

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**PROPUESTA TÉCNICA DE LA VÍA FÉRREA ENTRE CHIHUAHUA Y
CIUDAD JUÁREZ PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS**

POR:

ING. MARIA CLARA CLEVES RUIZ


**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN VÍAS TERRESTRES**

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

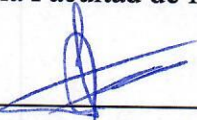
ABRIL DE 2023




Propuesta técnica de la vía férrea entre Chihuahua y ciudad Juárez para transporte de pasajeros. Tesis presentada por María Clara Cleves Ruiz como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:




M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería



Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



M.A. María de Lourdes Flores Portillo
Coordinadora Académico



Dra. Daphne Espejel García
Directora de Tesis

Abril 2023

Fecha

COMITÉ

Dra. Daphne Espejel García
Dra. Vanessa Verónica Espejel García
Dr. Alejandro Villalobos Aragón
Dr. Antonio Campa Rodríguez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

ING. MARÍA CLARA CLEVES RUIZ

Presente:

En atención a su solicitud relativa al trabajo de Tesis, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la Directora Dra. Daphne Espejel García, para lo desarrolle como tesis, con el Título "PROPUESTA TÉCNICA DE LA VÍA FÉRREA ENTRE CHIHUAHUA Y CIUDAD JUÁREZ PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS

Índice de Contenido

1. INTRODUCCION
2. MARCO TEORICO
 - 2.1 Antecedentes
 - 2.2 Casos similares
 - 2.3 Metodología
 - 2.4 Normatividad
 - 2.5 Características de las vías de alta velocidad
3. METODOLOGIA
 - 3.1 Revisión de vía existente
 - 3.1.1 Revisión de diseño
4. RESULTADOS
 - 4.1 Modificaciones
 - 4.1.1 Elementos para modificar
 - 4.2 Estado modificado
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Anexos

Curriculum Vitae

Solicitamos a Usted tomar nota de que el Título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de la Tesis.

Atentamente
"naturam subiecit aliis"

FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.C.H.

EL DIRECTOR

**EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

**M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ
MARTÍNEZ**



DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES

DIRECCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

Dedicatoria

Quiero dedicar esta investigación a todos los futuros ingenieros que cursan la Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres como inspiración, para que exploren nuevos campos, para de esta manera encontrar soluciones que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y así contribuir a la sociedad.

A mi directora de tesis, quien me impulsó, me guió y me brindó la curiosidad y amor por los ferrocarriles.

Así mismo, a mi familia, quienes han sido el motor de esta maestría y quienes me inspiran a ser mejor cada día.

Agradecimientos

< OPCIONAL: Centrado sin sangría. Si no se desea incluir agradecimientos, borrar toda la página **incluyendo la transición en la parte inferior de la página. No borre la transición de página en la página anterior (portada)**. Si lo hace se perderá la paginación del trabajo.>

Resumen

Los trenes de alta velocidad son aquellos que transportan principalmente pasajeros y aquellos cuya velocidad es mayor a 100 km/h; ofrecen seguridad, confianza y eficiencia, adicionalmente cuentan con características especiales que permiten su tránsito a alta velocidad. Estos trenes brindan grandes ventajas a la sociedad y los lugares en los que se encuentran, tales como disminución de tiempo de traslado, disminución de contaminación ambiental, aumento de calidad de vida. En diferentes partes del mundo han sido implementados y, por ende, son prueba de que el sistema planteado es posible de ejecutar, sin importar el área o espacio que se analice para dicha implementación, países como Japón, Alemania, Francia e Italia lo han implementado exitosamente. Chihuahua no debería ser la excepción, ya que se buscan medios de transporte que sean eficientes, rápidos y seguros, lo cual sería asequible por medio de la implementación de un tren de alta velocidad para pasajeros. Debido a esto, se realizó un estudio entre las ciudades de Chihuahua y Ciudad Juárez, en donde se analizó la viabilidad de dicha propuesta, para esto se ejecutó una investigación del estado y calidad de las vías férreas actuales, mediante una visita de campo en la cual se inspeccionó la vía en diferentes puntos, y finalmente se analizaron las diferentes normativas nacionales e internacionales sobre transporte de pasajeros a alta velocidad. Al finalizar la investigación se detectó que no era posible el transporte de pasajeros a alta velocidad por las vías férreas actuales, debido a que el diseño horizontal y vertical no son compatibles con las características necesarias para el tren de pasajeros a alta velocidad, sin embargo, se propone y concluye que para poder hacer realidad la posibilidad de un tren de alta velocidad entre ambas ciudades, se debe trazar una nueva vía.



Índice de Contenido

Agradecimientos	3
Resumen	4
Índice de Contenido	5
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	7
1. INTRODUCCION	9
2. MARCO TEORICO	10
2.1 Antecedentes	10
2.2 Casos Similares	16
2.3 Metodología	24
2.4 Normatividad	27
2.5 Características de las vías de alta velocidad	30
3. METODOLOGIA	32
3.1 Revisión de vía existente	32
3.1.2 Revisión de diseño	62
4. RESULTADOS	65
4.1 Modificaciones	65
4.1.1 Elementos para modificar	67
4.2 Estado Modificado	69
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6. 99	
Anexos	78
Curriculum Vitae	80



Índice de Tablas

Tabla 1: Prestaciones comerciales ofrecidas por el ferrocarril en los inicios de la década de los años 70 (Ubalde, 2005).	18
Tabla 2: Reducción del tiempo de viaje en algunos corredores alemanes con la introducción de los servicios ICE (Ubalde, 2007).	18
Tabla 3: Kilómetros de rutas de la red ferroviaria compartida y dedicada (National Transport Commission, 2016).	21
Tabla 4: Principales diferencias entre el Sistema ferroviario entre Estados Unidos y Europa (Pouryousef, 2015).	22
Tabla 5: Velocidad máxima de operación de los trenes (Aleman, 2018).	26
Tabla 6: Medidas del escantillón según tipo de vía (Aleman, 2018).	26
Tabla 7: Comparación entre diferentes compañías ferroviarias alrededor del mundo (Lindahl, 2001).	27
Tabla 8: Comparación de parámetros de diseño geométrico, normativas y reglamentos de algunos países alrededor del mundo (Claudio y García, 2019).	28
Tabla 9: Características actuales de viaje entre Chihuahua y Ciudad Juárez.	31
Tabla 10: Descripción detallada de los laderos a lo largo de la vía férrea.	33



Índice de Figuras

Figura 1: Riel de Jessop (Pistono s.f.).....	11
Figura 2: Riel Vignole (Pistono s.f.).....	13
Figura 3: Superestructura en una vía férrea (Montoya, 2020).	17
Figura 4: Red ferroviaria en Australia (National Transport Commission, 2016).....	20
Figura 5: Corredores designados para transporte de pasajeros a alta velocidad interurbano (FRE, 2016).	24
Figura 6: Mapa de la red férrea para transporte de pasajeros en Estados Unidos (FRA, 2016).....	24
Figura 7: Mapa de la red férrea para transporte de mercancía en Estados Unidos (FRA, 2011).....	25
Figura 8: Mapa del estado de Chihuahua (INEGI, 2014).	30
Figura 9: Vía Férrea entre Chihuahua y Ciudad Juárez (openrailwaymap.org, 2021).....	30
Figura 10: Estación de Ferromex en Chihuahua, Chih., en las coordenadas 394677.00 m E, 3170597.0 m N (Google Maps, 2021).....	34
Figura 11: Estación de Ferromex en Chihuahua, Chihuahua.....	34
Figura 12: Estación de Ferrocarriles Mexicanos en Ciudad Juárez, Chih., en las coordenadas 359887.0 m E, 3411410.0 m N (Google Maps, 2021).	35
Figura 13: Estación de Ferrocarriles Mexicanos en Ciudad Juárez, Chihuahua.....	35
Figura 14: Vía férrea en el km 0+656 (Google Earth, 2021).	36
Figura 15: Vía férrea en el km 1+232 (Google Earth, 2021).	37
Figura 16: Vía férrea en el km 1+232 (Google Earth, 2021).	37
Figura 17: Vía férrea en el km 2+370 (Google Earth, 2021).	38
Figura 18: Vía férrea en el km 3+379 (Google Earth, 2021).	39
Figura 19: Vía férrea en el km 4+000 (Google Earth, 2021).	39
Figura 20: Vía férrea en el km 4+472 (Google Earth, 2021).	40
Figura 21: Vía férrea en el km 4+860 (Google Earth, 2021).	40
Figura 22: Vía férrea en el km 5+190 (Google Earth, 2021).	41
Figura 23: Vía férrea en el km 5+405 (Google Earth, 2021).	41
Figura 24: Vía férrea en el km 5+722 (Google Earth, 2021).	42
Figura 25: Vía férrea en el km 6+480 (Google Earth, 2021).	42
Figura 26: Vía férrea en el km 8+084 (Google Earth, 2021).	43
Figura 27: Vía férrea en el km 8+580 (Google Earth, 2021).	44
Figura 28: Vía férrea en el km 15+050 (Google Earth, 2021).	44
Figura 29: Vía férrea en el km 24+339 (2021).	45
Figura 30: Vía férrea en el km 24+339 (2021).	46
Figura 31: Vía férrea en el km 37+965 (2021).	47
Figura 32: Vía férrea en el km 37+965 (2021).	47
Figura 33: Vía férrea en el km 48+280 (Google Earth, 2021).	48
Figura 34: Vía férrea en el km 48+280 (2021).	48
Figura 35: Vía férrea en el km 48+280 (2021).	49
Figura 36: Vía férrea en el km 48+280 (2021).	50
Figura 37: Vía férrea en el km 91+555 (2021).	51
Figura 38: Vía férrea en el km 91+555 (2021).	52
Figura 39: Vía férrea en el km 91+555 (2021).	52
Figura 40: Vía férrea en el km 111+580 (Google Earth, 2021).....	53

Figura 41: Vía férrea en el km 116+580 (Google Earth, 2021).	53
Figura 42: Vía férrea en el km 144+000 (Google Earth, 2021).	54
Figura 43: Vía férrea en el km 144+199 (2021).	55
Figura 44: Vía férrea en el km 153+310 (Google Earth, 2021).	56
Figura 45: Vía férrea en el km 153+502 (2021).	57
Figura 46: Vía férrea en el km 307+488 (2021)	58
Figura 47: Vía férrea en el km 157+724 (2021).	58
Figura 48: Vía férrea en el km 157+724 (2021).	59
Figura 49: Vía férrea en el km 157+724 (2021).	59
Figura 50: Vía férrea en el km 157+724 (2021).	60
Figura 51: Vía férrea en el km 157+724 (2021).	60
Figura 52: Vía férrea en el km 187+980 (Google Earth, 2021).	61
Figura 53: Vía férrea en el km 189+188 (2021).	62
Figura 54: Vía férrea en el km 225+280 (Google Earth, 2021).	63
Figura 55: Vía férrea en el km 228+020 (Google Earth, 2021).	63
Figura 56: Vía férrea en el km 228+501 (2021).	64
Figura 57: Vía férrea en el km 228+720 (Google Earth, 2021).	65
Figura 58: Vía férrea en el km 230+210 (Google Earth, 2021).	65
Figura 59: Vía férrea en el km 232+780 (Google Earth, 2021).	66
Figura 60: Vía férrea en el km 244+830 (Google Earth, 2021).	66
Figura 61: Vía férrea en el km 262+910 (Google Earth, 2021).	67
Figura 62: Vía férrea en el km 281+790 (Google Earth, 2021).	67
Figura 63: Vía férrea en el km 295+560 (Google Earth, 2021).	68
Figura 64: Vía férrea en el km 300+900 (Google Earth, 2021).	68
Figura 65: Vía férrea en el km 306+990 (Google Earth, 2021).	69
Figura 66: Vía férrea en el km 307+488 (2021)	70
Figura 67: Vía férrea en el km 307+488 (2021).	71
Figura 68: Vía férrea en el km 307+488 (2021)	71
Figura 69: Vía férrea en el km 307+690 (Google Earth, 2021).	72
Figura 70: Vía férrea en el km 312+738 (2021).	73
Figura 71: Vía férrea en el km 312+738 (2021).	73
Figura 72: Vía férrea en el km 322+880 (Google Earth, 2021).	74
Figura 73: Vía férrea en el km 336+980 (Google Earth, 2021).	74
Figura 74: Vía férrea en el km 337+930 (2021).	75
Figura 75: Vía férrea en el km 337+930 (2021).	76
Figura 76: Vía férrea en el km 339+820 (Google Earth, 2021).	76
Figura 77: Vía férrea en el km 339+910 (2021).	77
Figura 78: Vía férrea en el km 343+730 (Google Earth, 2021).	77
Figura 79: Vía férrea en el km 343+900 (Google Earth, 2021).	78
Figura 80: Vía férrea en el km 346+209 (Google Earth, 2021).	78
Figura 81: Vía férrea en el km 347+823 (Google Earth, 2021).	79
Figura 82: Vía férrea en el km 348+248 (Google Earth, 2021).	79
Figura 83: Vía férrea en el km 349+442 (Google Earth, 2021).	80
Figura 84: Vía férrea en el km 349+919 (Google Earth, 2021).	80
Figura 85: Vía férrea en el km 351+461 (Google Earth, 2021).	81
Figura 86: Vía férrea en el km 353+075 (Google Earth, 2021).	81
Figura 87: Vía férrea en el km 353+566 (Google Earth, 2021).	82

Figura 88: Vía férrea en el km 354+726 (Google Earth, 2021).	82
Figura 89: Vía férrea en el km 355+282 (Google Earth, 2021).	83
Figura 90: Vía férrea en el km 357+530 (Google Earth, 2021).	83
Figura 91: Vía férrea en el km 358+254 (Google Earth, 2021).	84
Figura 92: Vía férrea actual entre Chihuahua y Ciudad Juárez, zonas delimitadas.	85
Figura 93: Zona 1 del km 17+250 al 88+450.	86
Figura 94: Zona 2 del km 92+000 al km 134+800.	86
Figura 95: Zona 3 del km 228+650 al km 327+700.	87
Figura 96: Vía propuesta(azul) y vía actual(amarillo) entre Chihuahua y Ciudad Juárez.	88
Figura 97: Zona 1 del km 17+250 al 88+450, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).	89
Figura 98: Zona 2 del km 92+000 al km 134+800, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).	89
Figura 99: Zona 3 del km 228+650 al km 327+700, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).	90
Figura 100: Elementos de sujeción en vía férrea.	91
Figura 101: Granulometría para balasto propuesta para la vía (Anexo 8 del Estudio Informativo de la Red Arterial Ferroviaria de Elche, España).	92
Figura 102: Sección transversal de la vía propuesta.	96

1. INTRODUCCION

A lo largo de esta investigación se abordan temas conexos al transporte de pasajeros y vías férreas (tradicionales y de alta velocidad), los cuales, al fusionarse, pueden brindar soluciones eficientes a la comunidad. Ya que, la investigación es una propuesta técnica de una vía férrea entre Chihuahua y Ciudad Juárez para el transporte de pasajeros a alta velocidad, es necesario brindar contexto.

