerio de Transportes, & Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018; Cruz Cruz, 2014; DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), 2010; DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRASPORTES, 2010; Garber & Hoel, 2009; González Hernández & Vanegas Olaya, 2013; Gutierrez, 2017; Highway, 2004; INVÍAS, 2009; Manual, 2000; Ministerio de Transporte, 2004; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Viceministerio de Transportes, & Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2013; Mtop, 2003; Oficina Asesora de Planeación, 2005; Pozueta Echavarrí, 2014; Rincón Villalba, 2011; Rincón Villalba & González Vargas, 2012; Rincón Villalba Mario Arturo, González Carlos Javier, 2013; Ry Mayor Reyes Spíndola, 2013; Sierra, 2004)