



ACTUALIZACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO GEOMETRICO DE VIAS
FERREAS PARA COLOMBIA

JULIÁN MAURICIO CASTRO CONTRERAS

TESIS

Asesor

JOHN JAIRO AGUDELO OSPINA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS APLICADAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN
2025

Agradecimiento

A todos los que me apoyaron puesto que fue un camino largo

CONTENIDO

pág.

0. INTRODUCCIÓN.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. GENERAL	16
3.2. ESPECÍFICOS	16
4. MARCO TEÓRICO O MARCO CONCEPTUAL	17
5. DISEÑO METODOLÓGICO O METODOLOGÍA	28
5.1. ENFOQUE CUANTITATIVO	28
5.2. FASES	28
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
7. RESULTADOS.....	32
7.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA VIAS FERREAS	32
7.1.1. Objeto	32
7.2. Términos y definiciones	32
7.3. Generalidades de los trazados de vías férreas	33
7.3.1. Parámetros de trazado.....	34
7.3.1.1. Eje de trazado en planta	34
7.3.1.2. Eje de trazado perfil longitudinal.....	35
7.3.1.3. Eje para el trazado de la sección Transversal.....	35
7.3.1.4. Esquema para trazado de vías	36
7.3.1.5. Cuáles son los criterios de utilización en cuento a los valores limite	37
7.4. Metodología para el diseño	37
7.4.1. Esquema de explotación	37
7.4.2. Elementos condicionales del trazado.....	39
7.4.3. Trazado	39
7.4.4. Estudio para las velocidades de operación	40
7.5. Trocha (Ancho de Vía).....	41

7.5.1.	Trocha en curvas de Radio reducido.....	42
7.5.2.	Distancia entre círculos de rodadura.....	42
7.5.3.	Entreeje	43
7.6.	Peralte.....	44
7.6.1.	Peralte en plena Vía.....	44
7.6.2.	Peraltes en aparatos de vía.....	45
7.6.3.	Peralte en andenes.....	46
7.6.4.	Insuficiencia del peralte.....	46
7.6.5.	Aceleración por exceso de peralte	49
7.6.5.1.	Velocidad mínima de referencia para trenes de carga.....	50
7.6.6.	Peralte practico y radio mínimo en función de la velocidad	50
7.6.7.	Cálculo del peralte teórico.....	51
7.6.8.	Rampa del peralte	52
7.6.9.	Diferencia del peralte con respecto al tiempo.....	53
7.6.10.	Diferencia de la aceleración por insuficiencia de peralte respecto al tiempo	54
7.6.11.	Variación brusca de la aceleración por insuficiencia de peralte.....	56
7.7.	Radios de curvatura.....	56
7.7.1.	Radio mínimo para curvas circulares	56
7.7.2.	distancia mínima para las alineaciones en planta de curvatura constante y para las curvas de transición	58
7.7.2.1.	distancia mínima para las curvas de transición.....	58
7.7.3.	Longitud de alineaciones con peralte constante entre dos transiciones lineales de peralte..	59
7.7.4.	Longitud mínima entre puntos de tangencia de dos cambios bruscos de insuficiencia de peralte	60
7.7.5.	Prevención del encaballamiento o bloqueos de los topes.....	62
7.8.	Rampas máximas.....	64
7.8.1.	Líneas nuevas.....	65
7.8.2.	líneas existentes	66
7.8.3.	Rampa ficticia.....	66
7.8.4.	Rampa característica.....	68
7.8.5.	Pendientes mínimas	70
7.9.	Radio para curvas verticales.....	70
7.9.1.	Radio mínimo y aceleración máxima en curvas verticales.....	70
7.9.2.	Longitud mínima para alineaciones verticales	72

7.9.2.1.	Tramos de rasante constante	73
7.9.2.2.	Curvas verticales	74
8.	CONCLUSIONES.....	76
9.	RECOMENDACIONES.....	77
	REFERENCIAS.....	78

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 Leyes, Decretos y Resoluciones para el transporte ferroviario.....	19
Tabla 2,Dimensión de la Trocha [11].....	41
Tabla 3, Ancho según el Radio [11].....	42
Tabla 4,Distancia entre los círculos de rodadura[11], [34].....	43
Tabla 5, Valores límite para distancias entre eje (mm)[11].....	43
Tabla 6, Peralte (mm)[11].....	44
Tabla 7,Definiciones de variables para ecuacion de peralte, [11].....	45
Tabla 8,Peralte en aparatos de vía (expresado en mm)[11], [34].....	46
Tabla 9, Peralte en vías de Anden (Expresado en mm)[11], [34].....	46
Tabla 10, Definicion de variables de la ecuacion 3[11], [34].....	47
Tabla 11, Definición de variables para la la ecuacion de peralte en equilibrio, [11].....	47
Tabla 12,Aceleración por insuficiencia de peralte en plano de vía para trocha estándar (m/s ²)[11].....	48
Tabla 13,Insuficiencia para la trocha estándar (mm)[11].....	49
Tabla 14,Limites para la insuficiencia de peralte para los tipos de trenes[11].....	49
Tabla 15,Aceleración por exceso de peralte dada en m/s ² [11].....	50
Tabla 16,Exceso de peralte[11].....	50
Tabla 17, Definición de variables de la ecuación de variación de peralte con respecto a la longitud, [11], [34].....	52
Tabla 18,Rampa de peralte para ancho estándar (mm/m)[11].....	53
Tabla 19, Definición de variables para la ecuación variación de peralte en función del tiempo, [11] ...	53
Tabla 20,Variación del peralte en función del tiempo para la trocha estándar[11].....	54
Tabla 21, Definición de variables para la ecuación de la variación de la insuficiencia de peralte respecto al tiempo, [11], [34].....	55
Tabla 22,Variación de la aceleración por insuficiencia con respecto al tiempo m/s ³ [11].....	55
Tabla 23,Variación de la insuficiencia con respecto al tiempo mm/s, [11], [34].....	55
Tabla 24,Variación brusca de la insuficiencia para trocha estándar, mm[11], [34].....	56
Tabla 25,Radio mínimo de la curva horizontal[11].....	57
Tabla 26, Definición de variables de la ecuación de longitud mínima para las curvas de transición, [11], [34].....	58
Tabla 27, Definición de variables para la ecuación longitud de la curva de transición, [11], [34].....	59
Tabla 28,Longitud de peralte constante entre transiciones lineales de peralte[11], [34].....	60
Tabla 29,Longitud mínima entre puntos de tangencia de cambios bruscos de insuficiencia de peralte (m).[11].....	60
Tabla 30, definición de variables para la ecuación de radio equivalente, [11].....	62
Tabla 31,Rampa máxima para el diseño (milésimas)[11], [34].....	65
Tabla 32, definición de variables para la ecuación rampa ficticia, [11].....	67
Tabla 33,Condiciones para obtener la rampa característica[11].....	69
Tabla 34,Condiciones para calcular la rampa característica para líneas con dos sentidos[11].....	70

Tabla 35, Definición de variables de la ecuación radio para curvas verticales, [11]	71
Tabla 36, Radio mínimo para curvas verticales[11].....	71
Tabla 37, Aceleración vertical máxima para curvas verticales[34]	72
Tabla 38, Radios mínimos para ubicación de aparatos de vía[11], [34]	72
Tabla 39, Distancia mínima de alineaciones con rasante constante[11], [34].....	73
Tabla 40, definición de variables para la ecuación de longitud de curva vertical, [11]	74
Tabla 41, Longitud mínima de los acuerdos verticales (m), [34].....	75

LISTA DE FIGURAS

pág.

Ilustración 1-Red férrea Nacional[1]	11
Ilustración 2, Inversión por tipo de infraestructura en 2024, [15]	19
Ilustración 3 kilómetros de vías férreas por cada 1000 habitantes en Latinoamérica[21]	24
Ilustración 4, Diagrama de fases para el cumplimiento del objetivo de la investigación	30
Ilustración 5,Diagrama de vía Única[11]	35
Ilustración 6, Diagrama de vía única con peralte[11]	35
Ilustración 7,diagrama de vía doble, [11].....	36
Ilustración 8, diagrama de vía doble con peralte, [11].....	36
Ilustración 9, Combinaciones que se presentan en el trazado[11]	61
Ilustración 10, Radios Equivalentes y longitud límite de tramo recto[11]	63
Ilustración 11,la representación de la longitud mínima en función de los radios [11]	63
Ilustración 12, Los radios habitualmente usados[11].....	64
Ilustración 13, Definición de los tramos del trazado[11].....	69

LISTA DE ECUACIONES

pág.

Ecuación 1, Sobreebanco [11]	42
Ecuación 2, Peralte, [11]	45
Ecuación 3, insuficiencia del peralte, [11]	46
Ecuación 4, peralte en equilibrio, [11]	47
Ecuación 5, relación de la insuficiencia del peralte respecto a la diferencia de peralte real y equilibrado, [11]	48
Ecuación 6, Peralte equivalente, [11]	48
Ecuación 7, Radio mínimo, [11]	52
Ecuación 8, diferencia del peralte con respecto a la longitud, [11]	52
Ecuación 9, Variación del peralte en función del tiempo, [11]	53
Ecuación 10, Variación de la aceleración por la insuficiencia del peralte respecto al tiempo, [11]	54
Ecuación 11, Variación de la insuficiencia de peralte con respecto al tiempo, [11]	54
Ecuación 12, longitud mínima de las curvas de transición, [11]	58
Ecuación 13, longitud de la curva de transición, [11]	59
Ecuación 14, Radio equivalente, [11]	62
Ecuación 15, Rampa Ficticia, [11]	66
Ecuación 16, Factor corrector, [11]	67
Ecuación 17, Valor del factor corrector dependiendo del radio, [11]	67
Ecuación 18, Radio para curvas Verticales, [11]	71
Ecuación 19, distancia de curva vertical, [11]	74

Resumen

En Colombia la normativa vigente para el sector ferroviario no está a la altura de los estándares internacionales, a pesar de que hay una política nacional “Plan maestro ferroviario” la cual tiene el fin de impulsar, reactivar y consolidar la operación del sector ferroviario, también se presenta una discusión respecto al tipo de trocha a usar puesto que se plantea usar la trocha estándar y las vías antiguas usan la trocha angosta, también un problema de abandono del sector por la masificación de sector carretero. la suma de todo esto presenta una incertidumbre que hace al sector ferroviario no tan viable para la inversión y es por esto que es necesario la generación de guías, investigaciones y normativas encaminadas al fortalecimiento del sector ferroviario. El propósito de esta investigación fue analizar la normativa vigente desde el punto de vista del trazado geométrico, para así encontrar falencias, realizar un análisis para encontrar una normativa internacional que pueda ser adaptada a las condiciones de Colombia, partiendo que cumplan con el sistema internacional de unidades, y que sea la base de normativas implementadas por los países vecinos de Colombia y que tienen una infraestructura férrea robusta y tecnificada, y con esto encontramos que las normativas UNE-EN-13803-2018, NAP-1210 que cumplen los requerimientos buscados, definido lo anterior se produjo una guía actualizada con la normativa para la realización de un nuevo trazado partiendo desde la trocha estándar, que mejoro las falencias de la normativa vigente e incorporo la adaptación de las normativas españolas

Palabras clave: Adaptación, Estándares internacionales, Fortalecimiento, Ferroviario, Normativa Trazado geométrico, Trocha estándar

0. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que uno de los avances a los cuales el gobierno nacional de Colombia le está apostando, el cual es el desarrollo de la infraestructura férrea[1] , la inversión en este sector puede traer beneficios en el desarrollo económico del país y para los múltiples sectores que mueven la economía del mismo, ya que se ha comprobado que tener una infraestructura funcional y robusta en cuanto a vías férreas, hace que la economía del país tenga un crecimiento y sea más competitivo a nivel internacional[2], puesto que bajan los costos de las mercancías, pues al ser un transporte económico comparado frente a carretero, esto hace que al usarlo como medio de transporte de mercancías no se eleven los valores de las mismas.[1] y adicional a esto el gobierno nacional tiene la implementación de un plan de desarrollo intermodal de transporte el cual sugiere el reforzamiento de la conectividad a través de una conexión entre los distintos medios de transporte

Dicho lo anterior se desarrolla un manual actualizado de diseño de trazado de vías férreas, viendo que el actual manual no ha tenido una actualización significativa, desde que se volvió más importante el desarrollo de carreteras y al no estar actualizado también es deficiente, puesto que está en unidades inglesas, siendo que Colombia adoptó mediante la ley 33 de 1905¹ y la cual fue ratificada por el decreto 3464 de 1980² y por la ley 1480 de 2011³, el uso del sistema de unidades internacional, y sumado a esta desactualización, la normativa vigente no cumpliría con las normativas internacionales puesto que no está a la par de las mismas [2]

Este trabajo aquí planteado tiene el fin de investigar en un área con muy poco contenido de investigación en Colombia y al cual si se quiere hacer una recuperación de la infraestructura de las vías férreas y construcción de nuevas líneas, se debe tener un manual que sirva para este propósito y más que todo pensando que el gobierno nacional quiere realizar la construcción y rehabilitación de varios corredores ferroviarios ya que como se plantea en el Plan Maestro Ferroviario[3], para que Colombia sea más competitiva y el valor de las mercancías baje un 26 % para el año 2030, se debe reactivar el sector

¹ Ley 33 de 1905, “la cual regula y dicta disposiciones de las unidades de medida y el sistema adoptado por Colombia. 27 abr.1905, Asamblea Nacional constituyente y legislativa de Colombia “

² Decreto 3464 de 1980, “por el cual se adopta el sistema internacional de unidades, 19 Ene 1981”

³ Ley 1480 de 2011, “la cual se expide el estatuto del consumidor y se dictan otras disposiciones. 12 oct. 2011. Congreso de Colombia “

ferroviario[1], pero según la siguiente grafica tenemos unos sectores que están inactivos por el abandono estatal al sector

Red	Tramos	Km	Estado
	La Felisa-Envigado	183,00	Inactivo
	Cartago-Pereira	33,00	Inactivo
	La Tebaida-Armenia	17,00	Inactivo
	Armenia-Manizales	135,00	Inactivo
	Cali-Popayán	162,00	Inactivo
	Puerto Wilches (El Cruce)-Bucaramanga	118,00	Inactivo
	Lenguazaque-Barbosa	117,00	Inactivo
	Facatativá-Espinal	150,00	Inactivo
	La Dorada-Buenos Aires	177,00	Inactivo
	Espinal-Nelva	160,00	Inactivo
	Espinal-Picalañeña-Ibagué	55,00	Inactivo
	Bogotá-El Salto	32,00	Inactivo
	La Dorada-Facatativá	166,00	Inactivo
	Envigado-Cisneros	93,00	Inactivo
	Cabañas-Cisneros	74,00	Inactivo
	Zipaquirá-Lenguazaque	57,00	Inactivo
	Bogotá (K0+000-k5+000)	5,00	Activo
TOTAL RED FÉRREA INVÍAS		1734,00	
	Bogotá-Talleres El Corzo	30,87	ANI-Administración
	Bogotá-Belencito	257,00	ANI-Administración
	La Caro-Zipaquirá	20,37	ANI-Administración
	La Dorada-Puerto Berrío	126,50	ANI-Administración
	Grecia-Cabañas	33,10	ANI-Administración
	Puerto Berrío-San Rafael	189,00	ANI-Administración
	San Rafael-Chiriguáná	205,68	ANI-Administración
	Ramal Capulco	4,48	ANI-Administración
	Red Férrea del Atlántico Chiriguáná-La Loma-Ciénaga	207,00	Concesionado FENOCO
	Red Férrea del Atlántico Ciénaga-Santa Marta	38,00	
	Red Férrea del Pacífico La Felisa-Buenaventura	459,00	ANI-Administración
Red Férrea del Pacífico Zarzal-La Tebaldá	39,00	ANI-Administración	
TOTAL RED FÉRREA ANI		1610,00	
Red privada	Cerrejón	150,00	Operación
	Paz de Río	39,00	Operación
TOTAL RED FÉRREA PRIVADA		189,00	

Ilustración 1-Red férrea Nacional[1]

La normativa colombiana para las vías férreas es el manual de normatividad férrea el cual está compuesto por dos partes [4], [5]. Este manual v tiene muchas falencias desde su concepción y no cumplimiento de las leyes anteriormente mencionadas de adopción del sistema internacional de unidades

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dado que en Colombia no se tiene una normativa actualizada que cumpla con las normativas internacionales y este a la vanguardia de las nuevas tecnologías desarrolladas para este sector del transporte y aunado a que cada uno de los operadores férreos en Colombia aplica normativas internacionales diferentes, se hace necesario el desarrollo de una guía que unifique y/o actualice las normativas que se puedan aplicar al diseño de trazado de líneas férreas en Colombia , ya que como lo afirman en el estudio realizado en el informe ejecutivo para la Superintendencia de Transporte[6], no hay en Colombia una regulación y/o grupo de normativas que controlen el transporte ferroviario en Colombia”.

También se debe pensar que esta guía debe ser congruente con los estándares internacionales y así tener unas especificaciones propias que estén a la par de las normativas de los países que son líderes en este sector del transporte, como lo explican en el plan maestro ferroviario[1], igualmente es mencionado en el documento generado por el banco interamericano de desarrollo[2], los cuales muestran que si Colombia quiere dar ese salto al transporte férreo, debe realizar la actualización de la normativa técnica para construcción, rehabilitación y mantenimiento de las vías férreas y por ende esta investigación está encaminada a la realización de esta tarea enfocado al área del diseño y trazado de las vías férreas.