Para esto, se muestran inicialmente algunos antecedentes, los cuales permiten dar entendimiento general sobre la evolución que se ha presentado referente al tema, así mismo, se exponen algunos casos similares que enseñan la viabilidad de la propuesta, siempre que se cumplan ciertos parámetros y normas.

Además, se analizaron diversas normativas que existen a nivel mundial, las cuales abarcan el tema de tránsito de mercancías y tránsito de pasajeros sobre las mismas vías férreas, así como normativas relativas al transporte de pasajeros a alta velocidad, con el fin de determinar los parámetros y condicionales que se deben cumplir para la implementación del sistema.

Para lograr lo anterior, se realizó un análisis de la vía férrea actual, posteriormente se determinaron las características y parámetros que tiene actualmente la vía con el fin de analizar y comparar con aquellos parámetros necesarios para el transporte de pasajeros a alta velocidad. Finalmente, se determinó la viabilidad de la vía férrea para realizar un tránsito mixto y, como es el caso se obtuvo un resultado negativo, por lo que se realizó una propuesta que permita el transporte de pasajeros a alta velocidad y el transporte de mercancía.

Se persigue que esta investigación sirva como parteaguas para futuras investigaciones y que en caso de ser necesario se realicen investigaciones más profundas y en diversos temas para brindar un panorama global y así determinar la viabilidad de la propuesta desde diversos ángulos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Desde el siglo XVI en Inglaterra se inició con la idea del transporte de vagones sobre rieles, inicialmente siendo los rieles de madera y los vagones impulsados por tracción animal, los cuales transportaban carbón desde las minas hasta los canales para un posterior transporte fluvial (Pistono, s.f.). Continuando con la evolución del riel, hay que remontarse al siglo XVIII, en 1738, a inicios de la Revolución Industrial, en donde para aumentar la eficiencia (carga y tiempo) del transporte de mercancía, se implementó una placa de hierro fundido sobre los carriles de madera como medio de protección. Finalmente, en 1767, se creó el primer riel en hierro fundido con perfil en U o L, con dimensiones de 1.5 m de largo y 0.11 m de anchura ubicados sobre durmientes de madera (Pistono, s.f.).

A pesar de estas mejoras, se siguieron presentando problemas debido al ambiente en el que se encontraban, en específico la acumulación de polvo y barro, los cuales generaban dificultad al paso de la rueda, por lo que en 1789, William Jessop, construyó una línea férrea con cara de apoyo plano (Figura 1) y la rueda tenía el reborde de L, dicha invención sería el primer guiado por pestaña, el cual brindaba la misma resistencia al momento flector entre apoyos, aumentando la dimensión vertical de la viga según aumenta la distancia al apoyo (durmiente) (Pistono, s. f.).

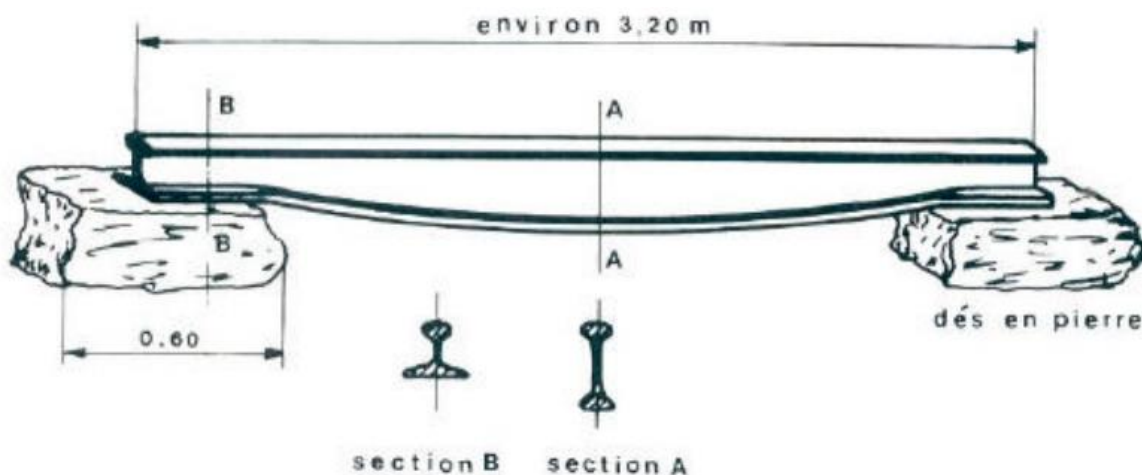


Figura 1: Riel de Jessop (Pistono s.f.).

A pesar de los avances presentados sobre la cimentación de los vagones, en el año 1802 en Inglaterra, Richard Trevithick presentó la locomotora de vapor, la cual lograba llevar un convoy de 5 vagones, que totalizaban 5 toneladas adicionales al peso propio de la

locomotora de 8 toneladas, a una velocidad de 8 km/h, cuyas vías al estar colocadas sobre madera sin otra cimentación, se hundían en el terreno y eran incapaces de mantener adecuadamente el peso mencionado, lo que generó que fuera considerado como transporte de carga, principalmente de carbón (Pistono, s. f.).

En 1812, se puso en servicio el tren cremallera, cuyos carriles llevaban dientes de hierro soldados a los lados exteriores, de tal forma que las ruedas engranaban en los carriles dentados en lugar de deslizarse sobre estos. Permitiendo que se superaran problemas tales como peso de la maquinaria o pendientes elevadas (Pistono, s. f.).

Posteriormente, en 1825 apareció George Stephenson, quien logró que la invención anterior pudiera transportar hasta 30 toneladas de carbón a una velocidad de 7 km/h y estableció el ancho de vía de 4'8½" (1435 mm); pero no satisfecho, diez años después logró transportar 450 personas desde Darlington hasta la estación Stockton a una velocidad de 24 km/h. En 1830, se inauguró la primera línea de pasajeros, que hacía el recorrido Liverpool-Manchester, con un recorrido de 46 km (CurioSfera, 2020). Los rieles utilizados eran tipo Jessop, la mitad de hierro pudelado maleable y la otra mitad con hierro colado, pesaban 12 kg/m, tenían una altura de 2" en asiento y 3¼" en el centro (Pistono, s. f.).

En simultáneo, en 1830, el estadounidense Robert Livingstone concibió el perfil moderno, con placa de apoyo en la parte inferior y bulbo en la parte superior, sobre el que se apoya la rueda, no obstante, dicho diseño es presentado por Charles Blacker Vignoles en Europa, designado Vignole, como se observa en la Figura 2, es aquel diseño el que ha sido utilizado hasta la fecha presentando variaciones en dimensionamiento.

En la actualidad, los rieles se fijan directamente a los durmientes, y tienen una longitud de más de 250 m y éstos se unen por medio de soldadura en sus extremos formando un carril continuo (Pistono, s. f.).

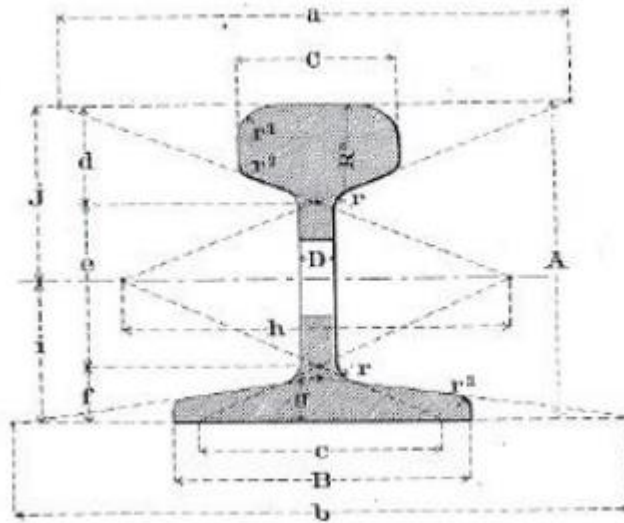


Figura 2: Riel Vignole (Pistono s.f.).

Reanudando el tema de las locomotoras, en 1848, Thomas Russel Crampton en la línea belga Lieja-Namur, logró por primera vez superar los 100 km/h, de tal forma que, se inicia el transporte de pasajeros y así mismo los vagones se fueron adecuando cada vez más para brindar comodidad a los mismos (CurioSfera, 2020).

El siguiente gran avance tecnológico, inicia su planeación antes de la Segunda Guerra Mundial en Japón, no obstante, años después en 1964 se inauguró el primer tren bala, cuya velocidad era de 210 km/h, llamado *Shinkansen* en la línea Tokaido, desde la estación de Mishima, hasta la estación de Shin-Osaka, separadas por 403 km y cuyo trayecto se completaba en 2.5 horas. Debido a los avances presentados en Japón, se exteriorizó un impulso en diversas ciudades alrededor del mundo por invertir en la tecnología de trenes de alta velocidad, como en el caso de Francia, que en 1981 presentó el TGV (*Train á Grande Vitesse*) el cual logró una velocidad máxima de 280 km/h en la línea Paris-Lyon. De manera simultánea, Alemania inauguró el ICE (*InterCity Express*) en 1991, el cual podía alcanzar una velocidad máxima de 280 km/h (CurioSfera, 2020).

Así mismo, se puede considerar el caso de India, quien actualmente tiene una red bastante amplia que abarca más de 12,000 km de vías férreas en todo el país, por las cuales se transportan más de 14,300 trenes cada día, permitiendo que más de 23 millones de personas se muevan por el sistema diariamente. Sin embargo, sus inicios fueron en 1853,

cuando transportaron por primera vez 400 pasajeros distribuidos en 14 vagones, los cuales eran impulsados por tres motores bautizados Sindh, Sahib y Sultan, recorriendo una distancia de 34 km. En los siguientes 7 años se consolidaron más líneas, y se alcanzaron cerca de 6,500 km de vía férrea, y para 1860 habían ya 8 diferentes compañías a cargo de los ferrocarriles en India (Shweta, 2018).

Entre 1870 y 1900, se aumentó la longitud de vías hasta casi 14,500 km, principalmente alrededor de Bombay, Calcuta y Madrás, adicionalmente se creó el primer tren de montaña conocido bajo el nombre *Darjeeling Himalayan*, que conectaba las montañas con las principales ciudades. Décadas después, entre 1925 y 1946, se presentaron los trenes eléctricos, lo que permitió que el sistema creciera y lograra transportar 620 millones de personas al año. Para 1980, ya se tenían conexiones entre India y Pakistán, creando la primera estación suburbana en Mumbai. De este año en adelante se implementaron diversas tecnologías, lo que permitió que la implementación de metros y monorrieles en las ciudades, así como un sistema de reservas y la adición de 4.5 billones de km al sistema, logrando como se dijo al inicio que tenga un sistema con más de 12,000 km de vías férreas (Shweta, 2018).

De la misma forma se puede analizar la evolución del ferrocarril en China, el cual inició en 1881, con una línea de 10 km para el tráfico de las minas de carbón, desde Tangshan hasta Xugezhuang. En 1911, se habían completado cerca de 9,000 km de vías férreas principalmente radiales hacia Tianjin o Guangzhou, al mismo tiempo se lograron conexiones internacionales con Vietnam y Hong Kong. Las guerras que se presentaron en los años siguientes marcaron un avance lento en el ámbito ferroviario. Sin embargo, al finalizar la Segunda Guerra Mundial se adicionaron 8,000 km más al sistema ya construido, dejando otros 19,000 km con daños debido a los sabotajes presentados en dichos eventos. Entre las décadas de 1980 al 2000, se realizaron cambios graduales de máquinas de vapor a locomotoras diésel y eléctricas (Casanovas, 2011).

A pesar de tener un sistema que abarca tanto territorio, se presentó un colapso de las líneas debido al volumen de tráfico, ya que las líneas Beijing-Shangai y Beijing-Guangzhou tenían un volumen de 145.2 y 144.6 millones de pasajeros al año, respectivamente. Debido a lo anterior, generó que se plantearan medidas como desdoblamiento de 13,575 km y electrificación de 18,066 km, lo que provocó un aumento del 90% comparado con la capacidad ferroviaria de los años 1990s, mejoras presentadas en tan solo 20 años. Para

continuar con las mejoras, en el 2004 se presentó un plan para aumentar el sistema y lograr superar los 100,000 km de vías férreas, de las cuales se proyectaron 12,000 km para transporte de pasajeros entre las principales ciudades, distribuidos en 8 líneas diferentes de transporte interurbano donde se alcanzarían velocidades entre 200 y 350 km/h, con esto lograron por ejemplo que en una línea de 1,000 km de longitud, se alcanzaran velocidades de 300 km/h y cuyo trayecto pasara a ser de 11 horas a poco más de 3 horas (Casanovas, 2011). Así han ido evolucionando los trenes de alta velocidad en China, en donde se continúa introduciendo trenes ultrarrápidos, que logran velocidades entre 200 y 380 km/h. Para el 2011, se logró superar el récord interno y alcanzar los 487.3 km/h, logrando una media de 388 km/h y cuyo trayecto 220 km fue realizado en 34 minutos (Casanovas, 2011).

El caso de los Estados Unidos de América (EE. UU.), a pesar de tener tantos desarrollos tecnológicos en diversas áreas, tiene ciertas falencias en cuanto al transporte de pasajeros a alta velocidad, teniendo en cuenta la definición de trenes de alta velocidad que son aquellos que superan los 200 km/h, y se encuentran asociados a servicios de alta calidad y seguridad para el usuario. Esto se debe a la gran diversificación que existe entre lo técnico, lo político y lo financiero, lo que conlleva a que se presenten 3 tendencias diferentes: la primera, la adaptación de las líneas existentes, la segunda, trenes de muy alta velocidad y la última, trenes de alta velocidad según conceptos globales (Schorung, 2019).

En EE. UU., el término de alta velocidad está regulado por el Congreso y la Administración Federal de Ferrocarriles, las cuales han presentado los siguientes estatutos (Schorung, 2019):

- Programa de Corredor Ferroviario de Alta Velocidad (1991): Donde las velocidades del ferrocarril sean de 90 mi/h (145 km/h) o más se puedan alcanzar razonablemente en el futuro;
- Asistencia de Trenes de Alta Velocidad (1994): Razonablemente esperado para alcanzar velocidades sostenidas de más de 125 mi/h (200 km/h), y;
- Programa de Desarrollo del Corredor Ferroviario de Alta Velocidad (2008): Razonablemente esperado para alcanzar velocidades de al menos 110 mi/h (170 km/h).

Sin embargo, para el 2009, la Administración Federal de Ferrocarriles adoptó la siguiente definición: *“servicio que es competitivo en tiempo con los viajes aéreos y/o terrestres en un corredor interurbano determinado”*. Se basa en tres categorías: Corredores

Emergentes (con velocidades máximas entre 145 km/h y 180 km/h), Corredores Regionales (con velocidades máximas entre 180 km/h y 240 km/h en líneas específicas) y, Corredores Centrales Express (con velocidad mínima de 240 km/h en líneas específicas). Estas definiciones fueron adaptadas para la integración al corredor Noreste, a algunos corredores identificados en la iniciativa “*Obamarail*”.

A pesar de la presentación de nuevos proyectos enfocados en ferrocarriles de alta velocidad (enfoque global), la planeación de estos no se encuentra en el centro de discusión diplomática, los proyectos enfocados a alta velocidad se encuentran en mejorar los corredores actuales e intentar volverlos corredores de alta velocidad como el corredor Noreste. El proyecto que se está desarrollando en el estado de California, aunque cuenta con infraestructura nueva dedicada a la alta velocidad, también considera la mejora de estructura existente (Schorung, 2019).

Dejando a un lado la historia de los trenes de pasajeros en diferentes países, es importante definir los componentes de las vías férreas, las cuales están compuestas por tres partes, la infraestructura, la superestructura y las instalaciones ferroviarias, todas están se definen a continuación:

La infraestructura es “*el conjunto de obras de tierra y de fábrica necesarias para construir la plataforma sobre la que se apoya la superestructura de la vía. Entre las obras de tierra podemos encontrar terraplenes, trincheras y túneles mientras que en las obras de fábrica encontramos puentes, viaductos, drenajes y pasos a desnivel*” (Eadic, 2015).

La superestructura es “*el conjunto integrado por los carriles, contracarriles, durmientes, placas de sujeción, aparatos de vía y el lecho elástico, el cual se encuentra formado por balasto y sus respectivas capas de asiento sobre el cual estos elementos se apoyan*” (Eadic, 2015)

En la Figura 3, se muestran los elementos mencionados anteriormente para mayor entendimiento.

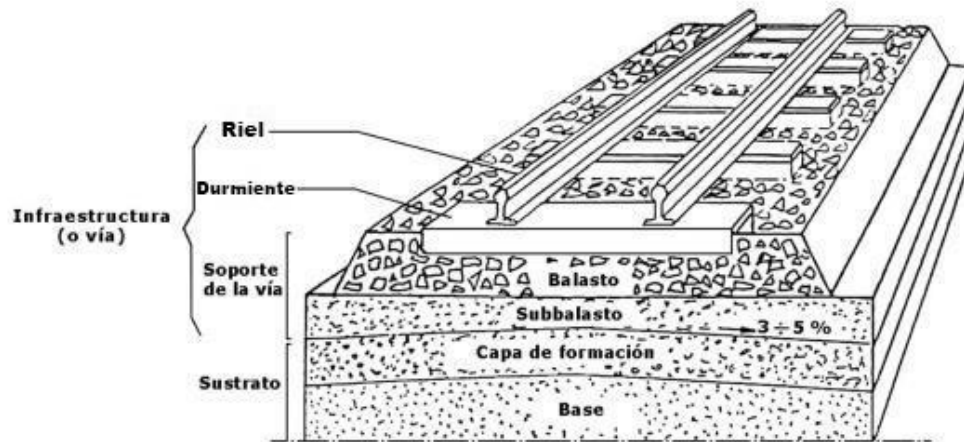


Figura 3: Superestructura en una vía férrea (Montoya, 2020).

Y finalmente, las instalaciones ferroviarias son todos aquellos dispositivos, aparatos o sistemas que brindan comunicación, señalización y seguridad en el sistema, entre estos elementos podemos encontrar instalaciones de electrificación (líneas aéreas, subestaciones), telecomunicaciones fijas y móviles, entre otros (Eadic, 2015).

2.2 Casos Similares

En cuanto a los diferentes casos similares que se presentan, se puede encontrar que hay poca información publicada, sin embargo, lo recabado se muestra a continuación.

Inicialmente está el caso de Alemania, el cual para la década de los años 1970s presentaba saturación en algunos de los principales corredores. Esto generó que en 1991 se analizara la explotación de las primeras líneas de alta velocidad para las líneas Hannover-Würzburg, de 326 km y, la línea Mannheim-Stuttgart, de 99 km de longitud, de aquí se obtuvo una nueva infraestructura que permitía el tránsito de alta velocidad por ramas específicas del *InterCity Express* (ICE) cuya velocidad promedio era de 250 km/h y el tránsito de trenes de mercancías con velocidades máximas de 120 km/h (Ubalde, 2005).

Es importante mencionar que, debido a la alta densidad poblacional presente en Alemania, en comparación con Francia en la década de los años 1970s, la cual era de 230 habitantes por km² para Alemania, mientras que Francia era 108 habitantes por km², se debía tener un trazado con más estaciones y, por lo tanto, las velocidades menores en Alemania, lo cual generaba velocidades comerciales menores en comparación con Francia y Reino Unido, en el mismo periodo de tiempo (Ubalde, 2005).

Con base en lo anterior, Alemania consideró dos actuaciones, la primera hacía referencia a la modernización de los trazados existentes, cuyo resultado fue el aumento de velocidades comerciales máximas que para el año 1960 eran de 100 km/h, como se puede observar en la Tabla 1, aumentaron a 200 km/h en los años 1980s. La segunda presentaba la construcción de nuevas líneas las cuales fueron las mencionadas en párrafos anteriores Mannheim-Stuttgart (1973) y Hannover-Würzburg (1976) mientras, en la Tabla 2, se muestran algunas características que se presentaron con la introducción del ICE (Ubalde, 2005).

Tabla 1: Prestaciones comerciales ofrecidas por el ferrocarril en los inicios de la década de los 1970s (Ubalde, 2005).

Relación (Longitud)	Tiempo de viaje	Velocidad Comercial
Colonia - Stuttgart (386 km)	3 h 55 min	98 km/h
Colonia - Frankfurt (223 km)	2 h 55 min	92 km/h
Hannover - Múnich (635 km)	6 h	106 km/h
Frankfurt - Hamburgo (527 km)	4 h 50 min	109 km/h
Frankfurt - Stuttgart (210 km)	2 h 10 min	97 km/h

Tabla 2: Reducción del tiempo de viaje en algunos corredores alemanes con la introducción de los servicios ICE (Ubalde, 2007).

Corredor	Tiempo de Viaje		Tiempo Ahorrado	Reducción porcentual
	Año 1990 IC (200 km/h)	Año 1991 ICE (250 km/h)		
Hamburgo - Stuttgart	6 h 55 min	5 h 01 min	1 h 54 min	28%
Hannover - Stuttgart	5 h 37 min	3 h 48 min	1 h 49 min	32%
Frankfurt - Stuttgart	2 h 11 min	1 h 22 min	49 min	38%
Hamburgo - Frankfurt	4 h 37 min	3 h 35 min	1 h 02 min	22%
Hannover - Frankfurt	3 h 19 min	2 h 22 min	57 min	29%

Analizando el tráfico compartido en Alemania, se exteriorizó una situación cuando se estaban haciendo los preparativos para los servicios de alta velocidad. Se presentó un

debate entre el Ministerio de Transporte y la Dirección Ferroviaria, donde discutían sobre si las líneas nuevas debían ser dedicadas únicamente al transporte de pasajeros o si tendrían tráfico compartido, esta discusión generó retrasos en la línea Cologne-Frankfurt (la cual estaba planeada como la primera línea de alta velocidad), la cual después de argumentación, se definió que sería una línea de alta velocidad con tráfico compartido (Ebeling, 2005).

Tras la experiencia presentada en otras líneas, se reveló que el transporte de mercancías debía tener ciertas restricciones para su tránsito libre. Inicialmente, se detectó que era imposible tener un horario para transporte de mercancías en el día, debido a las diferencias de velocidades presentes entre el transporte de pasajeros y transporte de carga. En segundo lugar, los mantenimientos requeridos en las líneas de alta velocidad solo se podían realizar en horario nocturno y, finalmente el argumento que beneficiaba a la separación de tráficos, era la diferencia de peso que tenían los trenes de pasajeros y los trenes de mercancía. La primera línea que contó con servicios compartidos fue la Hannover-Würzburg, sin embargo, el transporte de mercancías por esta línea fue discontinuado de su horario matutino debido a las razones enunciadas. Para el año 2005, se tenían trenes pesados de mercancías saliendo cada 6 minutos en la noche andando a una velocidad entre 120 km/h y 160 km/h dependiendo del tamaño de su carga (Ebeling, 2005).

Como dato curioso tenemos el caso de Australia, país con una extensión de más de 7.5 millones de km² y una población de 25.7 millones de habitantes, esto muestra que es un país con 3.4 habitantes por km². Sin embargo, estos se encuentran concentrados en 7 ciudades, las cuales se encuentran en las costas y a largas distancias entre ellas. En consecuencia, estas grandes distancias favorecen al transporte aéreo de pasajeros, mientras que el transporte de mercancía cuenta con un sistema que abarca 32,894 km de vías férreas, las cuales por motivos históricos tienen distintos anchos de vía o escantillón, ancho (1600 mm), estándar (1435 mm) y estrecho (1067 mm), y de las cuales solo el 10% están electrificadas (Fernández, 2020).

En la Figura 4, se pueden observar diferentes colores en la red ferroviaria, esta división hace referencia a la diferencia de anchos de escantillón presentes en el país, en donde el color rojo representa los anchos de vía estándar de 1,435 mm en las redes interestatales, el color naranja representa los anchos de vía estrechos de 1,067 mm, en color amarillo se

observan las vías con ancho de vía estándar en las ciudades y finalmente en color verde se observa el ancho de vía ancho de 1600 mm.

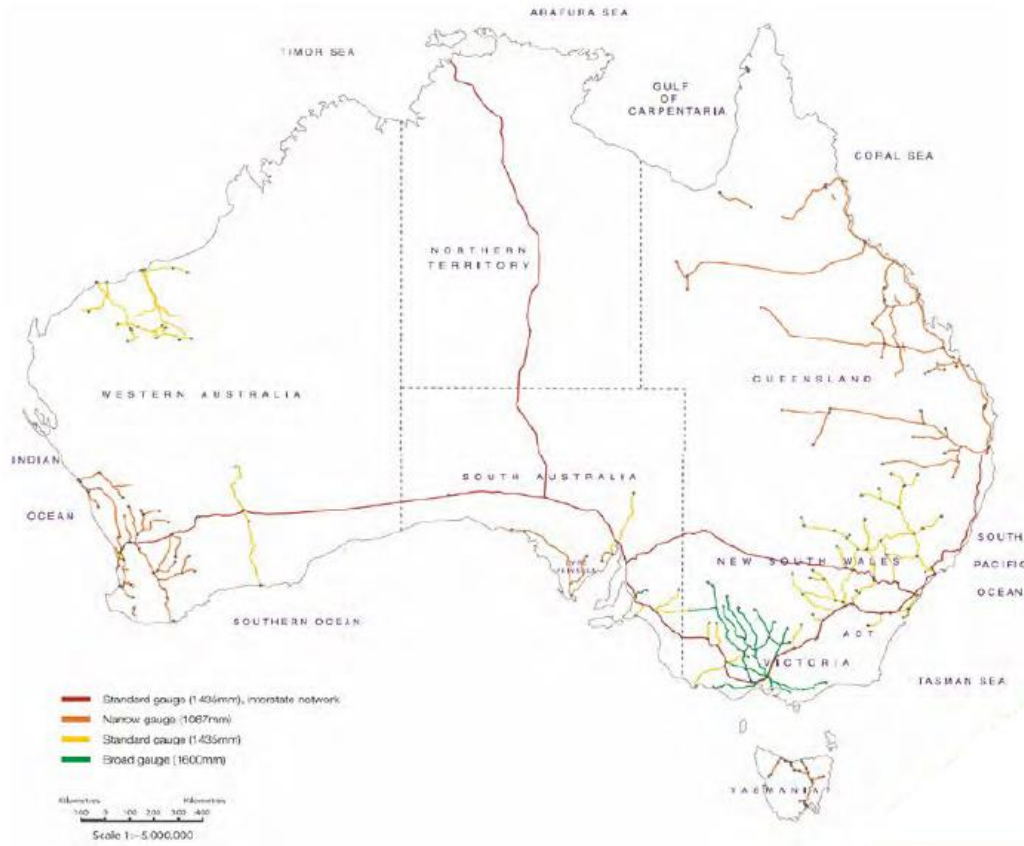


Figura 4: Red ferroviaria en Australia (National Transport Commission, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, la diferencia de anchos de vía presentó la segregación de tráfico, ya que se presentaba un escantillón estándar para transporte de mercancías y un ancho estrecho para transporte de pasajeros adicional. Con esto, en junio del año 2015 se presentó el *Regional Rail Link*, lo que generó que se presentara aún más segregación de los tipos de tráfico.

A continuación, se presenta la Tabla 3 en la cual se observan los tráficos presentes en las diferentes ciudades principales de Australia (National Transport Commission, 2016).

Tabla 3: Kilómetros de rutas de la red ferroviaria compartida y dedicada (National Transport Commission, 2016).

Ciudad	Líneas solo pasajeros	Líneas solo mercancía	Compartida pasajeros/mercancía	Total
Sydney	190	70	156	416
Melbourne	232	59	171	462
Brisbane	90	81	140	311
Adelaide	126	62	30*	188
Perth	173	121	1	295

* Servicios de mercancías de escantillón ancho, cesaron durante el 2014

En el caso de los Estados Unidos, se puede analizar la evolución que se ha presentado en el ámbito ferroviario. Antes de 1970, las empresas privadas brindaban servicios de transporte de mercancías y pasajeros, siendo el ferrocarril el medio de transporte dominante entre ciudades a finales del siglo XIX. Sin embargo, a mediados del siglo XX debido al rápido crecimiento de las vías carreteras, los vehículos motorizados y el sistema aéreo, se presentaron dificultades en el sistema férreo. En 1970, con ánimo de preservar la red del sistema de transporte de pasajeros y proteger la pérdida de dinero de las compañías privadas transportadoras, el Congreso creó la Corporación Nacional de Pasajeros de Ferrocarriles (*Amtrak*). La corporación gubernamental ayudó a preservar una pequeña porción del sistema interurbano a nivel nacional, al tiempo que permitió que las compañías privadas transfirieran el transporte de pasajeros a *Amtrak*. Pero aún y los esfuerzos del gobierno, debido a la continua pérdida de dinero del servicio ferroviario de pasajeros, se necesitó continuo soporte financiero por parte del Congreso (Randall, 2009).

Desde la creación de *Amtrak*, se han presentado continuas controversias, por un lado, los defensores del servicio ferroviario solicitan más fondos y, por otro lado, los críticos solicitan que se acabe el soporte financiero federal al servicio ferroviario de pasajeros. Debido a la ausencia de decisión sobre el debate, el Congreso continúa dando soporte financiero al sistema, siendo este soporte el necesario para su supervivencia, pero no el suficiente para ofrecer mejoras significativas al servicio o mantenimiento a las infraestructuras para obtener el buen estado de estas (Randall, 2009)

Es importante destacar algunas diferencias que se presentan entre Estados Unidos y países en donde se manejan los trenes de alta velocidad, tales como Alemania, Francia y Japón, de estos últimos cabe destacar las siguientes características (Randall, 2009):

- Tienen densidad poblacional alta;
- Áreas de tierra pequeñas;
- Niveles más bajos de propiedad en autos;
- Precios altos en combustibles;
- Bajos niveles de uso de automóviles;
- Altos niveles de disponibilidad de transporte público, y;
- Las redes ferroviarias pertenecen al gobierno.

Tabla 4: Principales diferencias entre el Sistema ferroviario entre Estados Unidos y Europa (Pouryousef, 2015).