Teniendo en cuenta lo planteado en este documento líneas atrás, y viendo que en Colombia como lo afirma [2] en la página 102 el debate generado respecto al tipo de trocha a usar ya que se quiere continuar con la trocha angosta, otros que prefieren la trocha estándar, además de esto, para el desarrollo de nuevas líneas férreas, su cálculo, tablas de correlaciones, formulas y medidas están en el sistema inglés. Esto nos indica que nuestra normativa vigente está usando un sistema ingles de unidades siendo que en Colombia mediante decreto 3464 de 1980² y ratificado por la ley 1480 de 2012⁴, por medio del cual se realiza la adopción del sistema internacional de unidades

También surge la duda, sobre cuál debe ser la trocha a escoger, puesto que en las investigaciones realizadas sobre el tema se encontró que para efectos de practicidad y costos en cuanto a la rehabilitación de las vías férreas existentes, se debe mantener la trocha angosta en donde su trocha definida sea la misma y para vías férreas nuevas si se debe adoptar la trocha estándar, puesto que es la trocha más usada y que

⁴ Ley 1480 de 2011, “la cual se expide el estatuto del consumidor y se dictan otras disposiciones. 12 oct. 2011”

teniendo estas medidas se cumpliría con los estándares de las normativas internacionales, ya que la trocha angosta es muy poco usada y pocas normativas hacen referencia a ella y sería mucho más práctico a la hora de realizar la construcción, operación, mantenimiento y compra de vehículos, ya que son los más usados.

Adicional a esto y en concordancia a lo descrito en [1], donde nos da un panorama en el cual se encuentra la normativa a nivel nacional y nos da unas recomendaciones en cuanto a que tipo de normativa técnica internacional debe adoptar el país para cumplir con estándares internacionales y expuesto lo anterior nos lleva preguntamos lo siguiente:

¿Podemos generar una guía actualizada de que contenga las especificaciones necesarias para la realización de un diseño de trazado de vías férreas en Colombia, teniendo en cuenta las normativas internacionales y las normativas vigentes que apliquen?

2. JUSTIFICACIÓN

Dado que la pregunta de investigación tiene una respuesta positiva, ya que Sí podemos realizar una guía actualizada de las especificaciones de diseño de vías férreas y más que todo tenemos la certeza que esta actualización nos llevaría a que estas especificaciones se manejen en el sistema de unidades adoptado por Colombia y como consta en [2] documento desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo donde precisa, que uno de los desafíos que tiene el sector ferroviario es generar desde la entidad regulatoria una regulación técnica y normativa que se encamine a cumplir con los estándares internacionales y que ellos recomiendan que sean bajo las norma internacionales como DOT-FRA-AREMA/AAR.

Teniendo en cuenta lo plasmado en plan de transporte intermodal[3], el cual busca impulsar el desarrollo de todos los medios de transporte usados en Colombia, y para esto también es necesario contar con una normativa técnica que sean capaces de regular estos aspectos que como se afirma en [7]en el caso del transporte ferroviario una de las mayores dificultades que presenta este sector es la falta de normativa que ayuden a la implementación de este medio de transporte

Adicional a lo anterior se ha tenido una de las gran discusión referente al tipo de trocha a usar puesto que no se ha realizado una definición sobre cuál es la que se debe usar, ya que en Colombia se tiene la trocha yárdica que no se usa internacionalmente y que gran parte de la infraestructura existente fue desarrollada con la misma y la trocha estándar que esta si ha sido masificada a nivel internacional y cuenta con una gran cantidad de normativas que hacen referencia a la misma, y como consta en [2] [8] y [9] en los cuales se concluye que para los nuevos proyectos de infraestructura férrea se deben realizar con el uso de la trocha estándar y permitiría que los nuevos proyectos de infraestructura férrea que quieran usar una normativa diferente puedan usarla siempre y cuando sea usando la trocha estándar

Partiendo de lo anterior y viendo que muy pocas investigaciones y documentación hay al respecto y que como se evidencia en [1]y cito “En Colombia, será necesario realizar un estudio para definir los lineamientos y la normativa del sistema ferroviario nacional; por ello, se partirá de las mejores disposiciones y prácticas internacionales para determinar las regulaciones técnicas adaptadas a las particularidades de los corredores nacionales y regionales.”, de lo expuesto líneas atrás se hace necesario la realización de una actualización de las especificaciones de diseño de vías férreas para Colombia, que

para nuestro caso se realiza una guía que cumpla con estos requisitos usando la normativa UNE-EN-13803-2018[10] y la normativa ADIF [11] y tomando como base el manual de normatividad férrea 2013 en sus capítulos 1 al 2 [4]. Se tiene pensando que este documento realizado pueda ser tomado como base en un futuro para la reestructuración de la normativa colombiana o actualización de la misma teniendo en cuenta que la guía que aquí se realiza está cumpliendo con la normatividad internacional y cumple con las leyes colombianas respecto al sistema de unidades internacionales, y es adaptada a las necesidades que tiene el país para el desarrollo de su infraestructura

3. OBJETIVOS

3.1.GENERAL

Elaborar una guía actualizada de especificaciones para el diseño de vías férreas en Colombia.

3.2.ESPECÍFICOS

- Realizar la actualización de especificaciones en base a la normativa UNE-EN-13803-2018 y ADIF NAP-12-1.0
- Cumplir con los estándares internacionales referentes al diseño y trazado de vías férreas.
- Verificar que especificaciones del manual de normatividad férrea de 2013 se puede incluir en la guía a elaborar.

4. MARCO TEÓRICO O MARCO CONCEPTUAL

Primero se realizó un barrido de la normatividad vigente, las políticas desarrolladas para el sector e informes en los cuales se realice una referencia en cuanto a las necesidades presentes en este sector del transporte

Manual de normatividad férrea parte I y parte II, este manual fue desarrollado en 2013 por el ministerio de transporte en manos de la viceministerio de infraestructura y la dirección de infraestructura, el cual tiene dos partes, la primera parte se enfoca en las especificaciones de diseño geométrico y constructivas, el cual al ver sus capítulos iniciales nos damos cuenta que presenta ecuaciones de diseño que están en unidades del sistema ingles que según lo mostrado en el documento generando por banco interamericano encontramos que esta normativa esta desactualizada, ya que usa medidas que no se usan hace ya varias décadas, por ende la necesidad de actualizar esta normativa y que sea llevada a estándares internacionales[4], [5]

Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia [2], este documento nos trae una vista desarrollada desde el banco interamericano de desarrollo en el cual hacen un estudio de los desafíos a los cuales se enfrenta Colombia al hacer una gran inversión en el desarrollo de infraestructura de este sector del transporte, este estudio también nos trae unos puntos de vista de cómo son las reglamentaciones técnicas internacionales y a las cuales Colombia debería hacer su paso para cumplir con los estándares internacionales

Plan maestro ferroviario [1], este documento tiene sus fundamentos en 5 pilares los cuales son el desarrollo de proyectos que serán priorizados según los estudios realizados al respecto, el desarrollo de la institucionalidad para fortalecer este sector del transporte, el desarrollo de la regulación económicas enfocado en el marco normativo, el desarrollo del marco jurídico para hacer la regulación tanto ambiental como social y lo que nos interesa es el desarrollo de la regulación técnica que en el plan maestro ferroviario[1] nos indica que para garantizar la seguridad y las condiciones óptimas de prestación del servicio, es indispensable desarrollar normativas que nos permitan tener un desarrollo del sector, las cuales se deben desarrollar adoptando las normativas internacionales más usadas en la región y que para esto se debe “realizar un estudio para definir los lineamientos y la normativa del sistema ferroviario nacional”

Plan maestro de transporte intermodal 2021- 2053 [3], desarrollado en cabeza por el ministerio de transporte, departamento de planeación nacional, la financiera de desarrollo nacional (FDN) y la unidad de planeación de infraestructura de transporte (UPIT), documento el cual hace la precisión sobre que El PMTI es una apuesta que el gobierno está haciendo para el crecimiento del país, desarrollando una red de transporte que genere un impacto positivo en la economía, Y da un horizonte para Colombia en materia de normativas para que se puedan generar proyectos de infraestructura para la implementación de la intermodalidad en el transporte y hacer la unión entre los diferentes medios de transporte que tenemos en Colombia y como ellos informan “generar más competitividad y accesibilidad para el país”.

Plan maestro de transporte (2010-2032) [12], esta política pública comprende el desarrollo que debe tener todo el sector del transporte y hacia donde debe ser encaminado todo este sector pensando que se realice un impacto positivo en la economía del país, importante tener en cuenta que ya se habla de la intermodalidad de los medios de transporte y como se debería empezar a realizar esa conexión entre los distintos medios de transporte y que se pueda vincular dineros desde el sector privado para el desarrollo del sector

CONPES 2517 plan de rehabilitación de la red férrea [13], esta política pública tiene el fin de hacer unas propuestas por medio de las cuales permita ser a los sistemas de transporte ferroviarios totalmente viables económicamente y además presenta un proyecto para la rehabilitación de las vías férreas más prioritarias, si bien esta política todavía esta vigente, hasta ahorita se esta empezando a tomar en cuenta por los entes gubernamentales

CONPES 2776 estrategia para la modernización de la red férrea [14], en esta política pública se tiene contemplado un plan de modernización de las redes ferroviarias, la cual también incluye rehabilitación de las mismas y se plantea que para la realización de esto se ayude del sector privado, el cual mediante las concesiones pueda realizar dicha modernización, si bien esta política se encamina a la realización de un plan de modernización, este a la fecha no se ha empezado a usar, pero si se ha realizado el impulso para iniciar dicha modernización

Informe sectorial No.6: 2024, un año de grandes inversiones en infraestructura de transporte [15], en este informe se muestra, como ha sido la inversión en cuanto a los distintos sectores del transporte y

como se muestra en la siguiente imagen encontramos que las inversiones para el año 2024 para el sector ferroviario son de cerca del 1 % del total de toda la inversión realizada para el sector transporte

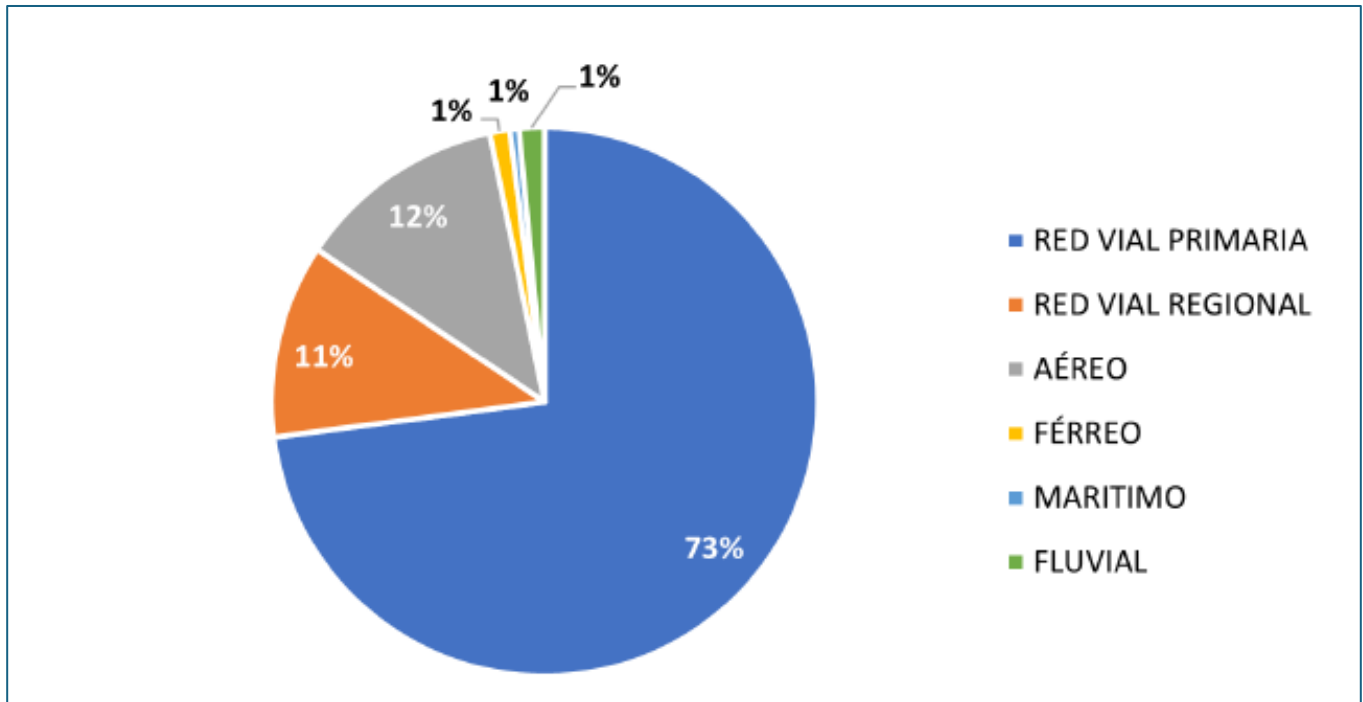


Ilustración 2, Inversión por tipo de infraestructura en 2024, [15]

En esta investigación también se realizó un barrido de las leyes, decretos y resoluciones que tuvieran injerencia o que afectaran al sector del transporte ferroviario en Colombia y se realizó la siguiente tabla donde se realiza una descripción del objeto de la misma y así podamos ver como esta el estado de las mismas y con ello ver que hace falta por regular

Tabla 1 Leyes, Decretos y Resoluciones para el transporte ferroviario

Leyes, decretos y resoluciones
Ley 336 de 1996 ⁵ , ley en la cual se toma el estatuto para el transporte

⁵ Ley 336 de 1996, “La presente ley tiene por objeto unificar los principios y los criterios que servirán de fundamento para la regulación y reglamentación del Transporte Público Aéreo, Marítimo, Fluvial, Férreo, Masivo, Terrestre y su operación en el Territorio Nacional, de conformidad con la Ley 105 de 1993, y con las normas que la modifiquen o sustituyan”

<u>Ley 310 de 1996</u> ⁶ , Realiza la modificación de la ley 86 de 1989 y otras adecuaciones
<u>Ley 105 de 1993</u> ⁷ .Ley en la cual se dan varias disposiciones respecto al transporte y realiza la reglamentación del mismo
<u>Ley 86 de 1989</u> ⁸ .Ley en la cual se generan normas para el servicio público en los transportes masivos
<u>Ley 21 de 1988</u> ⁹ ,Ley en la cual se plantea la recuperación del servicio público del sector férreo
<u>Ley 146 de 1963</u> . ¹⁰ Esta ley da directrices para la construcción de nueva infraestructura férrea
<u>Decreto 1079 de 2015</u> ¹¹ , Decreto en el cual se genera el reglamento único para el sector transporte
<u>Decreto 1008 de 2015</u> . ¹² , Decreto donde se regula reglamenta el Servicio de Transporte Masivo de Pasajeros por medio metro ligero, tren ligero, tranvía y tren- tram”
<u>Decreto 3110 de 1997</u> . ¹³ , Decreto en el cual se dictan reglas para que se pueda prestar el servicio de transporte ferroviario
<u>Decreto 1587 de 1989</u> . ¹⁴ , Decreto en el cual se organiza la operación del sistema ferroviario
<u>Decreto 1075 de 1954</u> . ¹⁵ , Decreto donde se dan unas disposiciones respecto a los ferrocarriles

⁶ Ley 310 de 1996, “decreta que el área de influencia de un Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de Pasajeros, estará comprendida por las áreas urbanas, suburbanas y por los municipios a los cuales el sistema sirve de interconexión directa o indirecta.”

⁷ Ley 105 de 1993, “por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones.”

⁸ Ley 86 de 1989, “por la cual se dictan normas sobre sistemas de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros y se proveen recursos para su financiamiento.”

⁹ Ley 21 de 1988, “Por la cual se adopta el programa de recuperación del servicio público de transporte ferroviario nacional, se provee a su financiación y se dictan otras disposiciones”

¹⁰ Ley 146 de 1963, “Por la cual se ordena a la Nación, Departamentos y Ferrocarriles Nacionales, la construcción de unas obras, y se reglamenta la futura construcción de carreteras y líneas férreas.”

¹¹ Decreto 1079 de 2015, “por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte”

¹² Decreto 1008 de 2015, “Por el cual se reglamenta el Servicio de Transporte Público Masivo de Pasajeros por metro ligero, tren ligero, tranvía y tren- tram”

¹³ Decreto 3110 de 1997, “por el cual se reglamenta la habilitación y prestación del servicio público de transporte ferroviario.”

¹⁴ Decreto 1587 de 1989, “Por el cual se dictan normas generales para la organización y operación del sistema de transporte público ferroviario nacional”

¹⁵ Decreto 1075 de 1954, “Por el cual se dictan algunas disposiciones relacionadas con el ramo de Ferrocarriles”

Decreto 2770 de 1953.¹⁶, Decreto en el cual se dictan normas para los anchos de vías públicas

Resolución 6249 de 2017.¹⁷, Resolución en la cual se dictan que condiciones mínimas deben tener los sistemas de metro ligero, tren ligero, tranvía y tren tram”

La tabla 1, Contempla todas las regulaciones que están vigentes y que afectan al transporte ferroviario y cuenta con nombre, fecha de publicación, quien hace la expedición de la misma y una descripción.

Fuente: elaboración propia

Con el rastreo realizado a las leyes, decretos y resoluciones, nos damos cuenta de la falta de reglamentación del sector ferroviario en Colombia y lo cual nos demuestra que se ha abandonado este sector del transporte por parte de los gobiernos y nos urge prontamente que se realicen las regulaciones pertinentes para que este sector pueda avanzar

Las siguientes normativas fueron las buscadas a nivel internacional, que tuvieron una gran importancia para la toma de decisiones en cuanto a la elección de la normativa internacional sobre la cual se generó el desarrollo de este documento.