	Red Ferroviaria EE.UU.	Red Ferroviaria Europea
Infraestructura	Infraestructura ferroviaria de propiedad privada Doble vía bidireccional / vía única Apartaderos más largos/yardas Cargas por eje más altas Muchos pasos a nivel existentes	Infraestructura ferroviaria de propiedad pública Doble vía direccional Distancia más cortas entre apartaderos/yardas Grandes radios en curvas horizontales
Señalización	Algunos corredores aún se encuentran bajo operación de bloqueo manual	La mayoría de los corredores se encuentran bajo sistemas de señalización
Operación	Transporte de mercancías (mayoría) Patrón de operaciones no estructuradas	Transporte de pasajeros (mayoría) Patrón de operaciones estructurada (mercancía, pasajeros) Mayor puntualidad en trenes de mercancía y pasajeros (retrasos breves)
Material Rodante	Trenes de mercancía más largos y más pesados Diversidad en trenes de mercancía	Más rápidos y modernos trenes de pasajeros (HSR) Diversidad en trenes de pasajeros

Como se describe en la Tabla 5, se observa que las redes ferroviarias en Estados Unidos en su mayoría son de compañías privadas, las cuales se inclinan o favorecen el transporte de mercancía, no obstante, teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente, se entiende que el volumen de pasajeros tiende a ser interurbano y, se estima que este representa menos del 10% del total de millas recorridas por pasajeros en carretera (Randall, 2009). Así mismo, hay estudios que comprueban que hay ciudades americanas, en donde el auto es una de las bases principales para construir su vida, ciudades sureñas y occidentales tales como Atlanta, Houston, Los Ángeles y Phoenix y, en cambio, se tiene la sensación, a nivel nacional, que el tren de pasajeros es un lujo debido al alto costo y que es principalmente utilizado por personas adineradas. No obstante, se logra una comparación, en

la cual por menos dinero de lo que cuesta construir un sistema de alta velocidad para pasajeros, se podrían construir avenidas de clase mundial y sistemas de aviación y de autobuses con servicios de primera clase (Feigenbaum, 2013).

A pesar de lo anteriormente mencionado, entre 1992 y 2004, la Administración Federal de Ferrocarriles (FRA, por sus siglas en *inglés: Federal Railroad Administration*) en conjunto con *Amtrak*, designan 10 corredores férreos de alta velocidad para pasajeros (FRA, 2016):

- Corredor Medio-Oeste: Conectando Chicago (IL) con Detroit (MI), con St. Louis (MO), y Milwaukee (WI);
- Corredor Florida: Conectando Miami con Orlando y Tampa;
- Corredor California: Conectando San Diego y Los Ángeles con Bay Area y Sacramento por medio de San Joaquin Valley;
- Corredor Sureste: Conectando Charlotte (NC), Richmond (VA) y Washington (DC);
- Corredor Pacifico Noroeste: Conectando Eugene y Portland (OR) con Seattle (WA), con Vancouver (BC, Canadá);
- Corredor Gulf Coast;
- Corredor Keystone: Conectando Philadelphia con Harrisburg (PA);
- Corredor Empire State: conectando New York City (NY) con Albany (NY) y Búfalo (NY);
- Extensión del Corredor Sureste: Desde Charlotte hasta Greenville (SC) hasta Atlanta (GA), hasta Macon (GA). Desde Raleigh a Columbia (SC) hasta Savannah (GA) y Jacksonville (FL);
- Extensión del Corredor Medio-Oeste (Llamado Corredor Chicago Hub): desde Milwaukee (WI) hasta Minneapolis/St. Paul (MN), y;
- Extensión del Corredor Chicago Hub hasta Indianápolis (IN) y Cincinnati (OH).



Figura 5: Corredores designados para transporte de pasajeros a alta velocidad interurbano (FRE, 2016).

Debido a lo anterior, para poder realizar una comparación más exacta entre los corredores utilizados, se presenta la Figura 6, que muestra las redes utilizadas para el transporte de pasajeros.

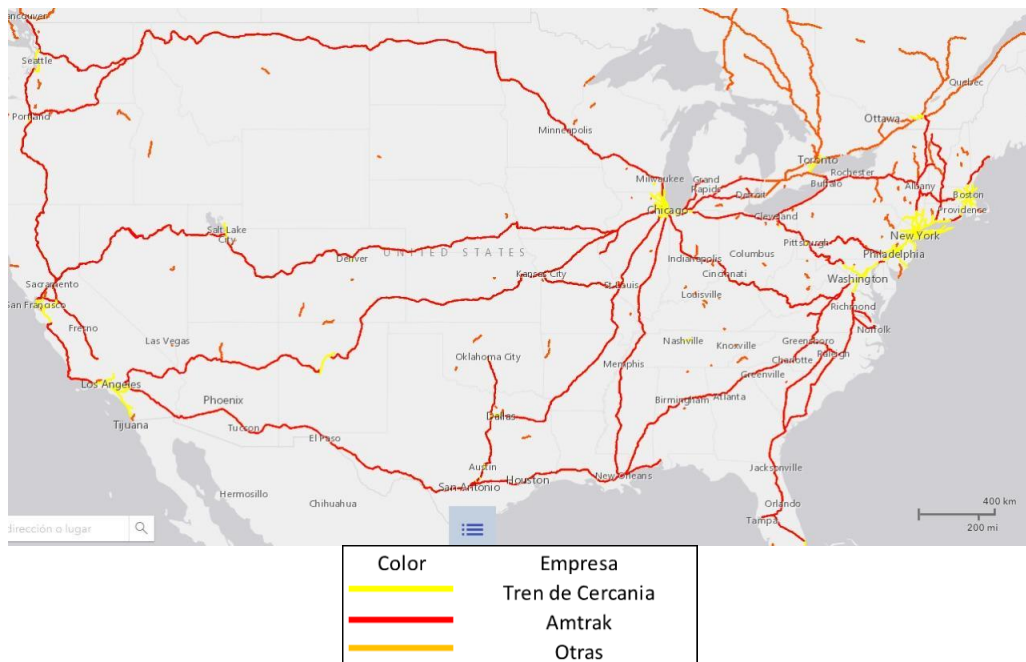


Figura 6: Mapa de la red férrea para transporte de pasajeros en Estados Unidos (FRA, 2016).

Al realizar la comparación con las vías férreas que se utilizan para el transporte de mercancía, se observa que muchas de estas líneas utilizadas para pasajeros, son las mismas.

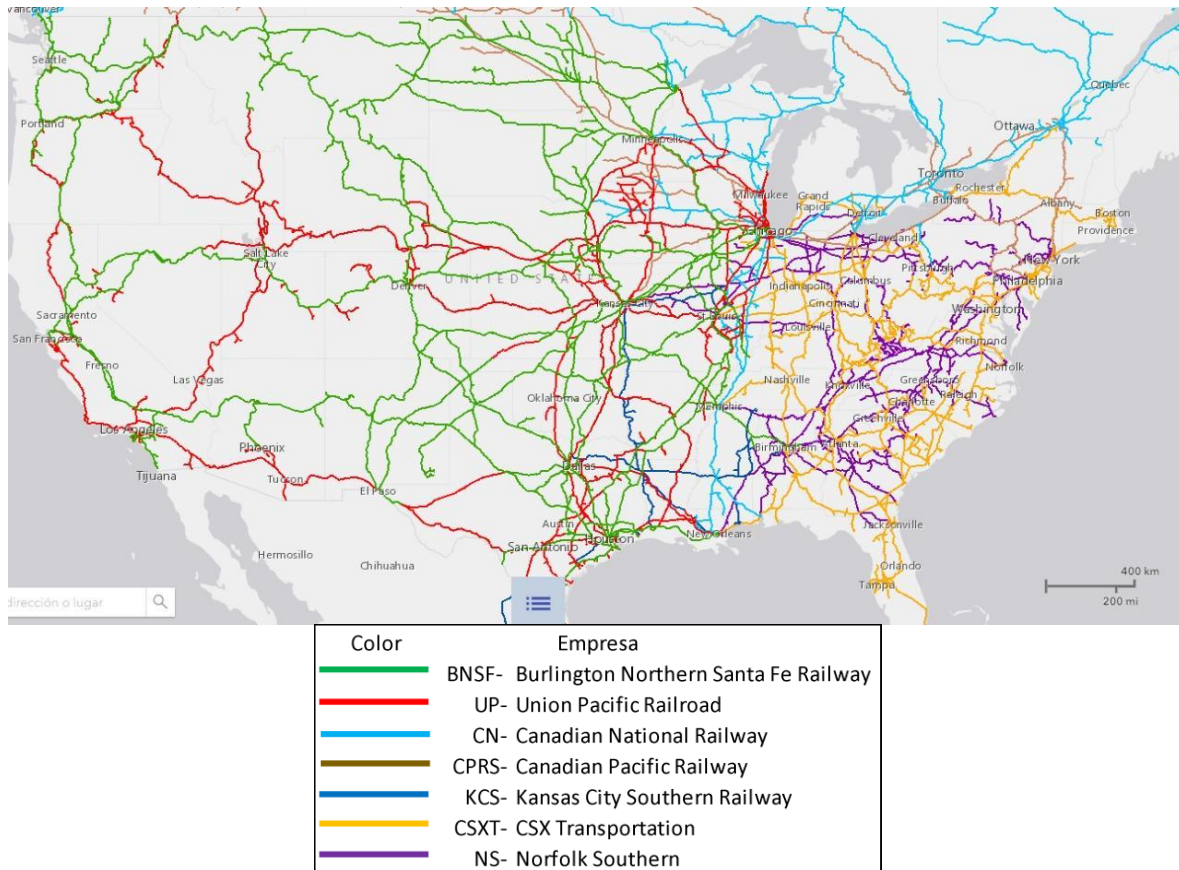


Figura 7: Mapa de la red férrea para transporte de mercancía en Estados Unidos (FRA, 2011).

A pesar de tener esta información, encontrar y determinar las características con las que se transitan en vías con tráfico compartido es complicado de determinar, por lo que no se presentan dichos datos en esta investigación.

2.3 Normatividad

2.3.1 Normativa Mexicana

La normativa mexicana presenta la siguiente información referente a los lineamientos que se deben seguir para el diseño y operación de las vías férreas, la cual se puede encontrar en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-ARTF-2018, Sistema ferroviario-Seguridad-Clasificación y Especificaciones de Vía, norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 09/11/2018.

Esta norma muestra diferentes especificaciones para brindar condiciones de comodidad y seguridad a los usuarios, sin embargo, debido a que en México no existen vías

de alta velocidad, estas aún no se encuentran reglamentadas, por lo que se mostrará la información existente y la cual es de interés para esta tesis, esta se encuentra en el Capítulo 4 y hace referencia a la seguridad de vía, clasificación y especificaciones. Inicialmente muestra la clasificación de las vías (verTabla 5):

Tabla 5: Velocidad máxima de operación de los trenes (Aleman, 2018).

Clasificación de la vía	Velocidad máxima de operación de trenes de carga	Velocidad máxima de operación de trenes de pasajeros
Vía de excepción	15 km/hr	N/A
Vía clase 1	15 km/hr	25 km/hr
Vía clase 2	40 km/hr	45 km/hr
Vía clase 3	65 km/hr	95 km/hr
Vía clase 4	95 km/hr	125 km/hr
Vía clase 5	125 km/hr	145 km/hr

Siguiendo con las diferentes medidas de los escantillones dependiendo el tipo de vía, como se muestra en la Tabla 6, a continuación:

Tabla 6: Medidas del escantillón según tipo de vía (Aleman, 2018).

Clase de la vía	El escantillón debe medir por lo menos-	Pero no más de-
Excepción.....	N/A.....	1,479 mm (58 1/4")
1.....	1,422 mm (56").....	1,473.2 mm (58")
2 y 3.....	1,422 mm (56").....	1,466.9 mm (57 3/4")
4 y 5.....	1,422 mm (56").....	1,460.5 mm (57 1/2")

Para curvas, sobreelevación y velocidad máxima, se muestran algunas fórmulas para la obtención de parámetros, para finalmente remitirse a una tabla donde se relacionan los siguientes parámetros:

- Grado de curvatura (G), el cual considera un rango amplio que va desde 0°30' hasta 18°45'.
- Desbalance en pulgadas (Eu), el cual es analizado desde 1.5 hasta 3 pulgadas.
- Sobreelevación (Ea), analizada desde 0.75 hasta 4.5 pulgadas

Así, se obtiene el parámetro de velocidad máxima en curvas en km/h.

Finalmente muestran información de remate de sobreelevación, nivel de la vía y remate al nivelar. Lo que es importante mencionar es que en México no existe norma que incluya el tránsito de trenes a alta velocidad para pasajeros, de hecho, la máxima velocidad

permitida para pasajeros es de 145 km/h, la cual se encuentra aún muy lejos de la velocidad estimada para la investigación, por lo que es conveniente remitirse a otras normativas que brinden una guía para el desarrollo de la investigación según las características deseadas.

2.3.2 Normativa Internacional

A continuación, se muestra la Tabla 8, la cual refiere las diferentes características que se presentan en algunos países de Europa y Asia.

Tabla 7: Comparación entre diferentes compañías ferroviarias alrededor del mundo (Lindahl, 2001).

Organización		TSI/CEN	JR	JR	JR	DB	DB	SNCF	SNCF	BV
Ítem			Tokaido Shinkansen	Sanyo Shinkansen	Tokyo Joetsu Shinkansen	Hannover-Würzburg	Köln-Rhein/Mann	TGV Paris-Sud Est	TGV Atlantique	Botniabanan (partly)
Velocidad Máxima de Diseño	km/h					280	300	300	350	250
Velocidad Máxima de Servicio	km/h		270	300	275	250		270	300	200*/250**
Peralte	mm	180	200	180	180	65	160	180	180	150
Deficiencia de Peralte	mm	100	100	100	100	80	150	85	60	100/220
Exceso de Peralte	mm	110				50				100
Radio Mínimo de Curvatura	m		2500	4000	4000	7000	3350	4000	6250	3200
Radio Mínimo de Velocidad de Diseño	m					5100	3425	4000	6020	2950/2000
Distancia entre Vías	m	4.5	4.24	4.3	4.3			4.2	4.2	4.5
Radio de Curvatura Mínimo Vertical	m		10000	15000	15000	22000		12000 14000		11000
Máximo Gradiente	%	35	20	15	15	12.5	40	35	25	10

*Trenes de Categoría A
**Trenes de Categoría S (Tecnología de Inclinación)

También, la Tabla 8 comparativa, permite observar no solo algunos parámetros, sino también de donde salieron, mientras que realiza una comparación entre las diferentes normas y reglamentos existentes alrededor del mundo. Se realizó una comparación entre la forma de obtención de diferentes parámetros, tales como la velocidad, la distancia de recta horizontal y las características que deben tener las curvas circulares. Lo cual permitió analizar las grandes diferencias existentes entre sistemas ferroviarios y evolución de estos.

Tabla 8: Comparación de parámetros de diseño geométrico, normativas y reglamentos de algunos países alrededor del mundo (Claudio y García, 2019).