Manual de Ingeniería Ferroviaria-AREMA[16], en la versión de este manual del año 2010 el cual está traducido al español, el cual contiene las especificaciones, aspectos económicos relacionados, planes, datos y principios propios de la construcción de la infraestructura y los cuales han sido generados por los comités técnicos y aprobados por la junta directiva de la AREMA

Manual de diseño geométrico de vía [17]“ análisis de criterios de diseño geométrico de vía y su aplicación en la infraestructura ferroviaria nacional, manual desarrollado por el Ing. Pablo Agustín Amor como proyecto de grado de especialización de ingeniería ferroviaria en la universidad de Buenos Aires y el cual fue adoptado por las entidades Trenes de argentinos infraestructura, Ferrocarriles argentinos y trenes argentinos capital humano y el cual tiene como base la normativa española UNE-EN 13803:2018

¹⁶ Decreto 2770 de 1953, “Por el cual se fijan normas sobre uniformidad de la anchura de las vías públicas nacionales y sobre seguridad de las mismas “

¹⁷ Resolución 6249 de 2017, “Por la cual se reglamentan las condiciones mínimas que debe tener la infraestructura del sistema de metro ligero, tren ligero, tranvía y tren tram”

Recomendaciones de diseño para proyectos infraestructura ferroviaria [18], este manual desarrollado por el país de Chile, el cual ha tenido como base la normatividad AREMA, en el cual se plantea el uso de varios tipos de trocha (anchos de vías) y en el cual se plantea el uso más general de la trocha ancha y donde en su sección 1 encuentran que el uso de la trocha estándar tiene un beneficio económico, por su menor costo de equipos e implementación, pero mantendrán la trocha ancha en las líneas existentes que ya la tengan implementada

Norma oficial mexicana NOM-003-ARTF-2023, sistema ferroviario-Seguridad-Clasificación y especificaciones de vía [19], esta normativa generada por la agencia reguladora del transporte ferroviario, en la cual se maneja en uso formulas las cuales puedo usar los valores, tanto su versión en milímetros, como el pulgadas, para los distintos cálculos que se realizan para el diseño del trazado de líneas férreas y esto nos ayuda a entender que si es necesario tener una normativa que maneje valores en las unidades que preponderan en el país

Normas y especificaciones para el diseño de vías férreas de él Perú [20], este documento generado por el país de él Perú, el cual fue generado en el año 1978 y que no ha tenido mayor modificación, se plasma que su generación se ha desarrollado con el uso de unidades internacionales y solo contempla dos tipos de trocha estándar y angosta, ya que como en Colombia mucha de su infraestructura férrea fue generada con la trocha angosta pero a diferencia de Colombia si contemplan el uso de las unidades que fueron adoptadas por el país

UNE-EN 13803:2018 [10] esta normativa europea ha sido desarrollada por el comité técnico CTN 25 aplicaciones ferroviarias y la cual es usada en múltiples normativas de diferentes países como base para hacer su adaptación y desarrollo de una normativa propia, siendo los países hispanohablantes los que recurren a ella por su sistema de unidades adoptado y al estar en la misma lengua materna hace que sea mucho más sencillo su adaptación

Norma ADIF-NAP1210 [11], esta es la normativa generada por el ente regulador de los trenes y ferrocarriles para el país de España y contempla todo lo referente a la realización de un trazado de líneas férreas, infraestructura, señalización y demás componentes que intervienen en un corredor vial, y al estudiar esta normativa vemos que la podemos adoptar y adaptar puesto que contempla muchos de detalles referente a la seguridad y confort para los pasajeros que debe ser lo primordial al usar este servicio

Puesto que Colombia mantiene un debate generado por el tipo de trocha a usar, se han realizado muy pocas investigaciones respecto al tema. Las siguientes investigaciones fueron las pocas encontradas en las cuales se hace referencia al tipo de trocha que Colombia debería adoptar y el porqué de la misma

Evaluación de los anchos de trocha para la modernización y estructuración de las vías ferras [8], en este proyecto se realizó una investigación referente a que tipo de trocha se debería adoptar en Colombia para que se pueda modernizar y se plantea que cada proyecto es diferente pero que el gobierno Colombiano deben generar una directriz en cuanto al tipo de trocha que se deba implementar y que para esto se debe tener en cuenta múltiples factores que afectan el uso de ciertos tipos de trocha y se debe buscar una que beneficie a todo el país

Evaluación de los anchos de trocha angosta y estándar como parámetro para la actualización del diseño de líneas férreas para el transporte de mercancías en Colombia[9], lo plasmado en el proyecto de investigación hace referencia al comparativo respecto al tipo de trocha a usar y esto como afecta al tránsito de mercancías por el mismo corredor, teniendo en cuenta que si bien cada trocha tiene sus ventajas, no se debe descartar que la infraestructura que existente que tiene una trocha angosta, saldría mucho más caro llevarla a otro tipo de trocha y esta inversión se podría enfocar en otras partes como el mantenimiento de vías

En nuestra búsqueda sobre los documentos por los cuales podamos sustentar, el porqué de la importancia del transporte férreo como dinamizador de la economía y uno de los puntos a tener en cuenta para convertir un país en más competitivo a nivel internacional, encontramos los siguientes:

Un siglo de economía en Bolivia 1900-2015[21], en este documento se plasmó todo el desarrollo que Bolivia consiguió con el uso del transporte ferroviario y como se pudo volver un país mucho más integrado, ya que el uso de este medio de transporte le permitió conectar zonas que por su ubicación era complicado su llegada y trajo consigo que los costos de los pasajeros bajaran a tal grado que eran 4 veces menores que en vehículo automotor y como en la siguiente imagen fueron escalando a través del siglo XX en su densidad de líneas férreas por cada 1000 habitantes

1900			1930			1950			1980		
1	Argentina	3,62	1	Argentina	3,14	1	Argentina	2,50	1	Argentina	1,24
2	Uruguay	1,77	2	Chile	2,05	2	Chile	1,40	2	Uruguay	1,04
3	Chile	1,47	3	Uruguay	1,55	3	Uruguay	1,34	3	Bolivia	0,66
4	Cuba	1,14	4	Honduras	1,48	4	Honduras	0,87	4	Chile	0,58
5	Costa Rica	1,04	5	Mexico	1,31	5	Bolivia	0,86	5	Cuba	0,53
6	Mexico	0,93	6	Cuba	1,25	6	Mexico	0,84	6	Mexico	0,37
7	Brasil	0,82	7	Costa Rica	1,10	7	Cuba	0,82	7	Brasil	0,25
8	Guatemala	0,64	8	Bolivia	1,04	8	Costa Rica	0,69	8	Paraguay	0,14
9	Peru	0,63	9	Brasil	0,94	9	Brasil	0,68	9	El Salvador	0,13
10	Bolivia	0,61	10	Guatemala	0,59	10	Peru	0,41	10	Colombia	0,13
11	Paraguay	0,47	11	Peru	0,53	11	Guatemala	0,37	11	Ecuador	0,13
12	Nicaragua	0,44	12	Paraguay	0,51	12	Paraguay	0,34	12	Guatemala	0,12
13	Venezuela	0,34	13	Nicaragua	0,39	13	Nicaragua	0,33	13	Peru	0,11
14	Rep. Dominicana	0,29	14	El Salvador	0,35	14	Ecuador	0,31	14	Nicaragua	0,11
15	Panamá	0,27	15	Colombia	0,33	15	Colombia	0,29	15	Rep. Dominicana	0,03
16	Honduras	0,22	16	Ecuador	0,32	16	El Salvador	0,28	16	Venezuela	0,02
17	Colombia	0,14	17	Panamá	0,31	17	Venezuela	0,20	17	Costa Rica	0,00
18	El Salvador	0,12	18	Venezuela	0,31	18	Panamá	0,18	18	Haiti	0,00
19	Haiti	0,03	19	Rep. Dominicana	0,18	19	Rep. Dominicana	0,11	19	Honduras	0,00
20	Ecuador	0,00	20	Haiti	0,09	20	Haiti	0,08	20	Panamá	0,00

Ilustración 3 kilómetros de vías férreas por cada 1000 habitantes en Latinoamérica[21]

Trenes: material rodante del transporte ferroviario[22], en este artículo desarrollado por las universidades tecnológica de Panamá y la universidad politécnica de Madrid, hacen un gran desglose respecto a todos los tipos de vehículos ferroviarios que se deben tener en cuenta y como cada uno de ellos presenta sus ventajas y desventajas según su tipo, esto nos da un panorama respecto a los que Colombia debe generar respecto a la adopción de los tipos de trenes que se usarían en el proceso de reactivación del sector ferroviario

The influence of track design parameters on track geometric quality[23], en el documento publicado, hacen la consigna respecto a los parámetros que se deben manejar en el momento de la realización del trazado de una vía férrea, puesto que estos parámetros están ligados seguridad, confort para los usuarios y economía del sistema, saber cómo se comportan los vehículos y sus movimientos naturales, permite que se realice un trazado en el cual se contemplen estos movimientos y se mantengan los parámetros anteriormente mencionados

Provisión de infraestructura de transporte en América Latina : experiencia reciente y problemas observados[24], en el documento realizado por la CELAC, hacen un estudio con el objetivo de analizar cómo está la situación de infraestructura de transporte en los países de Latinoamérica y sabiendo que el desarrollo de los países va de la mano del estado de esta infraestructura y también nos muestran que muchas veces un impedimento en el desarrollo de la infraestructura está ligada a las normativas y definiciones de cada país

Ferrocarril y sistemas de ciudades e impacto de las redes ferroviarias en el contexto urbano europeo [25], uno de los puntos, sobre los cuales cuando se desarrolla una infraestructura ferroviaria sobre un casco urbano, debe contemplar que si bien las infraestructuras son pensadas a largo plazo y que según sea su topografía este se debe ubicar por la zona menos compleja, las ciudades deben saber cómo adaptarse para ir realizando sus crecimientos y esto nos lleva a que se deben pensar en que los crecimientos de los cascos urbanos no afecten el desarrollo de los proyectos ferroviarios que se generen o que se puedan generar

Energía y trazado ferroviario [26], este documento tiene la premisa en cuanto a que se debe tener un trazado que sea pensado para ayude a los vehículos ferroviarios a parar en las zonas designadas, haciendo que la pendiente en este punto ayude a que la fuerza para frenar estos vehículos sea la menor posible y que no se supere la velocidad máxima del tramo y que todo esto se realice con la seguridad y confort para los usuarios de este medio de transporte

En Colombia se han generado pocas investigaciones respecto al sector ferroviario, pero las pocas que se han realizado han permitido tener un panorama respecto a cómo está el estado del arte al respecto, más que todo viendo que se ha tenido un abandono estatal y se ha impulsado otro sector del transporte, por esto los siguientes artículos contemplan estos panoramas

The Colombian railways: 4 recurring subjects in the literature [27], en este artículo se muestran los cuatro temas más recurrentes que se discuten en Colombia respecto al sector ferroviario, vemos que entre ellos está el tema de administración del estado, que a mi pensar es el más relevante puesto que el sector no funciona si no hay un impulso desde el gobierno, también hace referencia a ciertos elementos que no están bien definidos que debe tener un trazado y que esto conlleva a que los costos varíen, las decisiones que se tomaron en el momento de la generación de los proyectos existentes y como no se pensó a futuro respecto al uso de las líneas

Seguimiento a proyectos de infraestructura-informe dirección técnica para el sistema férreo nacional [28], en el informe desarrollado por la cámara Colombiana de la Infraestructura, se detalla que si bien en Colombia se han realizado inversiones para la rehabilitación de grandes tramos de líneas férreas, mantener la trocha angosta con el que fueron construidos, y más que todo esto hace que el peso de carga de un vagón sea de menos de la mitad respecto a los de trocha estándar, lo que nos hace poco

competitivo a nivel internacional y puesto que si Colombia quiere volverse un país más competitivo internacionalmente, debe hacer un gran esfuerzo e inversión para generar un crecimiento en este sector partiendo de lo que más le convenga al país desde la parte económica

Transporte férreo de carga en Colombia: inversión y beneficios[29], en este artículo se hace referencia a como países han mejorado su competitividad internacional, cuando realizan la mejora de su sistema de transporte y como esto influiría positivamente en Colombia cuando se desarrolle este sector del transporte de carga y haría que los costos de las mercancías bajen y que no se debe esperar a que el sector carretero cumpla con esta función siendo que el uso del transporte férreo es mucho más económico

El problema del desgaste ondulatorio en las vías férreas: la metalurgia de un caso real[30], en el artículo se plasma un caso real donde después de 15 días de instalado un riel, este empieza a presentar desgaste y una gran ondulación, ellos hacen la recomendación que se realice una verificación más a fondo respecto a la calidad de los materiales con los cuales se realiza el riel y proponen una forma de tratarlo in-situ y según como lo interpreto si sería bueno realizar una especificación que permita que estos casos se puedan atender sin la afectación al servicio

Infraestructura de transporte férreo en Colombia: actualidad, problemáticas, políticas y prospectiva [31], en este artículo se hace una reflexión sobre, si se quiere realizar un crecimiento del sector ferroviario se debe hacer el desarrollo de múltiples políticas que den las herramientas suficientes para que se generen nuevos proyectos, es por esto que la importancia de los entes gubernamentales y su tarea de generar políticas empiece prontamente, ya que así se produciría un incremento en el uso de este sector del transporte y por ende de la economía del país

Impacto del transporte internacional en el desarrollo económico de Colombia [32], en este artículo parten de los beneficios que ha tenido Colombia respecto al transporte internacional de su carga y como ha influido en su crecimiento y realiza un análisis en el cual muestra que si Colombia quiere ser un país más competitivo a nivel internacional debe hacer una buena inversión en el sector del transporte de mercancías

Hoja de ruta para la reactivación de corredores férreos en cascos urbanos[33], como lo expresan en este documento en sus conclusiones, si Colombia quiere generar un el crecimiento del sector de transporte

de carga debe tener una sinergia entre los distintos gobiernos, procurando se implemente la Inter institucionalidad y se creen organismos para el control y supervisión de estos proyectos, y para esto también realizar una ampliación en los recursos destinados para este sector del transporte

A nivel de desarrollo de los contratos que se están generando para el sector ferroviario del país, hemos visto que en el último contrato realizado y adjudicado se ha mantenido el ancho de trocha puesto que son líneas existentes

5. DISEÑO METODOLÓGICO O METODOLOGÍA

El enfoque de esta investigación va a ser cuantitativa, puesto que esta va a tener como desarrollo una guía la cual tiene la actualización de las especificaciones para el diseño de vías férreas en Colombia, por lo cual, se hace necesario que se haga una revisión de las normativas vigentes a nivel internacional que sean compatibles con las condiciones geográficas, que se presentan en nuestro país, y que sus especificaciones se puedan adoptar y acoplar a nuestra geografía, que como todos sabemos es bastante escarpada, más que todo porque tenemos el paso de 3 cordilleras, adicional a esto se hace necesario que también las normativas escogidas sean llevadas al sistema de medidas adoptado por nuestro país, el cual está definido por en la ley 33 de 1905 y ratificada por la ley 1480 de 2011. que en el momento las vigentes no cumplen con esta ley.

5.1.ENFOQUE CUANTITATIVO

La metodología tiene el enfoque de desarrollar una guía actualizada de las especificaciones para el diseño de vías férreas, teniendo en cuenta lo anterior vamos a realizar la selección y la adaptación de la normativa internacional que encontremos que se pueda aplicar en Colombia bajo sus condiciones topográficas y geográficas

5.2.FASES

Todas las fases aquí descritas fueron el paso a paso que se siguió como consecuencia del camino recorrido de esta investigación y cubrieron los objetivos de la misma

Fase 1. Compilación de las normativas

En esta fase se buscaron y se verificaron todas las normativas internacionales que son las más usadas en los países latinoamericanos que tiene una infraestructura férrea desarrollada y de las cuales podamos aplicar, viendo que uno de los puntos a tener en cuenta va a ser las condiciones Presentes en Colombia. Tanto desde el punto de vista normativo, como también visto desde el tipo de la trocha a usar, ya que esto afecta en gran medida a los trazados y sus especificaciones

En la búsqueda realizada encontramos que el único manual de diseño de trazado para vías férreas que esta desarrollado enteramente en base a la normativa ADIF es el de argentina[17] y los manuales de

diseño de trazado de vías férreas de México[19] , Chile [18]y Perú [20], han sido basados en varias normativas como DOT-AREMA[16] y ADIF. En la realización de la una búsqueda más intensiva en cada una de las normativas de los países anteriormente nombrados, encontramos que las normativas de estos permiten; que en los caso donde un operador que administra un tramo concesionado, se le permita uso de la normativa internacional de su preferencia, y que en muchos de los casos, estos prefieran tener como base la normativa ADIF y UNE, también se tuvo en cuenta que estas normativas hagan el uso de la trocha estándar puesto que es la trocha que más le conviene a Colombia por su uso masificado y por su ventaja en cuanto a los vehículos ferroviarios que la usan y hacen que su implementación no haga que los costos de construcción de las líneas férreas sean tan altos como en otros casos como consta en [9],[6]

- Fase 2. Clasificación de las especificaciones existentes

Esta fase fue enfocada en la verificación de las especificaciones que se necesiten actualizar teniendo en cuenta el manual férreo de Colombia [4],[5] y se tendrán en cuenta cuáles apartes de este manual no serán objeto de actualización, evaluando cada una en su estructura, especificación y mercado internacional de forma que esta esté al nivel de las normativas técnicas internacionales

Dicho lo anterior encontramos que la parte II de manual [5], no va a ser objeto de modificación, puesto que su eje central está enfocado en el mantenimiento, señalización, diseño de infraestructura y operación de las líneas férreas, en cambio para la parte I del manual[4] se modificaran los artículos desde el artículo 1 hasta el artículo 42 de los capítulos 1 al 2, que hacen referencia al trazado de líneas férreas, el cual es el objeto de esta investigación, las modificaciones de estos artículos anteriormente mencionados se realizaran buscando que la normativa actual cumpla con estándares internacionales

- Fase 3. Adaptación de la normativa internacional según las especificaciones del manual de especificaciones férreas a actualizar

De las fases anteriores tendremos unas especificaciones internacionales que serán contrastadas con las especificaciones nacionales y de ellas vamos a realizar el desarrollo y adaptación de las mismas, que serán la actualización y para en la siguiente fase realizar el entregable

- Fase 4. Compilación y desarrollo del entregable el cual va a ser la nueva actualización del manual de especificaciones férreas

Después de realizadas todas las fases anteriores procederemos a realizar la compilación de las especificaciones adaptadas, generando un entregable que sirva para su consulta y como respuesta a este proyecto de investigación.

También se intentará hacer la entrega a las entidades pertinentes para que pueda ser usado a futuro como consulta u documento preliminar, según la necesidad del mismo.

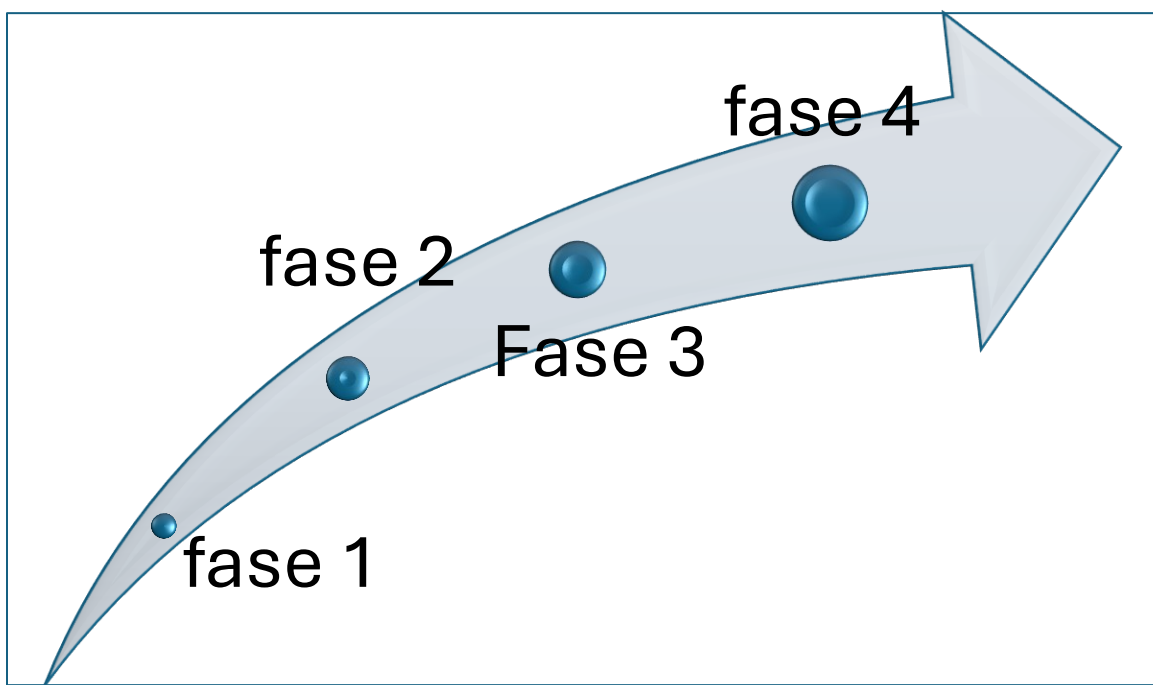


Ilustración 4, Diagrama de fases para el cumplimiento del objetivo de la investigación

6. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación empezamos con la búsqueda de información partiendo de la normativa colombiana que pudiera venir al caso o que tuviera relevancia en el campo de acción de esta, dicho lo anterior nos empezamos con el manual de normatividad férrea de Colombia el cual tiene dos volúmenes de los cuales solo el 1ro será el punto de partida de esta investigación, de ahí pasamos a las normas regulatorias que tienen definido el transporte en general y también su área; como los son las leyes consignadas en la Tabla 1 Leyes, Decretos y Resoluciones para el transporte ferroviario”, adicional a esto tenemos que ver otras leyes y normativas, como la ley 1480 de 2011, que ratifica el decreto 3464 de 1980 , los cuales se establece que el sistema internacional de unidades es adoptado por Colombia. Las políticas públicas CONPES 2517” plan de rehabilitación de la red férrea”, CONPES 2776 “estrategia para la modernización de la red férrea”, plan maestro ferroviario, plan maestro de transporte intermodal, los cuales nos dan una directriz a nivel nacional de cómo se deben ir encaminando las políticas de acuerdo a estos planes y todo esto se realizó para tener el panorama completo de cómo está la normatividad a nivel nacional y entender las falencias que se tienen.

Luego se empezó con una búsqueda sistemática de normativas de los países de habla hispana con las industrias de transporte ferroviario más robustas y que su normativa se encuentren al mismo nivel de las normativas internacionales y en la búsqueda se encontró que los países como argentina, chile y México son los que tienen las normativas más completas en el sector ferroviario y solamente argentina usan el sistema internacional de unidades y los demás contemplan un uso mixto de unidades, al detallarlas a fondo se encontró que estas parten de la misma norma internacional la cuales son AREMA UNE,ADIF y por todo lo anteriormente descrito se tomó la decisión de usar estas normativas ADIF y UNE para la realización de la guía actualizada partiendo desde el manual de vías férreas de Colombia, ya que contemplan el uso de la trocha estándar y permiten que se adapte a nuestras normativas más fácilmente puesto que no se tendrán errores de traducción e interpretación

7. RESULTADOS

En el desarrollo de la investigación revisamos los artículos 1 al 42 del manual de normatividad férrea [4], ya que hacen referencia al trazado y el cual es el objeto de esta investigación. Donde se realizó la modificación teniendo en cuenta la normativa UNE-EN-13803-2018 [10] y ADIF-NAP12-1.0[11], y se generó el siguiente contenido que está basado en las normativas anteriormente descritas

Como se desarrolló un guía, esta debe tener un orden respecto al tema desarrollado

7.1.ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA VIAS FERREAS

7.1.1. Objeto

Estas especificaciones tienen por objeto definir y guiar al ingeniero y/o diseñador durante el desarrollo de diseño del trazado de las vías ferroviarias, superestructura y dimensionamiento de las secciones del trazado. Permitiendo que cumplan estándares de confort y seguridad

7.2.Términos y definiciones

Se realiza la definición de una cantidad de términos que son recurrentes en el texto de la guía

Diseño nuevo: hace referencia a un trazado que se realiza donde no había uno.

Cambios en el trazado: se genera cuando teniendo un trazado existente, se realiza una nuevo

Rehabilitación: se entenderá como rehabilitación o mejora de alguna parte de la infraestructura

Renovación de vía: sustitución de parte o tramo de una línea, sin que afecten al rendimiento global del tramo.

Ancho nominal de vía: ancho de vía pero que en muchos casos puede ser diferir del ancho diseño.

Ancho de vía entre ejes de rodadura: se considera como la distancia que resulta de la suma del ancho de vía nominal y 65 mm

Apartadero: zona en la cual se realiza la subida y bajada de los usuarios de los trenes y solo necesita de un andén en el tramo recto de la línea para esto

Clotoide: curva de transición en planta utilizada por defecto en el trazado, que se caracteriza por un gradiente constante de curvatura respecto al avance.

Entreeje: se considera como la distancia que se tiene entre dos vías contiguas, medidas desde el eje

Entrevía: ese determina como la distancia medida desde el borde de cada vía que sean adyacentes

Estación: Zona en la cual se pueden realizar adelantamientos y cruces de los trenes, así como la parada para el uso de los usuarios de la vía. Esta debe encontrarse bien definida y señalizada

Pendiente: se define como la diferencia de cotas entre el punto a y el punto b, donde esta resulta ser negativa.

Peralte: se considera como la sobreelevación que tiene un costado de la vía, la cual sirve para contrarrestar la fuerza centrífuga de los vehículos que la usan

Peralte de equilibrio: se determina como el peralte que debe tener la vía para que se presente una fuerza centrífuga calculada cuando se transite a cierta velocidad

Plena vía: sección o tramo de vía en la cual no se presenta ningún tipo de instalación de elementos

Rampa: declividad con signo positivo al tomar una rasante en sentido de incremento de cotas.

Rasante: declividad en el trazado, independientemente de su signo.

Velocidad de la línea: es la velocidad con la cual se ha diseñado la línea y es considerada como la máxima que se puede presentar

Velocidad máxima en un tramo: diferente a la velocidad de la línea, esta velocidad se determina según el tramo y cuando se circula por ella no se puede sobrepasar

Vía de apartado: vía en la cual se pueden realizar maniobras y demás operaciones necesarias

Vía desviada: lugar en el cual se puede realizar un desvío de la vía principal.

7.3.Generalidades de los trazados de vías férreas

Todo nuevo proyecto debe contemplar los siguiente:

- Cuáles son los factores que intervienen en el diseño de un trazado
 - Velocidad del proyecto.
 - Criterios de seguridad
 - Terreno por el que pasa el trazado.
 - Tipo de línea: mercancías, pasajeros o mixto.
 - Gálibos de los distintos elementos

Como también se debe tener en cuenta al momento de la realización del trazado estos conceptos que son propios y se deben garantizar en todos los casos

Seguridad: Asegurar que los trenes puedan circular de manera segura, sin riesgos de descarrilamiento, vuelco o colisiones.

Confort: Garantizar un viaje confortable para los pasajeros, minimizando las aceleraciones laterales y verticales bruscas.

Operatividad y Eficiencia: Permitir que los trenes operen a las velocidades de diseño, minimizando los costos y optimizando la capacidad de la línea.

Economía: Buscar la solución más económica en términos de construcción, sin que se tenga que comprometer la seguridad y la operatividad.

Impacto Ambiental y Social: Minimizar la afectación al medio ambiente y a las comunidades, integrando el trazado de manera sostenible.

7.3.1. Parámetros de trazado

Importante previo a la realización de cualquier trazado, se debe tener un modelo tridimensional con el cual se pueda plasmar el eje de la línea ferroviaria sobre el terreno existente y este debe contener tanto su perfil en planta como su perfil longitudinal y su modelo tridimensional, todo esto debe estar debidamente acotado para que sea más fácil su interacción con el mismo.

Cuando se realice el trazado de la línea nueva se debe hacer una comprobación de las alineaciones y rasante de los segmentos que conformen la misma y los cuales se presenten dentro de los valores admisibles y buscando que se diagrame las velocidades para así obtener la que será la velocidad máxima del tramo o segmento y con esto también hacer la transición de entre los cambios de velocidades se haga de manera adecuada y cómoda.

7.3.1.1.Eje de trazado en planta

Este se compone de los siguientes elementos

- Recta
- Curva circular
- Curva de transición

(Nota: En los proyectos de trazados de líneas férreas se debe considerar la clotoide como curva de transición)

7.3.1.2.Eje de trazado perfil longitudinal

El perfil longitudinal debe tener definido las cotas entre los diferentes puntos de referencia del eje de trazado, este se compone de los siguientes tipos de rasante.

- Rasante uniforme (Presenta una inclinación constante).
- Curva vertical (Presenta un cambio progresivo de inclinación donde podemos identificar la parábola de segundo grado en el eje del sentido vertical)

7.3.1.3.Eje para el trazado de la sección Transversal

Para la ubicación del eje de trazado de la sección transversal, se debe tener en cuenta la cantidad de vías, la trocha de la vía, el Entreeje (cuando sea una vía doble) y el peralte. según esto se adoptarán los siguientes criterios:

- Vía única

Desde la vista en planta, la ubicación que debe tener eje de trazado debe coincidir con el eje de la vía.

En la vista en alzado, la cota del eje de trazado debe ser la misma que la cota del hilo más bajo.

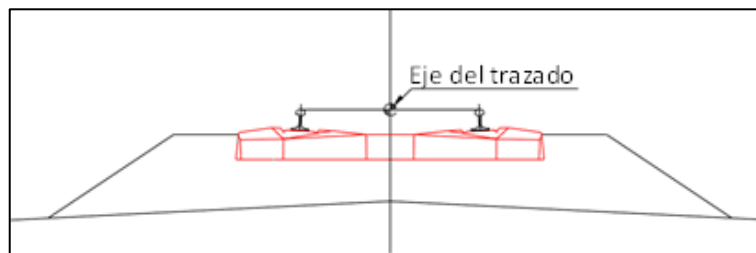


Ilustración 5, Diagrama de vía Única[11]

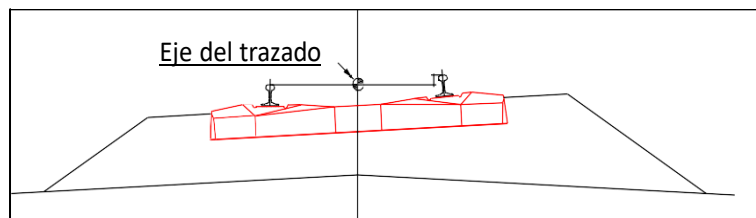


Ilustración 6, Diagrama de vía única con peralte[11]

- Vía doble

Para definir el eje del trazado para dos vías, se tendrá que:

Para la vista de planta, el eje para el trazado será el eje intermedio que se ubique entre dos vías

Para la vista de alzado, las cotas de hilo más bajas para ambas vías deben coincidir con la cota del eje del trazado

(Nota: en algunos de los túneles que tienen placa, muchas veces no coinciden las cotas de hilo bajo).

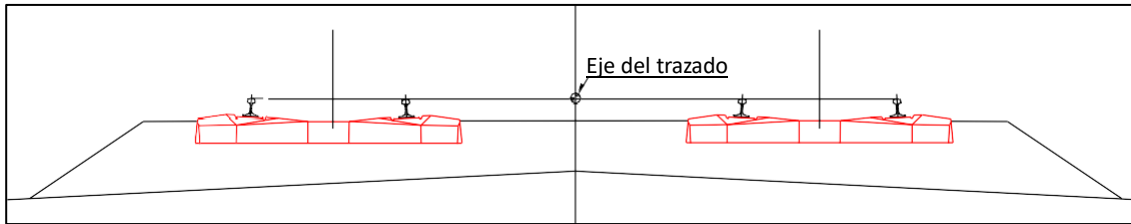


Ilustración 7, diagrama de vía doble, [11]



Ilustración 8, diagrama de vía doble con peralte, [11]

- En los casos en cuales no se pueda o no sea viable definir una vía con doble carril que tenga un único eje, se definirá un eje independiente para cada vía.
- En las vías de apartado para las estaciones o los apartaderos se debe realizar una independencia de eje para cada una de las líneas.
- En vías multicarril se definirá como si la vía fuera de un único ancho, y se trabajara con el mayor ancho permitido

7.3.1.4. Esquema para trazado de vías

En cualquier proyecto que se realice, se deberá incluir un esquema de la línea, el cual debe tener lo siguiente:

- Para cada eje un nombre que lo identifique.
- Punto de referencia en donde se indique cual es el punto inicial y final de la línea y según como aplique unos puntos intermedios según su necesidad
- Una debida identificación de las estaciones, apartaderos y demás elementos que sean propios del trazado y su infraestructura
- Ubicación y determinación de los desvíos del proyecto
- definición de cuál será el Sentido de circulación en cada eje.

- Cuál será la Velocidad máxima que tendrá cada uno de los ejes

Cuando se tengan vías que tengan un origen o un fin en la vía desviada, el eje del trazado de la vía, tendrá que incluir un aparte que corresponda al desvío desde la intersección, el cual contenga el trazado de la vía desviada (con todos sus elementos), para que el trazado sea analizado de una manera integral y los puntos de referencia del eje sean completos.

7.3.1.5. Cuáles son los criterios de utilización en cuanto a los valores límite

Según la situación que se presente al momento de definir el trazado se debe tener en cuenta que valores límites se aplican en el proyecto según las condiciones del trazado y lo buscado con el mismo

- Valores límites de referencia: son los cuales se usan en un nuevo trazado, cuando no hay condicionantes que lo impidan y se necesite usar valores límite normales o excepcionales
- Valores límites normales: son aquellos valores en donde se necesita una justificación u razón que motiven al uso del mismo y en caso de ser superados se sugiere tomar los datos excepcionales

7.4. Metodología para el diseño

Cuando se realice un trazado para una nueva línea nueva o para una línea existente, se debe tener en cuenta que, al presentar el trazado se debe ser específico por el tipo de intervención que se va a realizar, definiendo si será nuevo diseño, rehabilitación o adecuación y si se afectara significativamente el trazado existente y en todo caso esto debe estar acompañado de su debida justificación

7.4.1. Esquema de explotación

Inicialmente previo a la realización del estudio del trazado, se debe desarrollar el estudio de explotación. Y en este contemplara como será su uso, velocidad, en caso de que sea una línea existente como serán los cambios o modificaciones que se tendrán, importante al comenzar este estudio se debe partir desde el análisis de la demanda prevista en el cual se deberá definir cuáles serán las especificaciones que tendrá la línea a proyectar, como lo son:

- Tipo de tráfico que usaran la línea (si será para uso de viajeros, tráfico mixto, tráfico de carga y en el caso donde se pretenda intervenir una línea nueva como se verá afectado este tráfico y si se prevé un incremento en la circulación por la línea

- Cuál será la velocidad que se tendrá para circular (cual será la Velocidad mínima permitida, velocidad máxima para la línea)
- Vías generales (si será tramo de vía doble o única, o si debe ser multicarril)
- cuando se tengan locomotoras eléctricas realizar un análisis para obtener la ubicación de un tercer hilo
- La trocha a usar y según sea el caso la posición de los cambiadores de ancho
- Como se tendrá definido cada Entreeje, independiente que sea una vía general o una reducción
- Para líneas con tráfico de mercancías, que rampa característica admisible se tendrá o tiene según si es una vía existente.
- Tipo de vía: se tendrá una justificación técnica en la cual se especificará y se tendrá en cuenta todo lo referente a el tipo de vía, ya que esta dependerá su trazado
- Configuración para estaciones (tanto nuevas como existente, ubicación, como será sus accesos, como se comportará el tráfico que use esta línea, configuración de la vía y de sus como serán sus andenes y cuál será su volumen de trafico
- Configuración de apartaderos (ubicación, longitud útil, velocidad de entrada al apartadero)
- Configuración de puestos de banalización o cambio de sentido
- Configuración de bifurcaciones (si es necesaria y como se realizaría la misma dependiendo de la velocidad, de circulación y el tráfico)
- Configuración de vías en donde se realice un cambio de trocha.
- Como será el sistema de electrificación
- Sistema de señalización
- Como será su puesta en servicio de la línea.