Parámetros		Normativas							
		Estados Unidos (1999)	Chile (2003)	España (2011)	Colombia (2013)	Canadá (2012)	Gran Bretaña (2011)	Australia (2008)	Perú (1978-2006)
Velocidad de Diseño									
Velocidad	Fórmula Velocidad	$\sqrt{\frac{z+I}{0.007 \times \theta}}$	$\sqrt{\frac{z+I}{11.8} \times R}$	$\sqrt{\frac{z+I}{11.85} \times R}$	$\sqrt{\frac{z+I}{0.007 \times \theta}}$	$\sqrt{\frac{z+I}{0.007 \times \theta}}$	$\sqrt{\frac{z+I}{11.82} \times R}$	$0.291 \sqrt{R \times (z+I)}$	$0.29 \sqrt{R \times (z+I)}$
	Mínima (km/h)	15	30	75	15	20	-	-	24
	Máxima (km/h)	160	180	350	160	150	-	-	144
Alineamiento Horizontal									
Recta horizontal	Fórmula Recta	$0.568 \times V$	$\frac{V}{9}$	$\frac{V}{2}$	-	-	-	$\frac{V}{2}$	-
	Mínima (m)	Vagón más largo	30	65	Vagón más largo	19	Vagón más largo	50	-
Curva circular	Fórmula Radio	$12.225 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$11.8 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$11.85 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$12.225 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$12.225 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$11.82 \times \frac{V^2}{(z+I)}$	$\frac{V^2}{0.291^2 \times (z+I)}$	$\frac{V^2}{0.29^2 \times (z+I)}$
	Radio mínimo (m)	145	180	750	160	145	200	1600	150
	Fórmula Long. Curva	-	-	$\frac{V}{2}$	-	-	-	$\frac{V}{2}$	-
	Longitud mínima (m)	30	-	-	-	47	Vagón más largo	-	-

Parámetros		Normativas							
		Estados Unidos (1999)	Chile (2003)	España (2011)	Colombia (2013)	Canadá (2012)	Gran Bretaña (2011)	Australia (2008)	Perú (1978-2006)
Alineamiento Horizontal									
Peralte	Fórmula Peralte	$0.007 \times \theta \times V^2$	$11.8 \times \frac{V^2}{R}$	$11.85 \times \frac{V^2}{R}$	$0.007 \times \theta \times V^2$	$0.007 \times \theta \times V^2$	$11.82 \times \frac{V^2}{R}$	$11.84 \times \frac{V^2}{R}$	$11.8 \times \frac{V^2}{R}$
	Máximo (mm)	-	170	160	150	150	150	145	150
	Insuficiencia (mm)	75	61	100	75	75	90	100	-
Transición	Fórmula Long. Transición	$0.0095 \times z \times V$	$0.009 \times V \times z$	$0.0042 \times V \times z$	$0.744 \times z$	-	-	$0.0111 \times z \times V$	$0.0075 \times z \times V$
	Longitud mínima (m)	-	-	160	-	-	12.2	20	-
Alineamiento Vertical									
Recta de perfil	Fórmula Recta	$0.568 \times V$	$\frac{V}{9}$	$\frac{V}{2}$	-	-	-	$\frac{V}{2}$	-
	Mínima (m)	30	30	80	30	-	30	-	45
Pendiente	Máxima (%)	3	3	3	3.5	-	3.5	2.22	3
Acuerdos	Fórmula Radio	$\frac{L}{D}$	$\frac{V^2}{4}$	-	-	-	$\frac{V^2}{7.628}$	-	-
	Radio mínimo (m)	-	2000	5000	-	-	1000	1300	-
	Fórmula Long. Acuerdo	-	-	$\frac{V}{2}$	$\frac{D \times V^2}{0.03 \times 3.6^2}$	-	-	$200 \times (i_1 - i_2)$	-
	Longitud mínima (m)	30	-	80	30	-	Vagón más largo	20	-

Donde:

V: velocidad de diseño o de proyecto (km/h).

R: radio de curva circular (m).

z: altura de peralte o máximo (mm).

I: insuficiencia de peralte (mm).

θ : ángulo de curvatura de la curva (decimales).

i: pendiente de la recta (%).

D: diferencia de ángulos ($i_1 - i_2$) de pendientes de rectas verticales contiguas (tanto por uno).

2.4 Características de las vías de alta velocidad

Existen diversos aspectos que varían entre las vías férreas convencionales y las vías férreas de alta velocidad, principalmente debido a la velocidad de operación a la que pueden llegar los trenes, dichas características varían con el fin de mantener la seguridad y confort requerido para la operación (Bustos y Díaz, 2015).

Dichos aspectos o características que se deben tener en cuenta son:

1. *Un mayor radio de curva horizontal.* Con el fin de contrarrestar la fuerza centrífuga, se requiere que el radio de curva se encuentre en función a la velocidad máxima permitida.
2. *Mayor ancho de plataforma (Bustos y Díaz, 2015).* Debido a la cercanía que se puede presentar entre trenes circulando en sentido opuesto, se requiere que la distancia de separación entre las vías sea mayor que en vías convencionales.
3. *Pendientes ligeramente más suaves (Bustos y Díaz, 2015).* Entre más empinada sea una pendiente, se requerirá mayor potencia para subir y más freno para bajar, de esta manera, en vías de alta velocidad se estima que se diseñe con pendientes suaves para evitar dichos sobre esfuerzos. Sin embargo, en casos donde se presenta pendiente descendente o negativa, puede beneficiar al aumento de velocidad del tren siempre que se encuentre bajo las medidas de seguridad necesarias (Bustos y Díaz, 2015).
4. *Mayor radio de curva de transición vertical.* Así como en curvas verticales, será necesario un mayor radio de curva en transición vertical para contrarrestar la fuerza centrífuga y así evitar que el tren “salga volando” cuando pase de una recta horizontal a una curva vertical (Bustos y Díaz, 2015).
5. *Ancho de vía internacional.* A pesar de saber que entre mayor sea el ancho de vía mayor estabilidad tendrá el tren, debido a las normativas globales se tiene definido un ancho estándar de vía, con el fin de mantener la homogeneidad entre países y la libre circulación si así se desea (Bustos y Díaz, 2015).

2.5 Descripción de la vía analizada

Cada vez que se realiza un viaje se consideran diversas variables como modo de transporte, tiempo o duración del viaje, costo del viaje y comodidad, de tal forma que evaluamos las diferentes opciones que se presentan para elegir la mejor opción para ejecutar el viaje proyectado.

El área que se analizó se encuentra entre los municipios de Chihuahua (resaltado en naranja), Ahumada y Juárez (resaltado en azul), como se puede observar en la Figura 8, y conectan las ciudades de Chihuahua y Ciudad Juárez, tiene una longitud aproximada de 358+561 km (desde y hasta las estaciones pre analizadas en las respectivas ciudades) como se puede ver en la Figura 9.

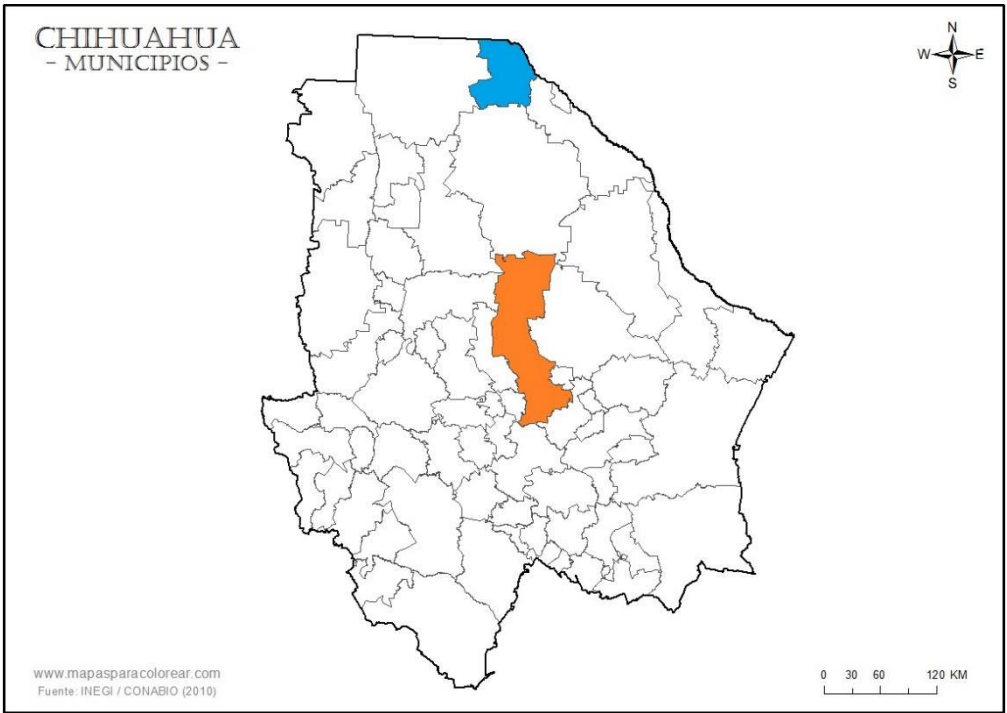


Figura 8: Mapa del estado de Chihuahua (INEGI, 2014).



Figura 9: Vía Férrea entre Chihuahua y Ciudad Juárez (openrailwaymap.org, 2021).

En el caso de análisis entre Chihuahua y Ciudad Juárez, se pueden analizar las diversas variables que nos presentan, en cuanto al modo de transporte. Actualmente, se puede realizar el viaje en vehículo privado y autobús, inicialmente encontramos la variable del tiempo del trayecto, el cual se realiza en aproximadamente 4 horas (0.5 h más o menos), sin importar el modo de transporte seleccionado. Sin embargo, se encuentra directamente asociado a la velocidad de conducción en donde la velocidad máxima permitida es de 100 km/h, pero la velocidad de operación real en vehículos privados puede oscilar entre 100 y 120 km/h mientras que en autobús tiene límite de velocidad de 90 km/h.

El costo es analizable ya que, varía dependiendo del número de personas que estén viajando, si se analiza que está viajando una persona, el costo en auto se consideraría elevado en comparación con el costo del pasaje del autobús, mientras que, si se analiza que están viajando 4 personas, el costo del viaje en auto es bajo en comparación con el costo de los pasajes en autobús.

Finalmente, la última variable a analizar es la de la comodidad, que según la mayoría de los casos es mayor en auto privado que en autobús. A continuación, en la Tabla 9 se presenta un resumen de lo descrito anteriormente.

Tabla 9: Características actuales de viaje entre Chihuahua y Ciudad Juárez.

Variable	Auto Privado	Autobús
Tiempo de viaje (h)	3.5 ± 0.5	4 ± 0.5
Velocidad (km/h)	100-120	90
Costo	Fijo	Variable
Comodidad	Alta	Baja

Teniendo en cuenta la información planteada anteriormente, se diseña la propuesta de un nuevo medio de transporte regional entre Chihuahua y Ciudad Juárez, mediante un tren de pasajeros a alta velocidad, el cual tiene grandes beneficios a la población de cada ciudad, modificando y mejorando las variables mencionadas anteriormente entre otras cosas.

En cuanto al tiempo de viaje, este se redujo a la mitad, lo cual son 2 h de trayecto, la velocidad que se utilizó fue de 200 km/h, la comodidad se consideró alta, ya que se acondicionó el espacio para la mayor comodidad de las personas y, aunque la variable financiera (costo) no es parte de este análisis, se atribuye que disminuye, o al menos es competitiva, en comparación con el pasaje de autobús.

Adicionalmente, se presentaron impactos positivos en la implementación del sistema propuesto, los cuales son reflejados directamente en la sociedad, la economía, la infraestructura y el medio ambiente.

En el *Tourism & Transport Forum Australia* del 2010, se argumentó que el tener un sistema de transporte óptimo, como lo es la propuesta del tren interurbano, beneficia la calidad de vida de las personas, ya que fomenta la interacción entre las comunidades y mejora la habitabilidad y comodidad, así mismo, disminuye el uso de autos privados y permite la actividad física a las personas, siendo estos algunos de los beneficios sociales que se pueden obtener (Quintero, 2017).

En el aspecto económico, en el *Tourism & Transport Forum Australia* del 2010, se comentó que al reducir la congestión se incrementa la productividad a través de una mayor movilidad y opciones de transporte. Por lo que, clasifica y profundiza los beneficios económicos en 4 capítulos: costos de capital, costos de operación, desarrollo y actividad económica y turismo (Quintero, 2017).

En cuanto a los beneficios de infraestructura, se ve una disminución de los desgastes que se pueden presentar por el tránsito de vehículos pesados como lo serían los autobuses, en las vías interurbanas y en las calles que deben transitar urbanamente. e

Finalmente, los beneficios medio ambientales se pueden cuantificar, haciendo referencia a la contaminación por emisión de gases de CO₂, tanto por la circulación de autos privados sino también por la circulación de los autobuses, en cuyo caso la disminución del volumen de vehículos transitando disminuye la contaminación, la cual no es igualada por la circulación del tren de pasajeros.

3. METODOLOGÍA

3.1 Revisión de vía existente

3.1.1 Estado actual

El análisis del estado actual de la vía se realizó por medio de imágenes satelitales obtenidas por *Google Earth*, debido a que la concesionaria *Ferromex* no brindó información para el correspondiente análisis. Asimismo, se verificaron personalmente cruces y porciones de la vía que se encontraban accesibles.

Como se mencionó anteriormente, la sección férrea que se analizó inicia en la Estación Vieja, en donde actualmente se encuentra *Ferromex*, ubicada en las coordenadas 394677.00 m E, 3170597.0 m N (Figura 10, 11) y va hasta la estación de Ferrocarriles Mexicanos, ubicada en Ciudad Juárez, en las coordenadas 359887.0 m E, 3411410.0 m N (Figura 12, 13), de esta forma se completan 358+561 km de vía férrea. En la vía se pueden encontrar varios laderos, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 10.

Tabla 10: Descripción detallada de los laderos a lo largo de la vía férrea.

Ladero	Del km	Al km	Longitud (m)
1	27+975	28+980	1.005
2	71+799	74+615	2.816
3	146+955	148+068	1.113
4	155+664	157+630	1.966
5	211+870	213+291	1.421
6	296+267	299+035	2.768
7	302+972	304+719	1.747
8	314+816	316+107	1.291
9	319+704	322+496	2.792
10	329+396	335+086	5.690
11*	344+991	358+561	Bifurcación

*Desde el km 344+991 de la vía férrea hasta el km 358+561 hay una bifurcación permitiendo que la vía sea de dos líneas hasta la llegada a la estación.



Figura 10: Estación de Ferromex en Chihuahua, Chih., en las coordenadas 394677.00 m E, 3170597.0 m N (Google Earth, 2021).



Figura 11: Estación de Ferromex en Chihuahua, Chihuahua (Google Earth, 2021).