Todos estos elementos serán tenidos en cuenta al inicio de la realización de este estudio sin importar si es un línea nueva o existente, pero a medida que se desarrolle el proyecto esta podrá ser modificada

7.4.2. Elementos condicionales del trazado

Cuando se realice el nuevo trazado se deberá tener en cuenta que los siguientes elementos pueden afectar el mismo y por ende modificar el trazado:

- Edificaciones y vías
- Zonas protegidas por ser espacios naturales protegidos, de uso de poblaciones indígenas y zonas de importancia ambiental alta.
- Bienes de que sean de interés cultural.
- Zonas de interés arqueológico.
- Zonas de planeamiento y expansión urbanística.
- Cauces que afecten el trazado
- Zonas en las cuales se presenten afectaciones de índole geológico-geotécnicos.
- Elementos que por su condición y ubicación se tenga que realizar una modificación al trazado

7.4.3. Trazado

El punto más importante al momento de hacer la definición del trazado de la línea, será la velocidad máxima que tendrá la misma, aunque en algunos puntos no se podrá hacer la circulación a la velocidad máxima definida por situaciones que condicionen al trazado que pueden ser de origen de ubicación, seguridad, operación entre otros, y para estos casos se tiene que tramificar el trazado para que se puedan tener tramos con velocidades máximas inferiores al del trazado.

Cuando empecemos a evaluar los elementos que condicionan al trazado, se iniciara primero por su eje en planta donde ya definida la velocidad máxima podremos buscar en su respectiva tabla el radio mínimo que debe tener la alineación y de paso tendremos en cuenta los valores límite de peralte e insuficiencia del peralte

Importante al momento de trazar las curvas, usar un valor radio que este por encima al valor mínimo definido por tabla, siempre y cuando no signifique un aumento considerable en los costos.

En los casos donde se tenga una línea existente el radio mínimo de la curva deberá ser el mismo del que tiene el trazado existente

Para los casos en donde el trazado nuevo no permita usar un radio de curvatura superior al mínimo y nos tengamos que apegar estrictamente a este valor, se debe uniformizar estos valores para que no se tengan unos cambios bruscos en la velocidad y esto aplica para los tramos donde se tengan variantes

Para la longitud de transición se deberá cumplir con los siguientes parámetros, partiendo del radio, velocidad máxima definida para el trayecto y el peralte

- diferencia del peralte con respecto al tiempo.
- Diferencia del peralte respecto a la longitud (rampa de peralte).
- Diferencia de la aceleración por insuficiencia de peralte con respecto al tiempo

En los casos donde no se pueda cumplir la longitud mínima respecto con las rampas máximas y las pendientes mínimas se tendrá que realizar hacer una justificación técnica en la cual se realice una rectificación del trazado para que se pueda ajustar a las plataformas existentes y qué condiciones se presentan y como afectan al trazado

Luego de definido el eje en planta pasamos a definir la rasante para su perfil vertical y los cuales, debemos tener en cuenta cuales pueden ser los valores límite que tengan las pendientes, la aceleración en las curvas que sean verticales y la longitud mínima que deba tener la curva vertical

Para definir la rasante del trazado debemos tener la mayor información posible sobre el terreno, la cual debe estar actualizada, en los casos donde el trazado se realice sobre uno existente se debe realizar la verificación de los valores que son límite para la rampa característica inicial, la aceleración para las curvas verticales y la longitud mínima para las curvas verticales

Luego de finalizado el trazado se debe verificar cada uno de los elementos y situaciones que hayan modificado el trazado buscando que el trazado sea lo más viable posible, puesto que debe tener menor cantidad de movimiento de tierras y uso de obras como puentes, túneles o muros, solo los necesarios ya que por situaciones complejas (orografía) sean la única solución

7.4.4. Estudio para las velocidades de operación

Se debe realizar un estudio de velocidades de operación para la línea, que tendrá en cuenta múltiples variables como: tiempo de viaje, efecto de la velocidad en las rampas, capacidad de carga máxima que se pueda transportar y consumo de energía (buscar el menor posible)

Este debe contener los siguientes capítulos

- Itinerarios de operación y como será su velocidad
- Cuadro de velocidades máximas
- Diagrama de velocidades para el tren más representativo que use la línea
- Para los trenes más lento un Diagrama que contenga las velocidades de todos aquellos que usen la vía
- Ajuste al trazado
- Condiciones de operación de la línea

Este estudio deberá ser muy específico y debe responder a las interrogantes que representen una variación en la velocidad del trazado

7.5. Trocha (Ancho de Vía)

La trocha es un elemento del trazado el cual cumple con la función de mantener una operación de los vehículos que usen la línea de manera segura y confortable, ya que esta afecta múltiples factores en el diseño de las vías férreas

Trocha para líneas férreas ordinarias existentes en Colombia son:

Tabla 2, Dimensión de la Trocha [11]

Trocha	Ancho de vía Nominal
Estrecho	914.4
Estándar	1435

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0,[11]

La trocha para líneas nuevas que se desarrollen como parte de la Red Férrea Nacional, serán diseñadas y construidas en trocha estándar de 1.435 mm y solo se tendrá en cuenta la trocha estrecha donde, según la decisión técnica se determine que no es posible la utilización de la trocha estándar, en el caso donde se requiera usar otro tipo de trocha se debe justificar técnicamente el porqué de su utilización.

7.5.1. Trocha en curvas de Radio reducido

En los casos donde para permitir el debido paso de los vehículos ferroviarios en una curva, se debe disponer de un sobreaño, para la aplicación de este se realizará sobre la línea interior para no afectar la geometría del eje de la vía y tampoco la línea exterior

Ecuación 1, Sobreaño[11]

$$R.Eje = R.Exterior - ancho\ nominal$$

En los casos donde se tiene múltiples vías, las cuales comparten una de sus líneas, ya sea exterior o interior, el sobreaño solo afectara a la línea compartida, nunca al eje y a la línea no compartida, sumado a lo anterior se debe también contar con una transición entre los tramos anterior, posterior y curva con sobreaño

Siendo así para las curvas se deben tener unos anchos de vía según el radio, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3, Ancho según el Radio [11]

Radio (m)	Trocha (mm)
$R \geq 250$	1.435 mm
$250 \geq R \geq 200$	1.435 mm
$200 \geq R \geq 150$	1.440 mm

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Nota: el valor que aparece en la tabla anterior es el mínimo y el cual se podrá incrementar hasta en 5 mm toda vez que se presenten las condiciones para el mismo, en el caso de los desvíos que presenten curvas con Radio inferior a 250 m el sobreaño a aplicar es de 10 mm, [34]

Se debe tener en cuenta que, para Radios inferiores a 150 m, se debe realizar un estudio que permita tener curvas con estos radios sin que afecten la transitabilidad de los vehículos ferroviarios y el confort al realizar el paso de la misma.

7.5.2. Distancia entre círculos de rodadura

Esta se obtiene realizándole la suma de 65mm al ancho de vía nominal de la trocha estándar y para la trocha angosta de 55mm

Tabla 4, Distancia entre los círculos de rodadura[11], [34]

Ancho nominal (mm)	Distancia entre círculos de rodadura
1.435 mm	1.500 mm
914 mm	970 mm

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Esto se usará para distintos cálculos para ciertos parámetros del trazado

7.5.3. Entreeje

La distancia entre ejes garantiza que la circulación de los vehículos ferroviarios se haga con seguridad, así sea en tráfico mixto, esta distancia elimina la posibilidad de que los vehículos en su operación se pueda reducir la interferencia aerodinámica entre los trenes que converjan en mismo sector o que se crucen

Se deben tener algunas consideraciones al momento de la realización del trazado, puesto que se deben cumplir los requerimientos de los gálibos exigibles, para esto en la siguiente tabla se muestran valores coherentes respecto a los valores límites aplicables

Tabla 5, Valores límite para distancias entre eje (mm)[11]

Valores límite para distancias entre eje (mm)			
Velocidad (km/h)	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
$0 < V < 120$	4.000	3.808	Nota (*)
$120 < V < 160$	4.000	3.808	3.808
$160 < V < 200$	4.000	4.000	3.808

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Nota (*)- en este caso debemos acudir al aparte 3.11.5.1 de la IFG[11], el cual se debe justificar su uso técnicamente.

A tener en cuenta que en casos donde la velocidad de operación sea más alta a las estipuladas anteriormente, se deberá buscar medidas adicionales para que la circulación sea realice de manera

segura y se garantice la operación y no se presenten problemas con los empujes laterales debidos a los fuertes vientos u otros efectos que afecten el vehículo ferroviario

En los casos de los apartaderos y vías generales se aplicará los valores de las tablas anteriores y en los puntos donde nos encontremos con apartaderos con vías muertas o de maniobras se realizará teniendo en cuenta la distancia entre eje de valor limite excepcional puesto que la velocidad de la via general será la que prevalece respecto a la vía muerta o la vía de maniobras

En los casos donde las vías tengan un peralte diferente en cada una, se debe verificar la distancia entre eje límite para estos puntos, en casos donde los aparatos de via dan acceso a otras vias se tendrá en cuenta el galibo y según aplique se deberá realizar un incremento a una distancia de entre eje superior

7.6.Peralte

Tiene como fin prevenir el vuelco del material rodante o de los vehículos ferroviarios, además de ser un criterio de confort para los usuarios y el para resistir la fuerza centrífuga y la fuerza del aire ejercida sobre ellos, el peralte será expresado en mm y podrá ser medido de manera horizontal con respecto a la rodadura del tramo en %

El peralte puede ser incrementado o reducido en una distancia determinada ya sea un tramo o distancia determinada de manera progresiva, antes, durante y después, para que no se presenten problemas u afectaciones en la operación segura en los tramos de vía.

7.6.1. Peralte en plena Vía

En el caso de los valores límite para los peraltes en los proyectos, se regirán por la siguiente tabla

Tabla 6, Peralte (mm)[11]

Peralte (mm)			
Tipo de Trocha	Valor de Referencia	Valor Normal	Valor Excepcional
Estándar	140	160	180

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Para que se pueda usar el valor excepcional, se debe tener en cuenta que ser debidamente justificado técnicamente, ya que para que este aplique se deben presentar unas condiciones que bajo los parámetros de los valores normales no puedan satisfacer.

A tener en cuenta, un debido mantenimiento de la línea permitirá que los peraltes implantados en el trazado se mantengan y no afecten la operación de los vehículos férreos o material rodante que usen el tramo en cuestión

Importante que se haya definido el tipo de galibo nominal para la implantación de objetos, el cual se va a manejar en el tramo ya que este puede afectar el peralte, por ende, se debe justificar técnicamente en el caso particular como va a ser este y que medidas se van a tomar para que no afecte el funcionamiento de la operación de la línea.

Cuando se tengan alineaciones circulares, los peraltes estarán limitados, cuando el radio sea inferior a 320 m, el valor que se tome para el peralte máximo excepcional será definido por la siguiente expresión.

Ecuación 2, Peralte, [11]

$$P \leq \frac{R - 50}{1,5}$$

Siendo:

Tabla 7, Definiciones de variables para ecuacion de peralte, [11]

Variable	Definición	Unidad
P	Peralte	mm
R	Radio de curvatura	m

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En los casos donde se deba exceder el peralte máximo excepcional, se debe demostrar técnicamente y se debe indicar que medidas se van a implementar para mantener la seguridad y el confort.

7.6.2. Peraltes en aparatos de vía

Se debe evitar la instalación de aparatos de vía en líneas las cuales presenten peralte, en el caso de los desvíos estos no pueden tener desvíos peraltados si estos están en curvas de transición, para las curvas circulares solo será permitido siempre y cuando sea justificado técnicamente, en los casos donde se tenga que aplicar un peralte nos guiaremos por la siguiente tabla.

Tabla 8, Peralte en aparatos de vía (expresado en mm)[11], [34]

Peralte en aparatos de vía (expresado en mm)				
Trocha	Referencia	Normal	Excepcional	
			Desvíos convergentes	Desvíos divergentes
Estándar	0	100	140	115

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

7.6.3. Peralte en andenes

En el caso de los trazados donde sean adyacentes los andenes, como en paraderos, el peralte sera nulo, así mismo como en zonas donde también se realice la operación de tren de cercanías, pero en el caso de vías junto a andenes, este debe tener un peralte según la siguiente tabla

Tabla 9, Peralte en vías de Anden (Expresado en mm)[11], [34]

Peralte en vías de anden (Expresado en mm)			
Trocha	Referencia	Normal	Excepcional
Estándar	0	60	110

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

7.6.4. Insuficiencia del peralte

En cuanto a la aceleración no compensada en plano de vía, la cual es una medida de la fuerza lateral no compensada que sienten los usuarios del tren al pasar por una curva con una velocidad superior a velocidad permitida para el peralte existente, en estos casos se debe mantener una velocidad que este dentro del límite para que su paso por este punto se haga de manera segura y confortable, esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3, insuficiencia del peralte, [11]

$$a_i = \frac{v^2}{12,96 * R} - g \frac{P}{e}$$

Tabla 10, Definición de variables de la ecuación 3[11], [34]

Variable	Definición	Unidad
a_i	Aceleración no compensada	m/s ²
v	Velocidad	Km/h
P	Peralte	mm
R	Radio de la alineación circular	m
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
e	Distancia entre círculos de rodadura	mm

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

El peralte al que la aceleración no compensada es nula se considera como peralte de equilibrio y el cual se calcula mediante la siguiente ecuación

Ecuación 4, peralte en equilibrio, [11]

$$P_{eq} = q_e \frac{v^2}{R}$$

Tabla 11, Definición de variables para la ecuación de peralte en equilibrio, [11]

Variable	Definición	Unidad
P_{eq}	Peralte en equilibrio	mm
R	Radio de la alineación circular	m
v	Velocidad	Km/h
q_e	Coefficiente del peralte en equilibrio	mm.m.h ² /km ²

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

De acuerdo a la normativa UNE-EN-13803 el valor para el coeficiente del peralte en equilibrio para trocha estándar es igual a 11.8

La insuficiencia del peralte se conoce como la diferencia entre el peralte real y el peralte de equilibrio y esta tiene como variable (I) y cuando es un exceso se representa con (E) y está determinada con estas ecuaciones, [34]

Ecuación 5, relación de la insuficiencia del peralte respecto a la diferencia de peralte real y equilibrado, [11]

$$a_i = g \frac{I}{e}$$

Esta relación queda de la siguiente forma:

Ecuación 6, Peralte equivalente, [11]

$$P_{eq} = P + I = q_e \frac{v^2}{R} \quad \text{ó} \quad I = P_{eq} - P = q_e \frac{v^2}{R} - P$$

La norma UNE-EN-13803 propone unos valores por motivos de confortabilidad para que los usuarios de los trenes no perciban la aceleración y no se tenga una pérdida al andar dentro del tren, ya que se tiene el valor de 0.65 m/s² como el más aceptado para la aceleración no compensada, el cual representa 1/15 de la gravedad, en la siguiente tabla podemos ver estos valores, los cuales para tener menos necesidades de mantenimiento y el confort de los usuarios no se vea afectado

Tabla 12, Aceleración por insuficiencia de peralte en plano de vía para trocha estándar (m/s²)[11]

Aceleración por insuficiencia de peralte en plano de vía para trocha estándar (m/s ²)			
Velocidad	Referencia	Normal	Excepcional
0 < v < 230	0.65	1.00	1.00

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Cuando no se ha definido los límites para el tipo de tren, tendríamos para la trocha estándar la siguiente tabla

Tabla 13, Insuficiencia para la trocha estándar (mm)[11]

Insuficiencia para la trocha estándar (mm)			
Velocidad	Referencia	Normal	Excepcional
$0 < v < 230$	100	153	153

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Los valores límites que se tienen para la insuficiencia de peralte son definidos en la siguiente tabla y se especifica según su tipo de tren

Tabla 14, Límites para la insuficiencia de peralte para los tipos de trenes[11]

Límites para la insuficiencia de peralte para trenes no pendulares		
Velocidad (km/h)	Normales	Excepcionales
$0 < v < 220$	153 mm	180 mm
Límites para la insuficiencia de peralte para trenes pendulares		
Velocidad	Normales	Excepcionales
$80 < v < 260$	275 mm	300 mm

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Se aclara que cada tipo de tren debe tener su rango de operación con insuficiencia de peralte y por ende este debe estar certificado para el mismo y en los casos donde tenga el tren valores más elevados en cuanto a la insuficiencia de peralte, el mismo debe contar con sistemas que compensen este valor y permitan su operación de manera segura y manteniendo el confort para los usuarios

Se debe justificar técnicamente los valores que resulten en ser máximos para la insuficiencia de peralte (mm) para cada tipo de tren, ya que no se cuenta con un listado de tipos de trenes homologados

7.6.5. Aceleración por exceso de peralte

Esta ocurre cuando la velocidad es más baja que la velocidad de equilibrio para el peralte existente, para que la fuerza centrífuga no lleven a los pasajeros para el interior de la curva, mantener una aceleración en estos casos evitara que se produzcan mayores desgastes en los rieles o causar un vuelco, dicho lo anterior se debe definir o calcular la velocidad mínima de circulación para los diferentes trenes

que transitan, importante no sobreestimar esta velocidad mínima puesto que esto conllevaría a un exceso de peralte real y estaría por encima del exceso de peralte calculado

7.6.5.1. Velocidad mínima de referencia para trenes de carga

Para los trenes de circulación más lenta, que son en su mayoría de carga, es importante saber que nunca deben exceder los 100 km/h,

Para la aceleración por exceso de peralte tenemos los siguiente limites

Tabla 15, Aceleración por exceso de peralte dada en m/s^2 [11]

Aceleración por exceso de peralte dada en m/s^2		
Referencia	Normal	Excepcional
0,59	0,65	0,78

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Para la trocha estándar tenemos la siguiente tabla para el exceso de peralte el cual está definido en mm

Tabla 16, Exceso de peralte [11]

Exceso de Peralte		
Referencia	Normal	Excepcional
90	100	120

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

A tener en cuenta, en el caso donde el tráfico que circule por una línea sea en su mayoría de pasajeros se podrán tomar los valores normales como valores de referencia

7.6.6. Peralte practico y radio mínimo en función de la velocidad

Teniendo en cuenta que los aspectos que determinan que valor de peralte se tendrá para cada curva van dependiendo de lo siguiente

- Tipo de línea

- Tipo de tráfico y reparto por tipos de trenes
- Predominio de un tipo sobre otros
- Perfil de la línea
- Señales con frecuente aspecto de parada o anuncio, que obliguen a baja velocidad
- Calidad de los vehículos ferroviarios
- Peso distribuido en cada eje
- Mantenimiento de la vía

Es por esto que cada peralte que se calcule debe ser equilibrado para que este equilibre las cargas que recaen sobre cada eje, se genere un desgaste uniforme sobre los hilos de las líneas y con que frecuencia circulan los diferentes tipos de trenes

7.6.7. Cálculo del peralte teórico

Este cálculo se realiza para encontrar el peralte máximo, como también el radio mínimo, donde se presentan en la misma línea dos diferentes velocidades de circulación debido al tipo de tráfico que hacen uso de la misma, en el caso donde se tengan múltiples tipos de velocidades de circulación se buscara los valores de peralte menor y radio mayor y si es el caso realizar una iteración con cada uno de los valores teniendo en cuenta el tráfico lento con el tráfico rápido

Iniciamos con la velocidad máxima y mínima y aceleraciones tanto por exceso como insuficiencia de peralte admitido y con estos datos buscamos el radio mínimo para cada una de las condiciones y así encontrar el radio mínimo teórico que sea capaz de satisfacer ambas condiciones.

A tener en cuenta que al calcular el radio mínimo teórico este mismo está ligado a un peralte con decimales el cual no es exacto y por tanto no se ajusta a lo real, pero podemos partir de el para fijar el peralte real y con el poder deducir cada uno de los otros parámetros

Ecuación 7, Radio mínimo, [11]

$$R_{min(teorico)} = q_E * \frac{V_{max}^2 * V_{min}^2}{I_{lim} + E_{lim}}$$

$$P \leq P_{teorico} = q_E * \frac{V_{max}^2}{R_{min(teorico)}} - I_{lim}$$

$$R_{min} = q_E * \frac{V_{max}^2}{P + I_{lim}} \geq R_{min(teorico)}$$

Después de calculado el peralte, este se considera el máximo admisible, el cual permite cumplir tanto con el exceso como con la insuficiencia de peralte, estos al ser determinados en función de las velocidades de los tráficos que transiten por la línea podemos fijar un peralte mucho menor y esto ayudara a respetar la velocidad de diseño teniendo un radio mayor

7.6.8. Rampa del peralte

La rampa de peralte es considerada como la diferencia del peralte respecto a la longitud y tiene como fin evitar que el pasajero sienta el cambio de las fuerzas laterales no compensadas al momento de entrar y salir de una curva, realizar esta transición de manera adecuada es fundamental para que el confort y la seguridad se mantengan al transitar por la línea, esta variación se representa según la siguiente expresión

Ecuación 8, diferencia del peralte con respecto a la longitud, [11]

$$\frac{dD}{dS} = \frac{\Delta D}{L_D}$$

Tabla 17, Definición de variables de la ecuación de variación de peralte con respecto a la longitud, [11], [34]

Variable	Definición	Unidad
$\frac{dD}{dS}$	Diferencia del Peralte con respecto a la longitud	mm/m
ΔD	Variación del Peralte	mm
L_D	Longitud de desarrollo del peralte	m

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Para definir los valores límite para la rampa del peralte se debe seguir la siguiente tabla:

Tabla 18, Rampa de peralte para ancho estándar (mm/m)[11]

Rampa de Peralte para ancho estándar (mm/m)			
Velocidad	Referencia	Normal	Excepcional
$0 < V < 50$	1.85	2.50	3.00
$50 < V < 250$	1.00	2.00	2.50

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

7.6.9. Diferencia del peralte con respecto al tiempo

Esta variación del peralte es crucial para mantener el confort de los pasajeros, ya que evita que los pasajeros se vean afectados por los cambios bruscos de peralte, esta variación está calculada respecto a la velocidad con la que se toma un peralte y como se afecta el mismo al pasar por la línea y se define con la siguiente expresión

Ecuación 9, Variación del peralte en función del tiempo, [11]

$$\frac{dD}{dt} = \frac{dD * ds}{ds * dt} = \frac{\Delta D * v}{3.6 * L_D} \quad \text{ó} \quad \frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D * v}{3.6 * L_D} \leq \left(\frac{dD}{dt}\right)_{lim}$$

Tabla 19, Definición de variables para la ecuación variación de peralte en función del tiempo, [11]

Variable	Definición	Unidad
$\frac{dD}{dt}$	Variación del Peralte con respecto al tiempo	mm/m
ΔD	Variación del peralte	Mm
L_D	Longitud de desarrollo del peralte	M
v	Velocidad máxima del trayecto	Km/h

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Esta variación del peralte se debe calcular con la máxima velocidad permitida para el tránsito de los vehículos ferroviarios y en los casos donde el vehículo no cuente con sistemas de compensación para la insuficiencia del peralte tendremos en cuenta el siguiente cuadro para limitar los valores del peralte

Tabla 20, Variación del peralte en función del tiempo para la trocha estándar [11]

Variación del peralte en función del tiempo para la trocha estándar		
Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
50 mm/s	50 mm/s	60 mm/s

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

A tener en cuenta que si hay vehículos ferroviarios que puedan realizar su operación con una variación del peralte mucho mayor se debe justificar técnicamente el uso del mismo siendo que para esto deben tener sistemas de compensación para la insuficiencia del peralte

7.6.10. Diferencia de la aceleración por insuficiencia de peralte respecto al tiempo

Esta variación se considera cuando el vehículo ferroviario a medida que se desplaza por una rampa de peralte su aceleración lateral no compensada se ve afectada y esto se ve repercutido en la carga y en confort de los pasajeros, este parámetro es necesario calcularlo para garantizar la seguridad tanto al entrar y salir de una curva, esta misma está definida por la siguiente ecuación para una curva de transición

Ecuación 10, Variación de la aceleración por la insuficiencia del peralte respecto al tiempo, [11]

$$\frac{da_i}{dt} = \frac{da_i * ds}{ds * dt} = \frac{\Delta a_i * v}{3.6 * L_k}$$

Y cuando se expresa en función de la insuficiencia del peralte nos queda la siguiente ecuación

Ecuación 11, Variación de la insuficiencia de peralte con respecto al tiempo, [11]

$$\frac{dl}{dt} = \frac{dl * ds}{ds * dt} = \frac{\Delta l * v}{3.6 * L_k}$$

Tabla 21, Definición de variables para la ecuación de la variación de la insuficiencia de peralte respecto al tiempo, [11], [34]

Variable	Definición	Unidad
$\frac{dl}{dt}$	Variación de la insuficiencia de peralte con respecto al tiempo	mm/s
Δl	Variación total de la insuficiencia del peralte	mm
Δa_i	Variación total de la aceleración por insuficiencia del peralte	m/s ²
L_k	Longitud de la curva de transición	M
v	Velocidad máxima del trayecto	Km/h

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Haciendo esta comprobación se garantiza que la variación de la aceleración por la insuficiencia del peralte sea suave y de manera gradual y los valores límite para esta variación están en la siguiente tabla

Tabla 22, Variación de la aceleración por insuficiencia con respecto al tiempo m/s³[11]

Variación de la aceleración por insuficiencia con respecto al tiempo m/s ³			
Velocidad	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
0 < v < 220 km/h	0.36	0.36	0.36

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En los casos donde se necesite una velocidad mayor se debe realizar la justificación técnica por la se adopte el valor de la variación de la aceleración por insuficiencia con respecto al tiempo

Para el caso donde se haga calcule la variación en función de la insuficiencia de peralte tendremos los siguientes valores límite en la siguiente tabla

Tabla 23, Variación de la insuficiencia con respecto al tiempo mm/s, [11], [34]

Variación de la insuficiencia con respecto al tiempo mm/s			
Velocidad	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
0 < v < 220 km/h	55	55	100

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Cuando se tengan trenes que por su diseño y especificaciones sean capaces de utilizar el valor límite excepcional no se tendrá que justificar técnicamente siempre y cuando el trazado no sea de vía general

7.6.11. Variación brusca de la aceleración por insuficiencia de peralte

Esta variación se presenta cuando hay un cambio repentino en la fuerza lateral no compensada en el momento donde los vehículos entran en el peralte de la curva, esta variación se ve en secciones sin mantenimiento, curvas sin una transición y en secciones de vías desviadas, para ello es indispensable que los valores límites siempre sean inferiores a los normales considerando el rango de velocidades, en la siguiente tabla tendremos los valores límite para esta variación brusca

Tabla 24, Variación brusca de la insuficiencia para trocha estándar, mm [11], [34]

Variación brusca de la insuficiencia para trocha estándar, mm			
Velocidad	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
$0 < v < 60$	80	100	130
$60 < v < 200$	40	100	125
$200 < v < 230$	30	40	85

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Los valores de referencia serán tomados siempre para vías generales y en pasos donde la vía directa tenga aparatos de vía y nunca se debe tener valores por encima de estos, en los casos donde se tengan vías diferentes a las nombradas anteriormente se deberá realizar una justificación técnica y en ese caso usar los valores normales como los valores de referencia

7.7. Radios de curvatura

7.7.1. Radio mínimo para curvas circulares

Teniendo en cuenta el confort y la seguridad al momento de la realización del diseño del trazado es importante conocer el radio de curvatura más pequeño que se puede permitir para que se mantenga las condiciones anteriormente mencionadas, las vías las podemos clasificar en vías en general y andenes

- Vías en general

Para las vías en general tenemos varias consideraciones, las cuales parten del uso de la línea como sería a continuación

- o Líneas de tráfico de pasajeros
- o Líneas de tráfico mixto y carga

Al proyectar estos tipos de líneas se establece un radio mínimo que permite tener una velocidad máxima del trayecto sin que se sobrepase el peralte y la insuficiencia de peralte para el caso de las líneas de mercancías y mixto y en el caso de las líneas de pasajeros el peralte y la insuficiencia de peralte no estén por encima de la velocidad máxima del trayecto, de igual forma se tiene la siguiente tabla con los valores para los radios mínimos en las curvas horizontales

Tabla 25, Radio mínimo de la curva horizontal [11]

Radio mínimo para la curva horizontal		
Valor de Referencia	Valor Normal	Valor Excepcional
250 m	190 m	150 m

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

A tener en cuenta, en los casos donde se tengan contracurvas se deberá especificar técnicamente como se realizará puesto que se debe impedir el bloqueo de los topes y encaballamiento

- Andenes

Viendo que se debe acoplar las vías con estaciones existentes con las nuevas se deben tener ciertas consideraciones para los siguientes casos

- o Estaciones existentes
- o Estaciones nuevas

Para los dos casos se deberá proyectar preferiblemente tramos rectos donde se tengan las estaciones y para estaciones existentes no se tendrán un valor de radio mínimo normal que este por debajo de 300 m y para el valor excepcional tampoco este por debajo de 200 m, para los casos de nuevas estaciones su

radio no será inferior a 500 m y para admitir radios menores se deberá realizar su debida justificación técnica siempre y cuando no se sean inferiores a 300 m

7.7.2. distancia mínima para las alineaciones en planta de curvatura constante y para las curvas de transición

Cuando se tiene una sucesión de curvas y contracurvas sin transiciones que adicional a ello tiene radios inferiores a 220 m, se deberá implantar un tramo recto de una longitud que permita la adecuada estabilización del vehículo y también para evita el encabalgamiento de topes

7.7.2.1. distancia mínima para las curvas de transición

Para obtener la distancia mínima necesaria en una transición lineal es necesario que se cumpla con las siguientes dos ecuaciones:

Ecuación 12, longitud mínima de las curvas de transición, [11]

$$L_D \geq \Delta D * \left(\frac{dD}{ds}\right)_{lim}^{-1} \quad y \quad L_D \geq \frac{V}{3.6} \Delta D * \left(\frac{dD}{dt}\right)_{lim}^{-1}$$

Tabla 26, Definición de variables de la ecuación de longitud mínima para las curvas de transición, [11], [34]

Variable	Definición	Unidad
$\frac{dD}{ds}$	diferencia del peralte con respecto a la longitud	mm/m
ΔD	Diferencia del peralte	Mm
$\frac{dD}{dt}$	Diferencia del peralte con respecto al tiempo	mm/s
L_D	Longitud de la transición del peralte	M
v	Velocidad máxima del trayecto	Km/h

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Por ende, podemos decir que la longitud mínima que deba tener la transición, deberá satisfacer la siguiente ecuación

Ecuación 13, longitud de la curva de transición,[11]

$$L_K \geq \frac{V}{3.6} \Delta I * \left(\frac{dI}{dt}\right)_{lim}^{-1}$$

Tabla 27, Definición de variables para la ecuación longitud de la curva de transición, [11], [34]

Variable	Definición	Unidad
$\frac{dI}{dt}$	Variación de la insuficiencia de peralte con respecto al tiempo	mm/s
ΔI	Variación de la insuficiencia del peralte	mm
L_k	Longitud de la curva de transición	m
V	Velocidad máxima del trayecto	Km/h

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Es importante determinar estos valores para así aplicar el mayor de las siguientes longitudes, aunque de ser posible se debe determinar esta longitud mínima en 20 metros

- Longitud por rampa de peralte
- Longitud por variación de peralte con el tiempo
- Longitud por variación de la insuficiencia de peralte con el tiempo

Llegado al caso, si la longitud de la curva de transición es tal que, al realizar el cálculo de las longitudes anteriormente nombradas, no se puedan cumplir con estos límites establecidos, se podrá anular dicha transición y será remplazada con la variación brusca de la insuficiencia de peralte entre los elementos de la curvatura constante, eso sí se tendrá que mantener el peralte constante a lo largo de la clotoide, igualmente es importante que estos casos se deba contar con la debida justificación técnica puesto que esto afecta al cálculo de esta curva

7.7.3. Longitud de alineaciones con peralte constante entre dos transiciones lineales de peralte

Cuando en el trazado tenemos entre dos clotoides una alineación circular, de ser posible se deben respetar los valores de la siguiente tabla, pero en casos excepcionales se puede tener un desarrollo nulo, como también en casos de curva y contracurva donde se pueden conectarse entre ellas sin la necesidad de un tramo recto, independiente del caso anteriormente nombrado es necesario que se realice su debida justificación técnica para más claridad en cuanto al cálculo de las curvas

Tabla 28, Longitud de peralte constante entre transiciones lineales de peralte [11], [34]

Longitud de peralte constante entre transiciones lineales de peralte			
Velocidad (km/h)	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
$0 < V < 70$	$V/3$ y no menor a 20 m	$V/3$	$V/10$
$70 < V < 220$	$V/2$	$V/3$	$V/5$

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

A tener en cuenta, siempre que se tenga un valor menor a 20 metros se debe justificar técnicamente el porqué del uso del valor limite normal y excepcional, teniendo en cuenta la velocidad total del trayecto, y aplicar en los casos donde se presenten que la alineación este entre clotoides, que adicional no tengan rampas de peralte

7.7.4. Longitud mínima entre puntos de tangencia de dos cambios bruscos de insuficiencia de peralte

La distancia mínima que se necesita para que no se vea afectada de manera abrupta la velocidad por culpa de la insuficiencia del peralte entre dos puntos debe cumplir los valores de acuerdo a la siguiente tabla, ya que como se va a tener un cambio brusco este cambio se debe hacer de manera segura puesto que en una sucesión de curvas es muy común tener estos cambios bruscos por el paso por secciones donde se tiene vías desviadas y estos cambios se deben tomar de forma individual

Tabla 29, Longitud mínima entre puntos de tangencia de cambios bruscos de insuficiencia de peralte (m). [11]

Longitud mínima entre puntos de tangencia de cambios bruscos de insuficiencia de peralte (m).			
Velocidad	Valor Referencia	Valor Normal	Valor Excepcional

$0 \leq V \leq 70$	$V/4$	$V/5$	$V/10$
$70 < V \leq 100$	$V/4$	$V/5$	$V/6$
$100 < V \leq 350$	$V/3$	$V/4$	$V/5$

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En los casos donde se tenga una velocidad de hasta 50 km/h y el Valor ΔI mayor a 110 mm podemos reducir el valor Excepcional a $V/12.5$ y donde se tenga la velocidad de 90 km/h y ΔI mayor a 100 podemos reducir el valor excepcional a $V/10$

Cuando los elementos intermedios no cumplan con la longitud mínima de transición y de alineación en planta de curvatura constante, la velocidad máxima del trayecto debe tener en cuenta las variaciones que se realicen de manera abrupta de la insuficiencia de peralte según lo siguiente:

- Para curvas y contracurvas se usa $\Delta I = I_1 + I_2$
- Para dos curvas que tenga sentido contrario con una recta intermedia usamos $\Delta I = I_1 + I_2$

Para la siguiente imagen tenemos las distintas combinaciones que se presentan en los trazados en planta