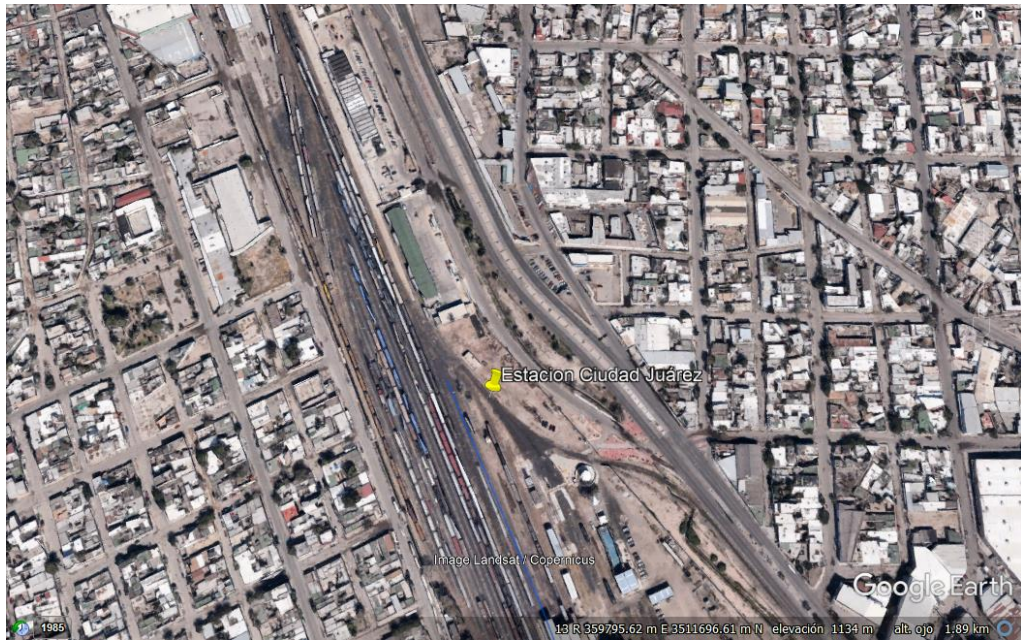


Figura 12: Estación de Ferrocarriles Mexicanos en Ciudad Juárez, Chih., en las coordenadas 359887.0 m E, 3411410.0 m N (*Google Earth*, 2021).



Figura 13: Estación de Ferrocarriles Mexicanos en Ciudad Juárez, Chihuahua (*Google Earth*, 2021).

3.1.2 Inspección visual

Los parámetros que se analizan desde la inspección visual son la superestructura, la cual comprende elementos de la vía como el balasto, los durmientes y los rieles y, la infraestructura, la cual comprende elementos como pasos a nivel y desnivel.

A continuación, se presentan imágenes obtenidas por medio de imágenes satelitales desde *Google Earth*, en las que se puede observar y analizar el estado de los elementos mencionados anteriormente.

En la Figura 14 se puede ver una combinación de las vías férreas, al fondo de la imagen se aprecia la clásica estructura de una vía, compuesta por balasto, durmientes y rieles mientras que al frente de la imagen, se observa la vía sobre la rodadura de pavimento para autos. De la misma manera, se puede observar como la estructura de balasto se encuentra un poco perdida y, casi a nivel del terreno natural.



Figura 14: Vía férrea en el km 0+656 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 15, similar al caso anterior, aparece de nuevo la combinación de vías férreas, sin embargo, también se puede observar la señalización existente que se brinda a los conductores de automóviles para prevenir sobre el paso del tren, aunque no se ve presencia de barreras que adviertan sobre paso del tren y detengan la circulación de automóviles y peatones.



Figura 15: Vía férrea en el km 1+232 (Google Earth, 2021).

En la Figura 16 se encuentra en el mismo punto que la anterior imagen, pero con un ángulo diferente, en esta se muestran las vías férreas y se observa como la estructura de la vía, la estructura del balasto, los durmientes en concreto y los rieles en buen estado, con maleza, sin basura ni estructuras cercanas alrededor.



Figura 16: Vía férrea en el km 1+232 (Google Earth, 2021).

En la Figura 17, se muestra como la estructura de balasto se encuentra dispersa, los durmientes son de concreto y de los rieles se encuentran en buen estado, aunque como se evidencia, hay presencia de escombros y de automóviles cerca de la vía lo cual no es adecuado para la adecuada circulación del tren.



Figura 17: Vía férrea en el km 2+370 (*Google Earth, 2021*).

En la Figura 18, se ve una combinación de vía férrea, así como la falta de limpieza en las cercanías a la misma, ya que se presentan algunos escombros o rocas de gran tamaño y maleza alrededor de los rieles. De la misma manera se puede observar que no hay estructura de balasto, los durmientes, aunque son de concreto y se encuentran escondidos o perdidos dentro del terreno, además no hay presencia de barreras para alertar sobre el paso de tren para vehículos o peatones en circulación.

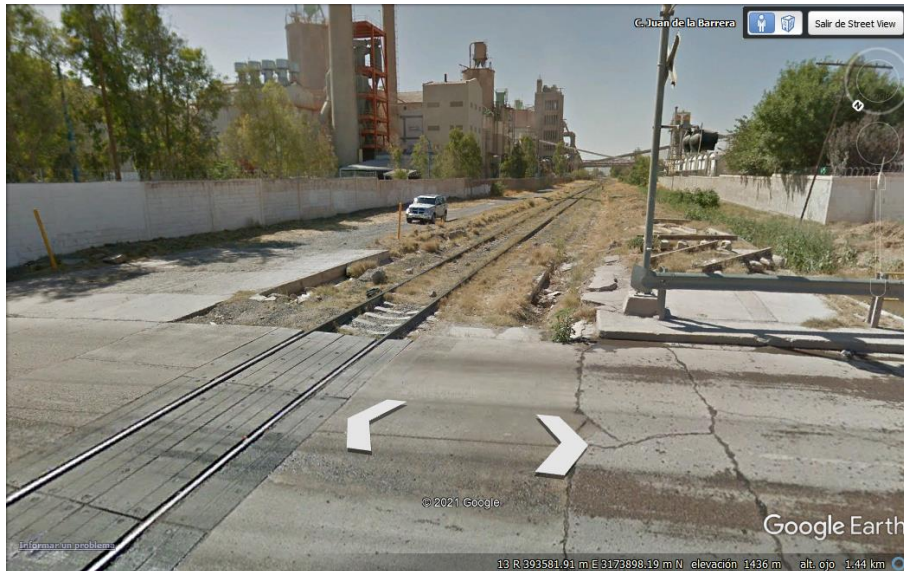


Figura 18: Vía férrea en el km 3+379 (Google Earth, 2021).

En la Figura 19, está un paso a desnivel, en el cual el tren pasa sobre la vía vehicular, la estructura del puente está compuesta por el claro que es en acero y los apoyos, que se encuentran en mampostería, aquí se encuentran unos elementos que actúan como tablaestacas para evitar la pérdida de material en el costado izquierdo de la imagen. Adicionalmente se observa que hay buena estructura de balasto y los durmientes de concreto se encuentran descubiertos.

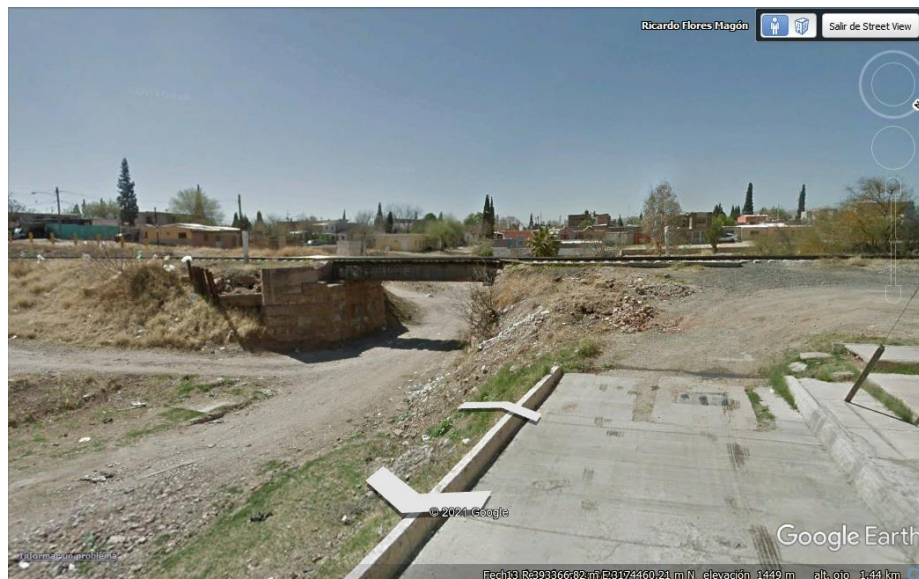


Figura 19: Vía férrea en el km 4+000 (Google Earth, 2021).

En la Figura 20, se observa al fondo están unos postes de concreto que funcionan como barrera para evitar la circulación de vehículos o que se estacionen en la zona, también está una señal de aviso al peatón y automóvil sin haber barrera. Aunque no se ve la estructura del balasto, se observa cierto grado de limpieza en la vía férrea y los durmientes se encuentran un poco enterrados en el balasto.



Figura 20: Vía férrea en el km 4+472 (Google Earth, 2021).

En las Figuras 20 y 21, se observan los postes de derecho de vía férrea a un costado de ésta, sin embargo, al otro costado hay presencia de basura, desechos y maleza.



Figura 21: Vía férrea en el km 4+860 (Google Earth, 2021).

Similar al caso anterior (Figura 21), se presenta en la Figura 22 la barrera de postes a un costado, mientras que el otro no tiene protección, aunque se presentan basuras en la vía férrea, se puede observar que hay estructura, se ve el balasto, los durmientes de concreto y los rieles en aparente buen estado.



Figura 22: Vía férrea en el km 5+190 (Google Earth, 2021).

En la Figura 23, existe una falta de barreras a los costados de la vía, la pérdida de balasto y durmientes en el terreno natural, se destaca la presencia de basura y maleza cercanas a la vía.



Figura 23: Vía férrea en el km 5+405 (Google Earth, 2021).

Similar a la Figura 19, en la Figura 24, está un puente con claro en acero y apoyos en concreto, con aleros en mampostería, sin embargo, a diferencia del anterior éste presenta un apoyo en el medio. Se aprecia la falta de limpieza en los apoyos, lo cual a futuro podría afectar a la estructura entera.



Figura 24: Vía férrea en el km 5+722 (Google Earth, 2021).

En la Figura 25 se muestra la vía férrea, la presencia de balasto, durmientes combinados en concreto y madera. Asimismo, se ve un anuncio que advierte sobre el tren a peatones y automóviles. Se detectó la presencia de basura y maleza, sin embargo, no se está utilizando el espacio cercano para automóviles.

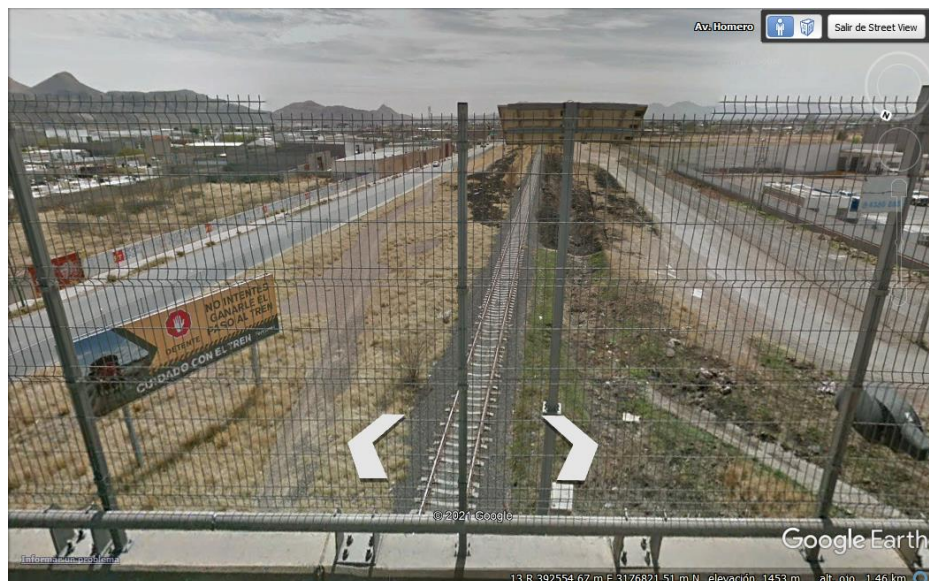


Figura 25: Vía férrea en el km 6+480 (Google Earth, 2021).

En la Figura 26, se observó la barrera creada por postes en concreto y alambre que impide el paso de vehículos y peatones a lo largo de la vía férrea, de esta manera se mantiene el área para la libre circulación del tren, teniendo 33 metros libres de derecho de vía hacia la izquierda de la vía (en sentido N) y 20 metros libres de derecho de vía hacia la derecha de la vía (en sentido N). Así mismo, existe una señal de precaución por el paso del tren sin barrera para automóviles. La combinación de vías férreas, y la estructura de balasto, con durmientes de concreto y rieles se encuentra en aparente buen estado.



Figura 26: Vía férrea en el km 8+084 (Google Earth, 2021).

En la Figura 27, se ve que la barrera lateral de derecho de vía (Figura 26), desaparece. Se presenta una buena estructura de balasto y los durmientes son en concreto, hay presencia de maleza.



Figura 27: Vía férrea en el km 8+580 (Google Earth, 2021).

En la Figura 28, fuera de la zona urbana, la vía cuenta con buena estructura de balasto, y durmientes en concreto, al fondo de la imagen se ve un paso a desnivel, donde el tren pasa por abajo y los vehículos pasan por encima, no se presenta barreras laterales a la vía, y se ve un camino para automóviles en tierra cercano a la vía férrea.



Figura 28: Vía férrea en el km 15+050 (Google Earth, 2021).

En la Figura 29 y 30, aparece la vía férrea en un cruce vehicular, en esta figura se pueden apreciar los protectores de rieles y se ve coherencia en los durmientes de concreto, así mismo, se observan los elementos de sujeción que tienen los durmientes.



Figura 29: Vía férrea en el km 24+339 (2021).



Figura 30: Vía férrea en el km 24+339 (2021).

En las Figura 31 y 32, se presenta un paso a nivel vehicular, donde los rieles de protección de los rieles principales, así como una coherencia entre los durmientes, están en buen estado, sin embargo, se observa una pérdida de material granular a lo largo de la vía férrea.



Figura 31: Vía férrea en el km 37+965 (2021).



Figura 32: Vía férrea en el km 37+965 (2021).

Las Figuras 33, 34, 35 y 36 presenta un paso a nivel en zona rural, el cual cuenta con una señal de precaución por circulación del tren. Hay buena estructura de balasto, los durmientes de concreto se ven en buen estado, así como los rieles.



Figura 33: Vía férrea en el km 48+280 (Google Earth, 2021).



Figura 34: Vía férrea en el km 48+280 (2021).



Figura 35: Vía férrea en el km 48+280 (2021).



Figura 36: Vía férrea en el km 48+280 (2021).

En la Figura 37, 38 y 39, se observan los durmientes en concreto, y algo de maleza en la vía férrea. Adicionalmente se muestran los elementos de sujeción de la vía y las características del riel usado en ese tramo.



Figura 37: Vía férrea en el km 91+555 (2021).



Figura 38: Vía férrea en el km 91+555 (2021).



Figura 39: Vía férrea en el km 91+555 (2021).

En la Figura 40 se percibe un paso a desnivel, en donde se observa que el paso del tren es por abajo mientras que los vehículos pasan por arriba de la estructura de un puente. Se aprecia la presencia de la maleza a los lados de la vía. Así como en las ilustraciones anteriores, se ve la estructura de balasto y los durmientes de concreto.



Figura 40: Vía férrea en el km 111+580 (Google Earth, 2021).

Al fondo de la Figura 41 se observa la vía férrea, con buena estructura de balasto y durmientes de concreto. No se aprecian barreras laterales de protección.



Figura 41: Vía férrea en el km 116+580 (Google Earth, 2021).

En la Figura 42, en la vía cuenta con una estructura de drenaje con su debida señalización para informar al maquinista. Se ve una buena estructura de balasto y durmientes de concreto.



Figura 42: Vía férrea en el km 144+000 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 43 se muestra un paso a desnivel, el cual se encuentra en buenas condiciones, aparentemente se le realizó mantenimiento hace poco y por esto se presentan dichas condiciones.



Figura 43: Vía férrea en el km 144+199 (2021).

En la Figura 44, un paso a desnivel, similar a las Figuras 40 y 43, en donde el tren pasa por abajo mientras que los vehículos pasan sobre el puente en concreto. Se ve la estructura de balasto, sin embargo, los durmientes en este caso son de madera.



Figura 44: Vía férrea en el km 153+310 (*Google Earth*, 2021).

En las figuras 45 y 46 se detectaron durmientes de madera, se observa la estructura del balasto en buen estado y aunque hay presencia de maleza, ésta no se encuentra invadiendo las vías férreas.



Figura 45: Vía férrea en el km 153+502 (2021).



Figura 46: Vía férrea en el km 307+488 (2021)

En las Figuras 47, 48, 49, 50 y 51 se muestra un tramo en excelentes condiciones, donde la estructura de balasto, los durmientes de madera y concreto y los rieles con buenos elementos de sujeción. Sin maleza ni basuras alrededor.



Figura 47: Vía férrea en el km 157+724 (2021).



Figura 48: Vía férrea en el km 157+724 (2021).



Figura 49: Vía férrea en el km 157+724 (2021).



Figura 50: Vía férrea en el km 157+724 (2021).



Figura 51: Vía férrea en el km 157+724 (2021).

En la Figura 52, se ve la vía férrea con su estructura de balasto en buen estado, de la misma manera se pueden ver los durmientes de concreto en buen estado, sin embargo, no hay presencia de barreras laterales que eviten el paso de peatones o animales a la vía.



Figura 52: Vía férrea en el km 187+980 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 53, está una sección típica, con durmientes de madera, elementos de sujeción adecuados, con pérdida de estructura de balasto y maleza.



Figura 53: Vía férrea en el km 189+188 (2021).

En la Figura 54 se aprecia un puente de concreto, la estructura de balasto y rieles en buen estado, sin embargo, no es posible observar los durmientes que deben ser de concreto.



Figura 54: Vía férrea en el km 225+280 (Google Earth, 2021).

En la Figura 55, en la entrada a Villa Ahumada, está una combinación de vías férreas, una sección en concreto para el paso de vehículos sobre ésta y otra sección en estructura de balasto, el cual se encuentra un poco perdido, los durmientes se encuentran escondidos en el balasto, por lo que es difícil definir el material en que se encuentran. No se observan señales que adviertan al transeúnte sobre el paso del tren. Se ve presencia de maleza.



Figura 55: Vía férrea en el km 228+020 (Google Earth, 2021).

En la Figura 56, dentro de Villa Ahumada, se detectó la pérdida de material de balasto, adicionalmente se encontró la combinación de durmientes, así como de elementos de sujeción.



Figura 56: Vía férrea en el km 228+501 (2021).

En la Figura 57, se observa la pérdida de estructura de balasto, los durmientes de madera se encuentran en mal estado y perdidos en el balasto, se detectó una combinación de vías férreas y su correspondiente señalización.



Figura 57: Vía férrea en el km 228+720 (Google Earth, 2021).

En la Figura 58, se observa que mejoran las características de la estructura de balasto, los durmientes se mantienen en madera y en aparente mal estado.

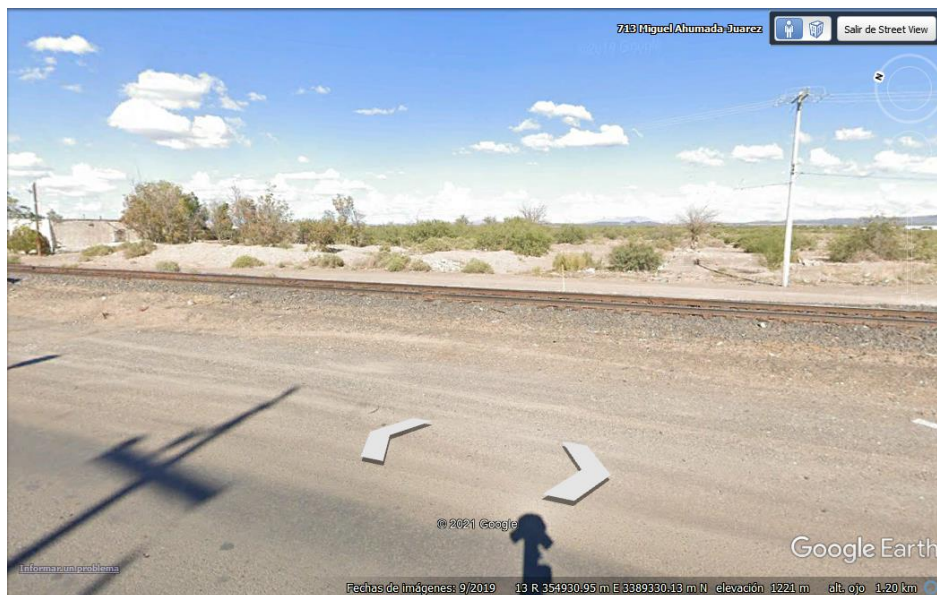


Figura 58: Vía férrea en el km 230+210 (Google Earth, 2021).

En la Figura 59, se observa una buena estructura de balasto, los durmientes, al igual que en la imagen anterior se mantienen en madera, lo cual hace difícil su distinción y se edetectóla presencia de maleza a su alrededor.



Figura 59: Vía férrea en el km 232+780 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 60, se mantiene una buena estructura de balasto, los durmientes cambian a concreto, sin embargo, se encuentran un poco escondidos en la estructura.



Figura 60: Vía férrea en el km 244+830 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 61, la vía tiene una estructura de balasto con durmientes de madera y se observa un ladero con su respectiva señal informativa al maquinista. Adicionalmente se aprecia un paso a desnivel, en donde el tren pasa por debajo mientras que los vehículos pasan por encima.



Figura 61: Vía férrea en el km 262+910 (*Google Earth, 2021*).

En la Figura 62, la vía férrea tiene una estructura de balasto, con durmientes de madera y rieles en aparente buen estado.



Figura 62: Vía férrea en el km 281+790 (*Google Earth, 2021*).

En la Figura 63, la estructura de balasto está en buen estado, algunas secciones en durmientes en concreto y otras en madera y se observa la señal del paso de tren para informar a los peatones y vehículos que circulen por la zona.



Figura 63: Vía férrea en el km 295+560 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 64, se ve la elevación de la vía férrea sobre el terreno natural, no es posible determinar si la estructura de balasto, los durmientes y los rieles se encuentran en buen estado.



Figura 64: Vía férrea en el km 300+900 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 65, se ve que la estructura de balasto se encuentra bien definida y los durmientes son de concreto.



Figura 65: Vía férrea en el km 306+990 (*Google Earth*, 2021).

En las Figuras 66, 67 y 68, la vía se presenta antes del retén militar (Precos). Los durmientes son de madera, en una de las vías férreas. Mientras que, en el carril siguiente, se observa una combinación de durmientes, unos en concreto y otros en madera, de 4 en 4. Adicionalmente el área alrededor de la vía se encuentra despejada sin basuras si maleza.



Figura 66: Vía férrea en el km 307+488 (2021)

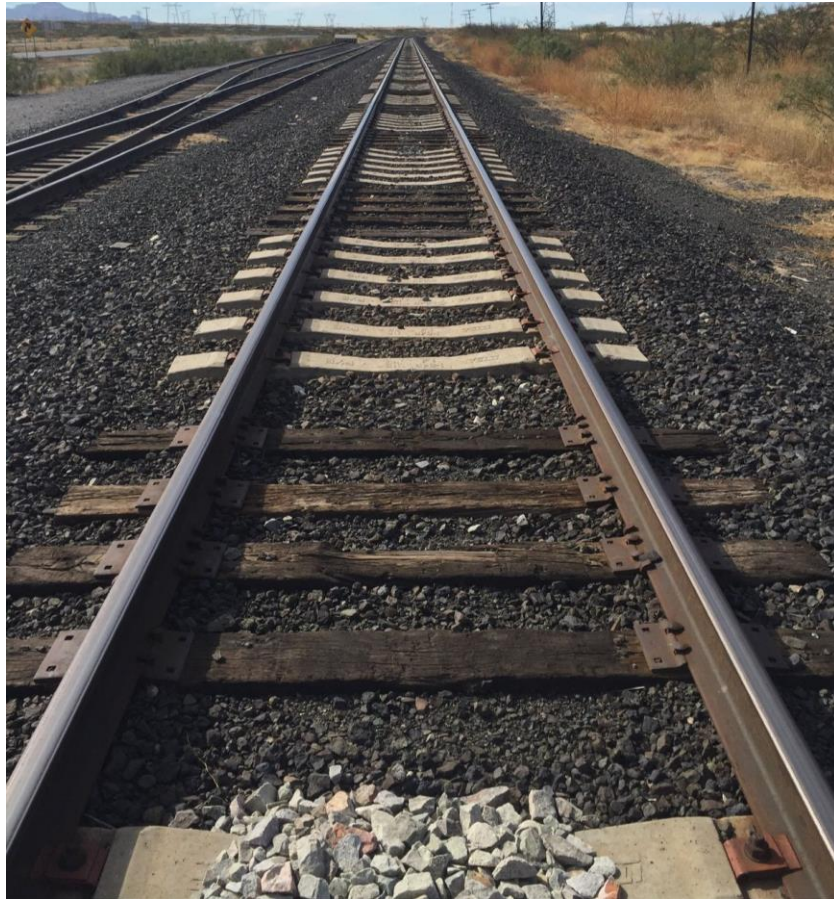


Figura 67: Vía férrea en el km 307+488 (2021).



Figura 68: Vía férrea en el km 307+488 (2021)

En la Figura 69, es importante resaltar la combinación de los materiales de los durmientes, entre madera y concreto a lo largo de cierto tramo, así mismo, se observa una señal férrea. La estructura de balasto se encuentra en buen estado.



Figura 69: Vía férrea en el km 307+690 (*Google Earth*, 2021).

En las Figuras 70 y 71 se encuentra el tramo presente en el poblado de Samalayuca, el cual presenta una combinación de los materiales de los durmientes y hay presencia de maleza y basura.

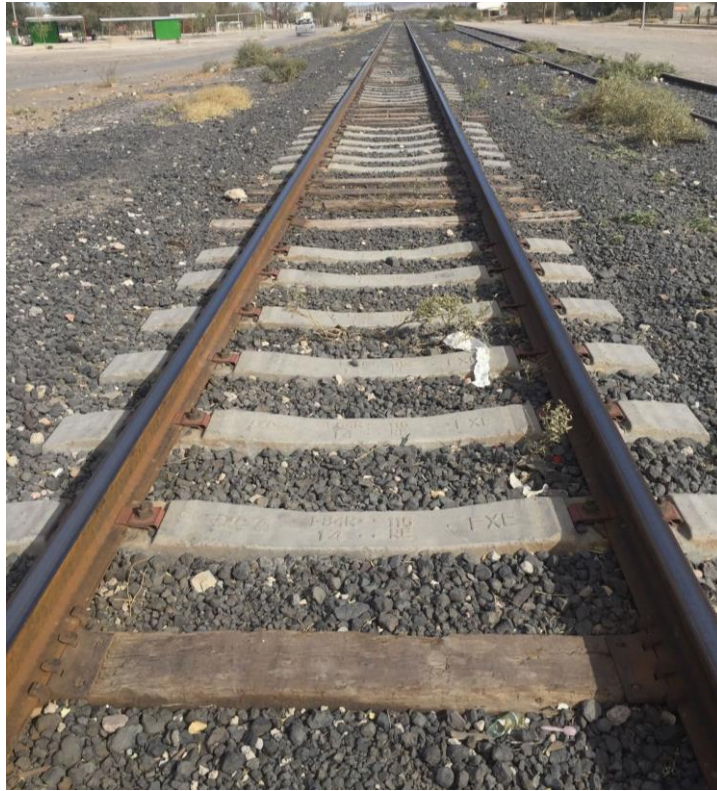


Figura 70: Vía férrea en el km 312+738 (2021).



Figura 71: Vía férrea en el km 312+738 (2021).

En la Figura 72, se presenta un paso a desnivel, en donde el tren pasa por debajo mientras que los vehículos pasan por encima. La estructura de balasto se encuentra perdida y los durmientes de madera se encuentran en aparente mal estado.



Figura 72: Vía férrea en el km 322+880 (Google Earth, 2021).

En la Figura 73, se ve la vía férrea desde un paso a desnivel, sin embargo, debido a la distancia, no es posible determinar con precisión el estado de los elementos de la vía.

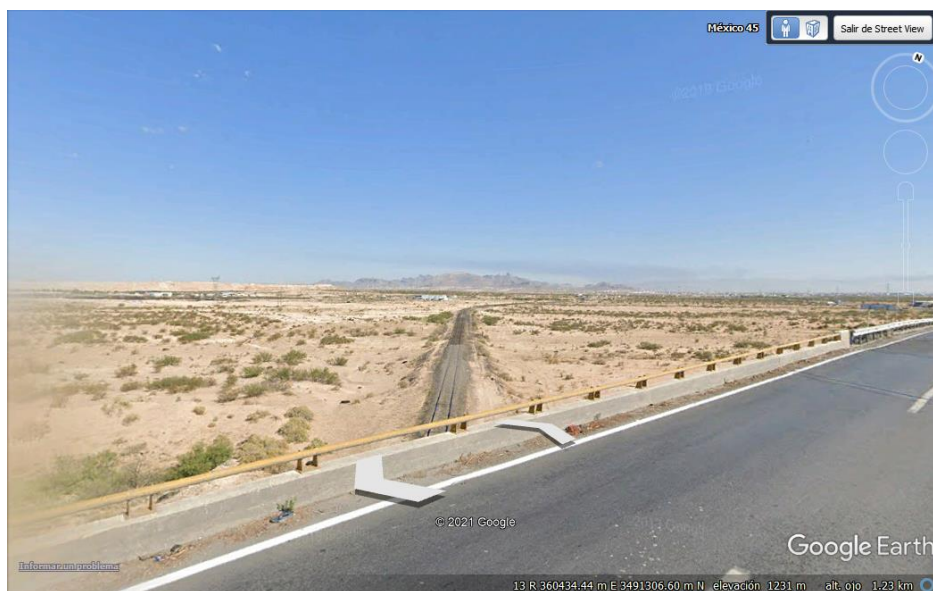


Figura 73: Vía férrea en el km 336+980 (Google Earth, 2021).