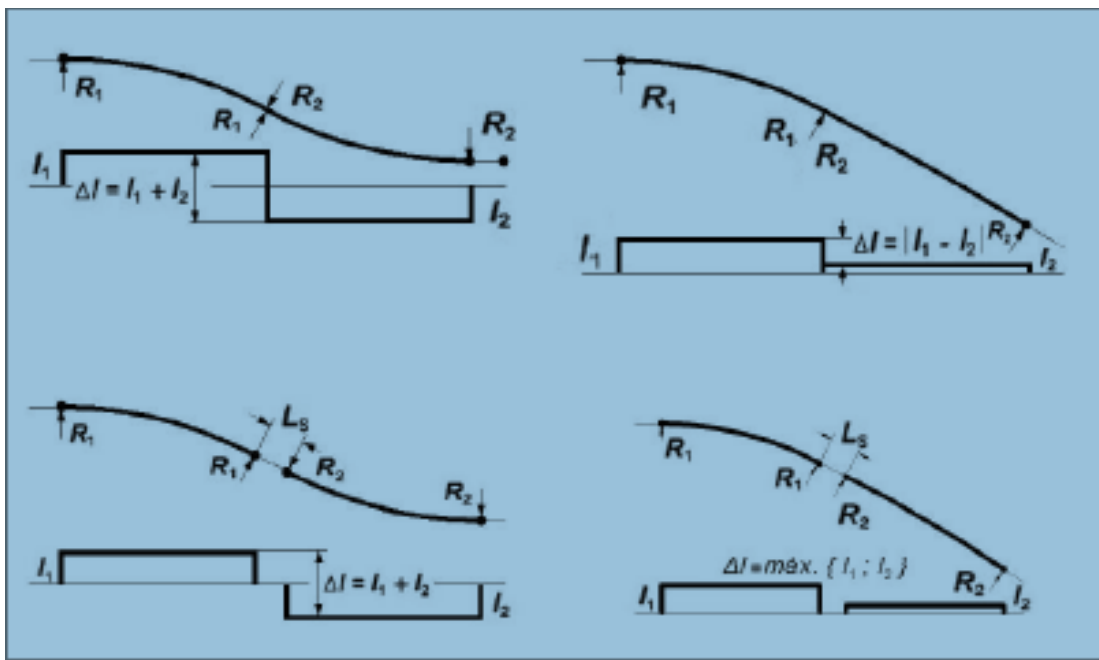


Ilustración 9, Combinaciones que se presentan en el trazado[11]

Cuando se tiene dos variaciones muy abruptas en la curvatura y estas tienen una longitud de separación por debajo del valor L_{slim} , y la segunda variación de curvatura se entrelaza con la primera curvatura, lo

que genera un crecimiento de la variación total de la curvatura entre dos puntos de tangencia que según el caso se manejan de esta manera

- Curvas de distintos radios se usa la siguiente formula $\Delta I = | I_1 - I_2 |$ [11]
- Dos curvas con la dirección en el mismo sentido, con una recta intermedia sin peralte $\Delta I = \text{máx. } \{I_1, I_2, \}$ [11]

De los casos anteriores, es importante evitarlos, ya que contaríamos con radios de curvatura $L_s = 0$ y por ende en caso de usarlos se debe realizar su debida justificación técnica puesto que estaría por encima de los valores limite excepcionales

7.7.5. Prevención del encaballamiento o bloqueos de los topes

Cuando se calcule la distancia mínima de una alineación intermedia con el fin de evitar los efectos de encaballamiento y bloqueo de topes, efecto el cual sucede entre las curvas que tiene una dirección contraria a la otra, este se debe evitar y por esto se debe justificar técnicamente como se realiza la prevención teniendo en cuenta que esto dependerá de los radios interior y exterior, el modelo de vehículo que se use y por lo cual debemos tener en cuenta que lo siguiente

Ecuación 14, Radio equivalente, [11]

$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{donde } R_1 \leq R_2$$

Tabla 30, definición de variables para la ecuación de radio equivalente, [11]

Variable	Definición	Unidad
R_1	Radio de la curva de menor radio	M
R_2	Radio de la curva de mayor radio	M
R_{eq}	Radio equivalente	M
L	Longitud mínima para el tramo intermedio	M

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Con el siguiente cuadro podemos calcular el valor límite para la distancia del tramo recto que esta entre dos curvas que tiene un sentido contrario, partimos calculando el radio equivalente y según sea este aplica calcular su longitud.

$R_{eq} \geq 106,4$ $R_{eq} \geq$	$L = 0$	
$R_{eq} <$ $R_{eq} < 106,4$	$R_{eq} \geq 106,4 - 17,34 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ $R_{eq} \geq 106,4 - 17,33 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$	$L = (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{\frac{0,79}{R_1 \cdot R_2} \cdot (106,4 - R_{eq})}$ $L = (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{\frac{0,79}{R_1 \cdot R_2} \cdot (106,4 - R_{eq}) + 0,016}$
	$R_{eq} < 106,4 - 17,34 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ $R_{eq} < 106,4 - 17,33 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ $R_{eq} < 106,4 - 17,34 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$	$L = 22,7 - \sqrt{\left(5,135 \cdot \frac{R_2}{R_1} - 1\right) \cdot (0,79) \cdot (R_1 - 106,4) + 0,017}$ $L = 22,7 - \sqrt{\left(5,135 \cdot \frac{R_2}{R_1} - 1\right) \cdot (0,79) \cdot (R_1 - 106,4)}$

Ilustración 10, Radios Equivalentes y longitud límite de tramo recto[11]

En la siguiente grafica podemos ver la representación de la longitud mínima en función de los distintos radios que pueden tener las curvas, teniendo en cuenta que $R_1 \leq R_2$

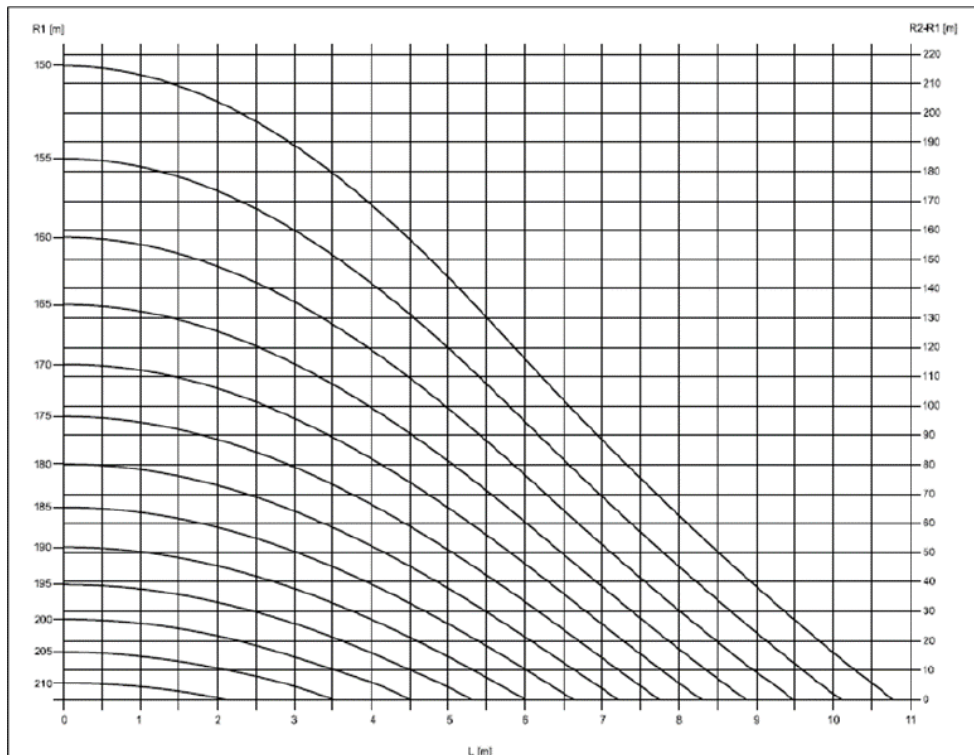


Ilustración 11, la representación de la longitud mínima en función de los radios [11]

Y con la siguiente tabla partiendo de los radios habitualmente usados, podemos obtener los valores límite para la distancia mínima para el tramo recto que esta entre dos curvas circulares las cuales tienen sentido contrario

R1 R2	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220
150	10,78	10,53	10,29	10,06	9,83	9,6	9,38	9,16	8,94	8,73	8,52	8,31	8,11	7,91	7,71
160	10,29	9,86	9,48	9,22	8,97	8,73	8,49	8,25	8,02	7,79	7,56	7,34	7,12	6,91	6,69
170	9,83	9,37	8,97	8,62	8,3	8,04	7,78	7,53	7,28	7,04	6,8	6,55	6,31	6,06	5,81
180	9,38	8,91	8,49	8,12	7,78	7,48	7,2	6,93	6,65	6,37	6,08	5,79	5,49	5,18	4,86
190	8,94	8,45	8,02	7,63	7,28	6,96	6,65	6,33	6	5,67	5,33	4,97	4,59	4,19	3,76
200	8,52	8,01	7,56	7,16	6,8	6,44	6,08	5,71	5,33	4,93	4,5	4,04	3,54	2,97	2,28
210	8,11	7,59	7,12	6,7	6,31	5,91	5,49	5,06	4,59	4,09	3,54	2,91	2,11	0,73	0
220	7,71	7,17	6,69	6,25	5,81	5,35	4,86	4,34	3,76	3,1	2,28	0,95	0	0	0
230	7,32	6,77	6,27	5,79	5,29	4,76	4,18	3,52	2,74	1,67	0	0	0	0	0
240	6,95	6,38	5,85	5,32	4,74	4,11	3,38	2,5	1,07	0	0	0	0	0	0
250	6,58	5,99	5,42	4,81	4,14	3,36	2,39	0,51	0	0	0	0	0	0	0
260	6,22	5,6	4,97	4,26	3,46	2,44	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0
270	5,86	5,2	4,48	3,66	2,64	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
280	5,51	4,78	3,96	2,96	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
290	5,15	4,33	3,37	2,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	4,77	3,85	2,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	4,37	3,31	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	3,95	2,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	3,47	1,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	2,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360	1,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
380	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 12, Los radios habitualmente usados[11]

Cuando el tramo intermedio no sea recto, se debe comprobar el desplazamiento relativo que tendrán los topes y según el caso verificar que no sea mayor a 0.395 m, por lo cual es necesario que se justifique técnicamente este mismo, ya que también va a ir de acuerdo al vehículo en cuestión

7.8.Rampas máximas

Al momento de entrar a una curva y está presente una rampa, está pendiente que puede ser expresada en milésimas o en porcentaje, debe tener un valor máximo puesto que esto garantiza la debida operación de los vehículos ferroviarios que transitan por este tramo de línea, siendo que al tener curvas con radio reducido esta debe tener un valor límite para la rampa

7.8.1. Líneas nuevas

Cuando se diseñan nuevas líneas estas deben tener en cuenta la siguiente tabla, ya que contiene los valores límite para las rampas máximas admisibles

Tabla 31, Rampa máxima para el diseño (milésimas)[11], [34]

Rampa máxima para el diseño (milésimas)			
Tipo nuevo de vía	Valor Referencia	Valor Normal	Valor Excepcional
Vías generales, sin estaciones y sin andenes contiguos para tráfico exclusivo de viajeros	25	30	35
Vías generales, sin estaciones y sin andenes contiguos para tráfico mixto	12,5	15	18-20
Vías con subida y bajada de pasajeros con anden contiguo, donde se realice el enganche y desenganche de coches, vías con apartados para estacionamiento y vías secundarias	2	2,5	Valor superior, siempre y cuando se justifique
Vías de maniobra sin estacionamiento de trenes	5	5	Dependerá de la capacidad de tracción
Vías solamente para la subida y bajada de pasajeros, Vías de apartado y vías en las cuales se presenta regulación en la circulación como cruces y adelantamientos	10	10	Valor de rampa para plena vía del tramo

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Cuando en vías generales con tráfico exclusivo de viajeros se tenga que adoptar valores por encima de 25 milésimas, se debe tener en cuenta no se deben colocar puntos de parada en esta rampa

En el caso donde se necesite usar un valor excepcional o superior, cuando se tenga una vía general para tráfico exclusivo de pasajeros y adicional a su implantación la cual será realizada en una zona urbana o restrictiva, para el uso de este valor se debe justificar el uso, puesto que se debe tener en cuenta el tipo de vehículo que circule y más cuando se tengan longitudes inferiores

En el caso donde se tenga una vía general para el tráfico de mercancías y rasante descendiente, se puede admitir pendientes superiores siempre y cuando se justifique técnicamente el frenado en dicho tramo

En los casos donde se tenga una vía general para el tráfico de mercancías y no se pueda usar un valor de 12.5 milésimas por razones aducidas a las restricciones presentadas al momento de la realización del trazado, se debe realizar la debida justificación técnica, la cual debe su aparte sobre las pendientes, la longitud, condiciones más desfavorables que se presentaran

En el caso donde se tenga una rampa superior a 15 milésimas, en donde se presente una vía general para tráfico de mercancías, se debe realizar la debida justificación para el uso de un valor superior

7.8.2. líneas existentes

en los casos donde se tengan líneas existentes con tráfico de mercancías y se deseen diseñar variantes se intentará mantener la rampa característica que tenga la línea existente y en donde no se pueda mantener la rampa característica existente se realizara la justificación técnica donde se tenga en cuenta la capacidad de frenado y tracción del vehículo a circular por la línea

en el caso donde se tenga que implantar una parada menor en una línea existente esta podrá mantener el valor de rampa de la línea existente

7.8.3. Rampa ficticia

la rampa ficticia se define como la suma de los componentes de la rampa física y el radio de curvatura y para calcularla usamos la siguiente formula

Ecuación 15, Rampa Ficticia, [11]

$$R_{fic} = R_{fis} + W_{BO}$$

Tabla 32, definición de variables para la ecuación rampa ficticia, [11]

Variable	Definición
R_{fic}	Rampa ficticia
R_{fis}	Rampa física
W_{BO}	Factor de corrección

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

- La rampa física se expresa en milésimas y es considerada como la declividad real de la vía y será positiva o negativa según sea de subida o de bajada
- El factor corrector se debe a la resistencia al momento de tomar la curva y por ende si el tramo es recto (radio = ∞), el factor sería igual a 0

Para obtener el factor corrector podemos acudir a las siguientes formulas

Ecuación 16, Factor corrector, [11]

$$W_{BO} = \frac{700}{R}$$

La anterior fue desarrollada a partir de una compilación de las fórmulas empíricas buscando cuantificar este factor, las siguientes formulas fueron desarrolladas como interpolación para las curvas de radios entre 250 y 350

Ecuación 17, Valor del factor corrector dependiendo del radio, [11]

$$\text{Para } R < 250m \text{ tenemos que; } W_{BO} = \frac{500}{R - 30}$$

$$\text{Para } 250m \leq R \leq 350m \text{ tenemos que; } W_{BO} = 2.2$$

$$\text{Para } R > 350m \text{ tenemos que; } W_{BO} = \frac{650}{R - 55}$$

En los casos donde los radios sean superiores a 5000 metros, se debe despreciar este valor

7.8.4. Rampa característica

Esta rampa se considera como la rampa más restrictiva al momento de diseñar el trazado y son los valores de rampa que en cuanto a la carga máxima condicionan su uso, no se debe considerar las rampas no significativas puesto que al ser muy cortas tendrán un valor inferior y no sería significativo para la determinación de las cargas máximas, cuando se realice el cálculo de la misma, se tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar la subdivisión de la línea en tramos cortos para así establecer una rampa característica única, estos tramos tendrán como puntos de coincidencia, estaciones, bifurcaciones entre otros puntos que sean de referencia y se tendrá en cuenta y en consideración especial las situaciones más favorables para las estaciones
- Al realizar la asignación de la rampa característica a cada tramo, se tratará cada tramo con independiente y tendrán una longitud, una rampa ficticia y el número de tramo
- Al momento de definir cada tramo del trazado en el caso de las curvas se debe tomar toda la sección de la clotoide desde la entrada hasta la salida todo visto desde la vista en planta y para la vista de perfil el cambio de la rasante también será tenido en cuenta como se muestra a continuación

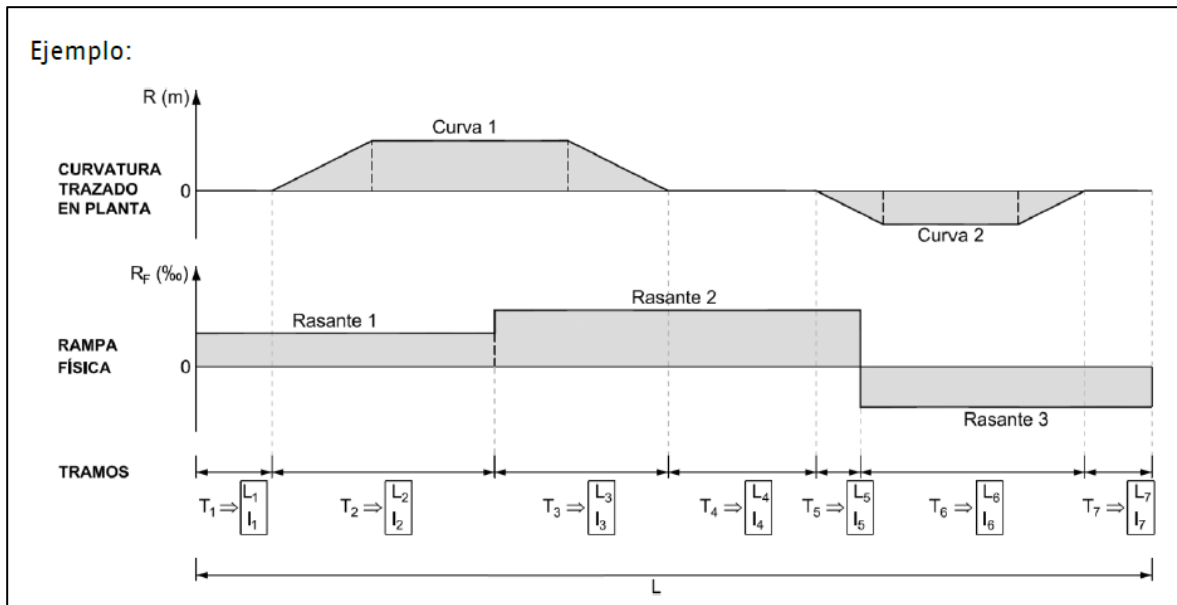


Ilustración 13, Definición de los tramos del trazado[11]

- Se realizará el cálculo a partir de la rampa ficticia máxima que encontremos en el trayecto a diseñar y la cual empezaremos a ir reduciendo para que esta cumpla con las condiciones dispuesta en la siguiente tabla

Tabla 33, Condiciones para obtener la rampa característica[11]

Condiciones para obtener la rampa característica	
1	La rampa ficticia no puede ser mayor en 3% a la rampa del proyecto
2	Cuando la rampa ficticia sea mayor a la rampa característica del trayecto no podrá ser un tramo superior a los 1000 metros
3	La sumatoria de las longitudes de los tramos en los cuales la rampa ficticia sea mayor a la rampa característica no podrán ser superior al 10 % de la longitud total del tramo

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

- Cuando se tengan dos sentidos de circulación se calculará la rampa característica cumpliendo las siguientes condiciones de la siguiente tabla

Tabla 34, Condiciones para calcular la rampa característica para líneas con dos sentidos[11]

Condiciones para calcular la rampa característica para líneas con dos sentidos	
1	se inicia el punto de arranque cada 1000 metros
2	Cuando se aborde la rampa con declividad superior a la rampa característica la pérdida de velocidad debe ser menor al 35 %
3	Los sobreesfuerzos que tengan que realizar las locomotoras estarán limitados a 1 min para las eléctricas y 3 min para las que tiene motor Diesel

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Importante se debe contemplar que la rampa más restrictiva que tengamos en el trayecto a diseñar será la rampa característica, y se debe realizar un estudio en el cual se simule la marcha en los casos donde se tengan velocidades bajas ya que al tomar la rampa se pierde velocidad y está pérdida debe estar dentro de los rangos admisibles

7.8.5. Pendientes mínimas

Las pendientes mínimas son necesarias puesto que a pesar de que se busca una línea lo más llana posible es necesario que se tenga una inclinación pequeña para que la línea pueda tener un drenaje suficiente y con esto mantener la durabilidad, la seguridad y la operación para lo cual se debe mantener un valor no inferior a 5 mm/m

En los casos donde el trayecto tenga túneles, este tendrá una pendiente mínima de 5mm/m, y en las estaciones no se tendrá que cumplir este parámetro, igualmente es necesario la realización de la justificación técnica para los valores que se tomen en los casos específicos

7.9. Radio para curvas verticales

7.9.1. Radio mínimo y aceleración máxima en curvas verticales

Cuando se diseñan las curvas verticales estas deben garantizar la seguridad y la comodidad mediante el uso de transiciones suaves que eviten los cambios bruscos de aceleración, estas curvas deben calcularse a partir de la siguiente ecuación

Ecuación 18, Radio para curvas Verticales, [11]

$$R_V = \frac{1}{12.96 * a_v} * v^2$$

Tabla 35, Definición de variables de la ecuación radio para curvas verticales, [11]

Variable	Definición	Unidad
R_v	Radio de la curva vertical	m
V	Velocidad	Km/h
a_v	Aceleración vertical	m/s ²

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Las curvas verticales deben cumplir con ciertas condiciones como lo son

- Cumplir con los límites que no están sujetos a la velocidad
- Se debe procurar el uso de los valores de referencia en todo caso y de no ser posible solo será por razones que sean condicionantes (ambientales, Urbanos, líneas existentes y demás), y para las cuales se deberá realizar su debida justificación técnica
- La definición del radio mínimo será tomada de acuerdo a las siguientes tablas

Tabla 36, Radio mínimo para curvas verticales[11]

Radio mínimo para curvas verticales				
Velocidad	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional	
	Min 2000 m	Min 2000 m	Convexos Min 500 m	Cóncavos Min 900 m
$0 < v < 220$ km/h	$0.35 * V^2$	$0.25 * V^2$	$0.15 * V^2$	$0.13 * V^2$
$V \geq 220$ km/h	$0.35 * V^2$	$0.175 * V^2$	$0.15 * V^2$	$0.13 * V^2$

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

Tabla 37, Aceleración vertical máxima para curvas verticales [34]

Aceleración vertical máxima para curvas verticales				
Velocidad	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional (convexos)	Valor excepcional (cóncavos)
$0 < v < 220 \text{ km/h}$	0.22	0.31	0.51	0.59
$V \geq 220 \text{ km/h}$	0.22	0.44	0.51	0.59

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En los casos donde se tengan aceleraciones verticales por encima de 0.44 m/s^2 ($R < 0.175 \cdot v^2$) en curvas verticales convexas, no se podrá tener valores que coincidan con aceleraciones sin compensar que estén por encima de 0.65 m/s^2 (insuficiencia de peralte de 100 mm) y adicional a lo anterior, no debe coincidir con la alineación circular en planta

En los lugares donde se tengan instalados aparatos de vía en las curvas verticales, los radios que se manejarán serán de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 38, Radios mínimos para ubicación de aparatos de vía [11], [34]

Radios mínimos para ubicación de aparatos de vía			
Tipo de Curva	Valor de referencia	Valor normal	Valor excepcional
Convexa	Infinito	5000 m	2000 m
Cóncava	Infinito	3000 m	2000 m

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

7.9.2. Longitud mínima para alineaciones verticales

Cuando se habla de longitud mínima para alineaciones verticales hacemos referencia a la rasante para el diseño del trazado

7.9.2.1. Tramos de rasante constante

Los tramos de rasante constante hacen referencia a las secciones de vía donde la inclinación es uniforme a lo largo del mismo y no presenta ningún cambio, la inclinación puede ser positiva o negativa y para estos tramos tenemos que cumplir con los valores que están en la siguiente tabla

Tabla 39, Distancia mínima de alineaciones con rasante constante [11], [34]

Longitud mínima de alineaciones con rasante constante			
Velocidad de proyecto máxima (km/h)	Valor de Referencia	Valor Normal	Valor Excepcional
$0 \leq V \leq 70$	V/3	V/3	V/10
$70 < V \leq 230$	V/2	V/3	V/5

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En el caso donde a una velocidad menor a 70 km/h y se use el valor de referencia este valor no podrá ser inferior a 20 metros

Las curvas verticales deben tener en cuenta las siguientes condiciones puesto que por sus características dinámicas y su conexión con los tramos de rasante constante

- Cuando se tengan valores excepcionales no será necesario la realización de la justificación técnica siempre y cuando la alineación se encuentre entre dos curvas verticales y su valor de la aceleración vertical sea de referencia
- Cuando se tengan valores normales, no será necesario la realización de la justificación técnica, siempre y cuando la alineación se encuentre entre dos curvas verticales y su valor de la aceleración vertical sea un valor normal
- Cuando el tramo de rasante constante esté conectado a alguna curva vertical y su aceleración vertical tenga su valor superior al normal, la distancia mínima debe ser la del valor de referencia y no menores a ella

En todo caso se debe intentar siempre tener una longitud mínima no menor a 20 metros para los valores que sean normales o excepcionales y en caso de usar uno inferior realizar su debida justificación técnica

7.9.2.2. Curvas verticales

En las curvas verticales para obtener la longitud tenemos que implementar la siguiente formula que va en función del radio de curva y una variación de la rasante la cual es medida en radianes

Ecuación 19, distancia de curva vertical, [11]

$$L_v = R_v * \phi$$

Tabla 40, definición de variables para la ecuación de longitud de curva vertical, [11]

Variable	Definición	Unidad
R_v	Radio de curva vertical	m
L_v	Longitud de curva vertical	Km/h
ϕ	Aceleración vertical	m/s ²

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En cuanto a la implantación de las curvas verticales, estas deben cumplir con lo expuesto en el anterior aparte y además cumplir con la siguiente tabla

Tabla 41, Longitud mínima de los acuerdos verticales (m), [34]

Longitud mínima de los acuerdos verticales (m)	
Vías fuera del dominio de las estaciones (valor límite de referencia, normal y excepcional)	20
Vías generales de estaciones (valor límite de referencia y normal)	20
Vías de apartado de estaciones y vías generales (casos excepcionales) para velocidades de hasta 70 km/h	0
Vías de apartado de estaciones y vías generales (casos excepcionales) para velocidades entre 70 km/h y 160 km/h	10
Vías de apartado de estaciones y vías generales (casos excepcionales) para velocidades mayores a 160 km/h	20

Fuente: Norma ADIF NAP 12-1.0, [11]

En los casos donde se tenga una variación que este por debajo de 2mm/m, podemos no hacer uso de la curva vertical

8. CONCLUSIONES

En la realización de esta guía actualizada encontramos que hay muchos vacíos que tiene la normativa vigente que hacen que sea inseguro y se tengan varias incógnitas al momento de la realización del nuevo trazado y esto por esto que cuando se han realizado los distintos proyectos ferroviarios en el país no los hacen con el manual de normatividad férrea sino con una normativa internacional que se adapte según el tipo de línea que van a desarrollar

La no tenencia de una normativa actualizada en el país donde según el CONPES 2776, el cual indica que se quiere reactivar y masificar el uso del transporte ferroviario para volver más competitivo el sector ferroviario, hace que este objetivo de política nacional a largo plazo se quede en el papel, puesto que sin una normativa que regule y reglamente el transporte ferroviario, se tiene una incertidumbre respecto a cómo se deben realizar los proyectos desde su concepción hasta su finalización y puesta en operación

En Colombia se tiene que formular varias normativas que regulen aspectos desde el punto de vista geométrico, de operación y mantenimiento, de tipos de maquinarias y vehículos ferroviarios que se vayan a usar, entre otras, las cuales sean necesarias para que no se tenga la incertidumbre de que tipo de normativa internacional tengo que aplicar o adaptar para las condiciones que se presentan en el país

Desde el punto de vista de esta investigación encontramos que varias de las normativas que usan los países suramericanos y que regulan el sector ferroviario son basados en las normas UNE, ADIF, que son generadas para España, puesto que son las que más se aplican y se adaptan para las condiciones de los países suramericanos por ende serían las más recomendadas para que sean adaptadas en Colombia para generar las normativas ferroviarias necesarias que regulen el sector

Siempre ha habido una discusión respecto a la trocha que se debe implementar en Colombia y en esta investigación encontramos que por su practicidad y uso masivo lo que más le conviene al país es usar la trocha estándar la cual tiene un ancho de 1450mm y dejar la trocha yárdica de 914mm simplemente para las líneas ya existentes y que se puedan recuperar, rehabilitar sin cambiar su trocha y para los nuevos proyectos usar la trocha estándar, en caso de necesitar otra trocha se debe desarrollar una normativa que regule la misma

9. RECOMENDACIONES

En Colombia si quiere tener en normativa que este a la altura de las normativas internacionales se debe primero generar y desarrollar un ente que sirva de control como lo existía años atrás, del cual se genere normativa específica para el país

Se debe realizar un estudio referente a los tipos de vehículos ferroviarios que puedan ser usados en Colombia teniendo en cuenta la trocha y las medidas donde se ubiquen las señales y aparatos de vías, también que se tenga en cuenta la velocidad de operación, los sistemas que se puedan integrar para que se realice un tránsito seguro por las líneas

Es importante que, Sí Colombia quiere reactivar el sector ferroviario en Colombia, realice la generación de la intermodalidad con los distintos medios de transporte que se usan en Colombia y siendo que este es el eje central para que el transporte de carga tenga unos costos muchos más bajos y Colombia sea un país mucho más competitivo a nivel internacional y esto se traduzca en mayor inversión internacional

Si bien el plan de maestro de transporte férreo tiene el fin de reactivar este sector, se debe tener la voluntad política para que todo lo plasmado en este plan, el cual es a largo plazo, permita que se cumpla su objetivo y no todo lo plasmado quede solamente en el papel, y al realizar esto no se deje de lado los demás medios de transportes y no se haga lo mismo que le realizaron al sector férreo en el siglo pasado, el cual lo puso en un abandono casi total del estado

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Transporte y Departamento Nacional de Planeación, *Plan maestro Ferroviario (PMF)*.
- [2] J. Kohon, J. Champin, M. Rodríguez, R. Cortés, y Banco interamericano de desarrollo, «Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia». [En línea]. Disponible en: www.iadb.org
- [3] Ministerio de Transporte y Departamento Nacional de Planeación, *Plan Maestro Transporte Intermodal*.
- [4] Ministerio de Transporte, «MANUAL DE NORMATIVIDAD FÉRREA Parte I».
- [5] Ministerio de Transporte, «MANUAL DE NORMATIVIDAD FÉRREA Parte II».
- [6] Consorcio EPYPSA_ARDANUY y Superintendencia de transporte, «Informe Ejecutivo “Estudio para la elaboración del marco normativo férreo colombiano enfocado en los factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad”».
- [7] J. A. Valencia Ruiz, «IMPORTANCIA DE LA REACTIVACIÓN DEL TRANSPORTE FERROVIARIO EN COLOMBIA PARA MERCANCÍAS», 2022.
- [8] S. Hernandez, «evaluación de anchos de trocha para la modernización y estructuración de vías ferreas», 2016.
- [9] M. Mora, «Evaluación técnica de los anchos de trocha angosta y estándar como parámetro para la actualización del diseño de líneas férreas para el transporte de mercancías en Colombia», 2014.
- [10] Asociación Española de Normalización, «UNE EN 13803-2018 Parametros de Proyecto Del Trazado de la Vía Anchos de Vía de 1435 Mm y Mayores», 2018
- [11] ADIF, «Norma ADIF-NAP1210 metodología para el diseño del trazado ferroviario», vol. 2a edición, 2024.
- [12] Departamento nacional de planeación, Ministerio de Transporte, y Banco interamericano de desarrollo, «Plan maestro de transporte (2010-2032)», 2010.
- [13] Departamento nacional de planeación, «CONPES 2517 plan de rehabilitación de la red ferrea», 1991.
- [14] Departamento nacional de planeación, «CONPES 2776 estrategia para la modernización de la red ferrea», 1995.
- [15] Findeter, «Informe sectorial No.6: 2024, un año de grandes inversiones en infraestructura de transporte», 2024.
- [16] American Railway Engineering and Maintenance of way Association-AREMA, «Manual de Ingeniería Ferroviaria-AREMA», 2010.
- [17] UBA, «Manual de diseño geométrico de vía-ARGENTINA», 2023.

- [18] MEDEPLAN, SECTRA, y REDEFE, «RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA SECCIÓN 1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO MIDEPLAN-SECTRA», 2003.
- [19] NOM y DOF, «DOF: 24/05/2024 NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ARTF-2023, Sistema Ferroviario-Seguridad-Clasificación y Especificaciones de Vía», 2024. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5728410&fecha=24/05/2024&print=true
- [20] Ministerio de transportes y Comunicaciones, «RMN° 0231-78-TCTE- normas y especificaciones técnicas para el diseño de vías férreas en el Peru», 1978.
- [21] I. Velásquez Castellanos y M. N. Pacheco T., *Un siglo de economía en Bolivia, 1900-2015*. Konrad Adenauer Stiftung, 2018.
- [22] A. Berbey *et al.*, «Trenes: material rodante del transporte ferroviario», 2013.
- [23] F. Viana y A. Ferreira, «The influence of track design parameters on track geometric quality». [En línea]. Disponible en: www.ffe.es/www.tecnica-vialibre.es
- [24] R. J. . Sanchez y Gordon. Wilmsmeier, *Provisión de infraestructura de transporte en América Latina : experiencia reciente y problemas observados*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, 2005.
- [25] E. J. Alvarez-Palau, «Ferrocarril y sistemas de ciudades e impacto de las redes ferroviarias en el contexto urbano europeo», *Bibliio W Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, vol. 21, pp. 742-98, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://www.europa.udl.cat/>
- [26] A. García Alvarez, «ENERGÍA Y TRAZADO FERROVIARIO», *Via libre tecnica investigacion Ferroviaria*, pp. 21-32, 2011, [En línea]. Disponible en: www.tecnica-vialibre.es
- [27] L. Márquez, «The Colombian railways: 4 recurring subjects in the literature», 2017, *Universidad Icesi*. doi: 10.1016/j.estger.2017.04.003.
- [28] Cámara Colombiana de la infraestructura, «SEGUIMIENTO A PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA- INFORME DIRECCIÓN TECNICA PARA EL SISTEMA FÉRREO NACIONAL».
- [29] M. Cuenca, «Transporte férreo de carga en Colombia: inversión y beneficios», *REVISTA QUESTIONAR- Investigación Específica*, vol. 1, n.º 2346-1098, pp. 51-69, 2013.
- [30] C. Valencia Giraldo, R. Martínez, y J. Luis, «El problema del desgaste ondulatorio en las vías férreas: la metalurgia de un caso real», *Dyna (Medellin)*, vol. 71, n.º 0012-7353, pp. 29-38, 2004, [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614404>
- [31] J. R. Quintero González y M. M. Salomón Molano, «Infraestructura de transporte férreo en Colombia: actualidad, problemáticas, políticas y prospectiva», *Revista Habitus: Semilleros de investigación*, vol. 3, n.º 5, p. e15914, oct. 2023, doi: 10.19053/22158391.15914.
- [32] L. Angulo Reyes, A. Figueroa Jiménez, C. Gambin Garcia, y A. Jiménez Chávez, «Impacto del transporte internacional en el desarrollo economico de Colombia- antecedente», *Liderazgo Estrategico*, vol. 8, pp. 3-17, 2018.
- [33] M. Chacón Rivero, J. Ponz Tienda, y J. Cala Estupiñan, «HOJA DE RUTA PARA LA REACTIVACIÓN DE CORREDORES FÉRREOS EN CASCOS URBANOS», 2018, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea].

Disponible en: Chacón Rivero, M. (2018). Hoja de ruta para la reactivación de corredores férreos en cascos urbanos. Uniandes. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/34876>

- [34] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE), «BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO- BOE-A-2023-4324- instrucción ferroviaria para proyecto y construcción de subsistemas de infraestructura», 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es>