En las Figuras 74 y 75, en zonas cercanas a Ciudad Juárez, se puede evidenciar la pérdida de material granular, así como los durmientes, estos se encuentran prácticamente perdidos, por lo que se puede concluir que están en mal estado debido a la falta de mantenimiento en este sector.



Figura 74: Vía férrea en el km 337+930 (2021).



Figura 75: Vía férrea en el km 337+930 (2021).

En la Figura 76, se observan algunos autoracks sobre la vía, la estructura de balasto está un poco perdida.

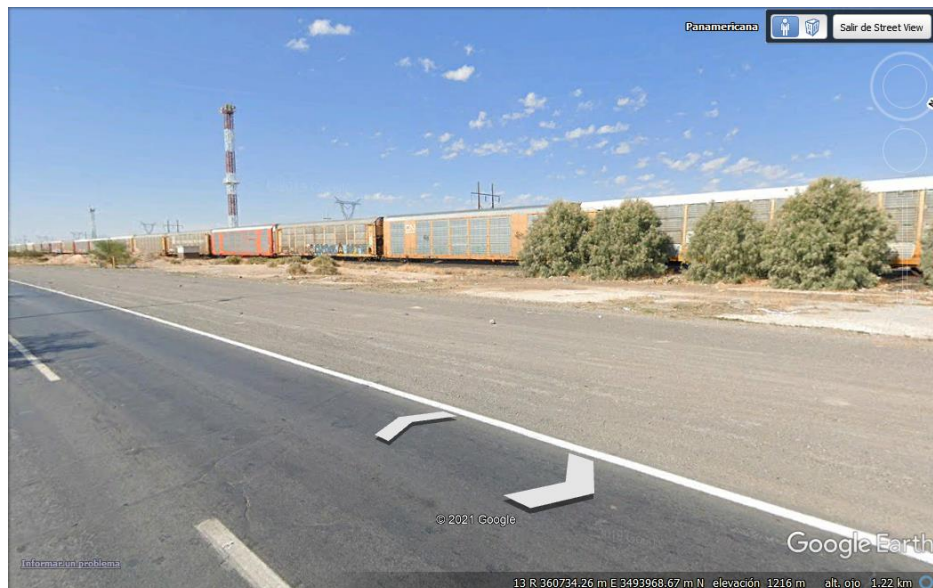


Figura 76: Vía férrea en el km 339+820 (*Google Earth*, 2021).

Unos cuantos metros después, en la zona de la Figura 77, en la cual se muestran durmientes de madera, y algo de material granular disperso, así mismo hay presencia de maleza.



Figura 77: Vía férrea en el km 339+910 (2021).

La Figura 78, se encuentra ingresando a Ciudad Juárez, se presenta un paso a desnivel, y la estructura de balasto se encuentra en mal estado.



Figura 78: Vía férrea en el km 343+730 (Google Earth, 2021).

En la Figura 79, la estructura de balasto se encuentra perdida, los durmientes están enterrados y casi a nivel del terreno natural, se percibe basura y malezas alrededor, así como en la vía férrea.



Figura 79: Vía férrea en el km 343+900 (Google Earth, 2021).

En la Figura 80, se observa una vía combinada, con durmientes con material mixto, concreto y madera y malezas alrededor. No hay presencia de barreras laterales de protección. Se aprecian señales de tránsito para alertar sobre el paso del tren.

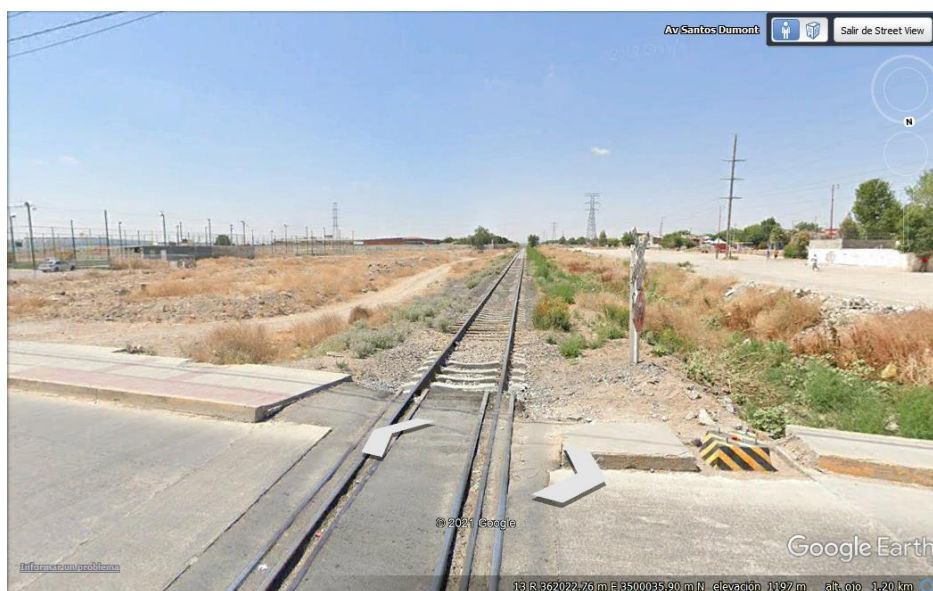


Figura 80: Vía férrea en el km 346+209 (Google Earth, 2021).

Similar a la imagen anterior, en la Figura 81, se encuentra una vía combinada, con durmientes de concreto y malezas alrededor, no hay presencia de barreras laterales, sin embargo, se observa un grado de respeto a los lados de la vía.



Figura 81: Vía férrea en el km 347+823 (Google Earth, 2021).

En la Figura 82, se observan 3 pasos a desnivel seguidos, con estructura de balasto perdido, durmientes en madera y basura alrededor.

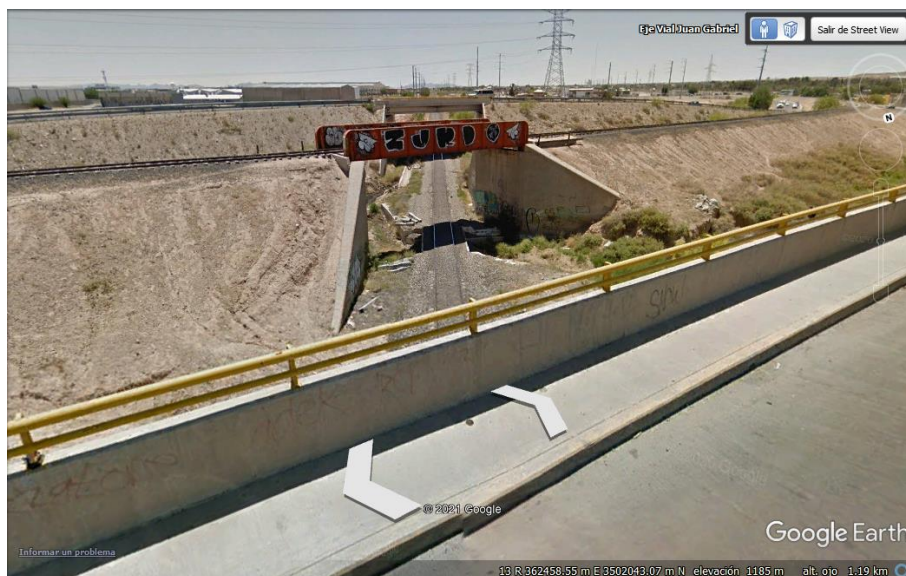


Figura 82: Vía férrea en el km 348+248 (Google Earth, 2021).

En la Figura 83, las señales de alerta por el paso del tren, así como, la falta de barreras automáticas para el paso del tren.



Figura 83: Vía férrea en el km 349+442 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 84, aparece una combinación de vías, así como la falta de balasto, durmientes y protección lateral, sin embargo, se ve la presencia de estructuras aledañas que invaden la libre circulación del tren.



Figura 84: Vía férrea en el km 349+919 (*Google Earth*, 2021)

A diferencia de la imagen anterior (Figura 84), en la Figura 85, se observa una barrera lateral que impide el paso de peatones en la vía, se observa la pérdida de balasto y durmientes en la cercanía a la combinación de la vía.



Figura 85: Vía férrea en el km 351+461 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 86, se ve la pérdida de balasto, no hay presencia de durmientes, lo que genera la duda si hay presencia de elementos de sujeción del riel. Hay presencia de basura y maleza, y no se observan barreras laterales.



Figura 86: Vía férrea en el km 353+075 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 87, se observan señales de tránsito del tren a los peatones y vehículos que circulan, y al igual que en imágenes anteriores, no se ve la estructura de balasto ni de durmientes.



Figura 87: Vía férrea en el km 353+566 (*Google Earth*, 2021).

Se observa un paso a desnivel (Figura 88), con protección desde el puente vehicular que se encuentra sobre la vía, se ven varias líneas y trenes de carga, hay una estructura de balasto, sin embargo, no es posible determinar los durmientes que tienen.



Figura 88: Vía férrea en el km 354+726 (*Google Earth*, 2021).

En la Figura 89, aparece un paso a desnivel, y una bifurcación de la vía lo cual permite que la vía férrea pase de 2 a 4 líneas.



Figura 89: Vía férrea en el km 355+282 (Google Earth, 2021).

En la Figura 90, está otro paso a desnivel con su correspondiente protección superior y dos líneas en la vía férrea, hay pérdida de balasto y durmientes a lo largo de la sección. Hay presencia de maleza y basura alrededor de la vía.



Figura 90: Vía férrea en el km 357+530 (Google Earth, 2021).

Finalmente, en la Figura 91, el ingreso al patio de trenes, en el cual se observa la bifurcación de líneas hasta formar aproximadamente 18 líneas para el libre tránsito de trenes de mercancía o para su adecuado cargue o descargue de la misma.



Figura 91: Vía férrea en el km 358+254 (Google Earth, 2021).

Con base a lo visto en las figuras anteriores, se puede concluir que la estructura de balasto a lo largo de la vía se encuentra perdido, es decir en la pendiente que debe cumplir, sin embargo, se podría concluir que se cumple con los requerimientos granulométricos y se encuentran en buen estado y calidad. No hay presencia de maleza.

De manera similar, los durmientes desde el km 0+000 hasta el km 210+000 aproximadamente, se encuentran en buen estado siendo éstos de concreto (con tales medidas), los cuales, en el tramo final, del km 210+00 hasta el km 335+15, son combinados entre concreto y madera, estos últimos en estado inadecuado para una vía férrea.

En cuanto a los rieles, se podría decir que están en buen estado. Se encuentran rieles con diversos calibres a lo largo de la vía, es decir, calibre de 100 psi, 115 psi y 136 psi. Así mismo, se encuentran uniones de rieles con soldadura y planchuelas.

Las estructuras de drenaje se encuentran en buen estado a lo largo de los 335 km, así como la señalización vial.

Debido a la falta de información proporcionada por Ferromex, no se cuenta con un estudio de frecuencia de operaciones en el cual se conozca un itinerario o tamaño de carga transportada.

3.2 Revisión de diseño

Para determinar el diseño geométrico de la vía actual, se utilizó el programa *Google Earth Pro* y *Civil 3D*, los cuales brindan herramientas que permiten el análisis de elementos viales como los que se analizan en esta tesis.

Inicialmente en el programa *Google Earth Pro*, se realizó el trazado de la vía férrea, la cual posteriormente se llevó a *Global Mapper*, en donde se realizó una unión entre la vía férrea y la topografía del estado de Chihuahua, para posteriormente delimitar una zona cercana a la vía férrea anteriormente adicionada. Dicha información se ingresó a *Civil 3D* y se determinó la siguiente información. Anexo se encuentran las tablas del alineamiento horizontal. Teniendo en cuenta los datos antes mencionados, se resaltan 3 diferentes zonas, las cuales servirán como puntos de referencia para la posterior comparación con la nueva geometría (Figura 72). Para realizar la revisión del diseño se tuvo en cuenta parámetros de diseño como el grado de curvatura y la pendiente (Ver Anexo 1).



Figura 92: Vía férrea actual entre Chihuahua y Ciudad Juárez, zonas delimitadas.



Figura 93: Zona 1 del km 17+250 al 88+450.



Figura 94: Zona 2 del km 92+000 al km 134+800.

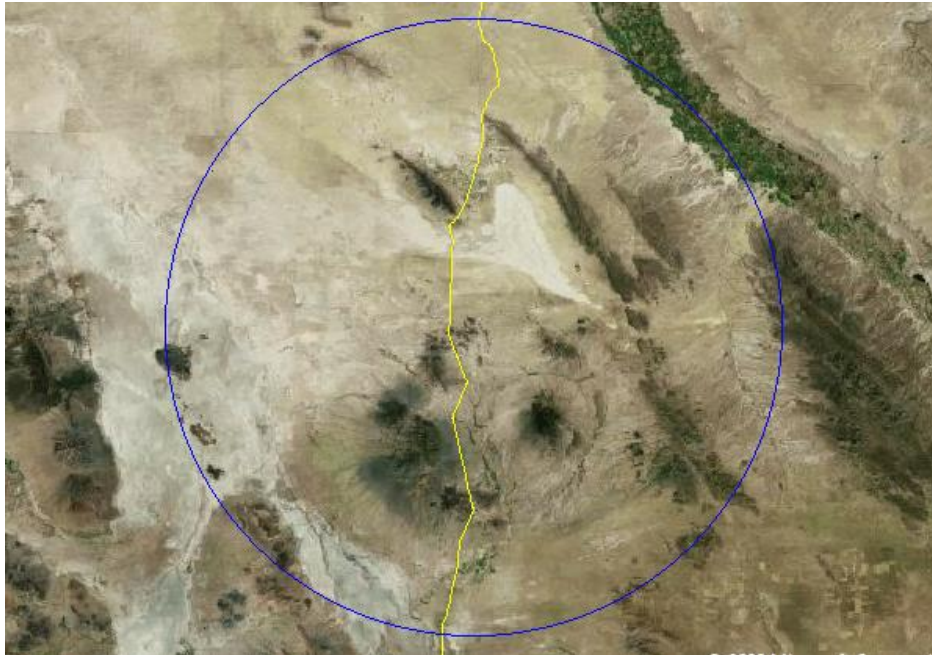


Figura 95: Zona 3 del km 228+650 al km 327+700.

Para realizar el análisis respectivo a la vía se tomaron en cuenta parámetros, tales como el grado de curvatura y la pendiente, para esto se tuvo en cuenta la Tabla 4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ARTF-2019: Sistema Ferroviario – Seguridad – Clasificación y especificaciones de vía.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Modificaciones

Debido a que las características actuales de la vía férrea, tales como la curvatura, los materiales en que se encuentra y el estado de las vías, no permiten el tránsito compartido de trenes de pasajeros y trenes de carga, se realizó un análisis técnico para establecer un trazado nuevo que cumpla con las normas y que permita el tránsito mixto.

Con esto en mente y teniendo en cuenta las zonas antes presentadas, se muestran nuevamente con la vía planteada, con el fin de mostrar las diferencias geométricas que se pueden presentar (ver Figura 96 a 99).

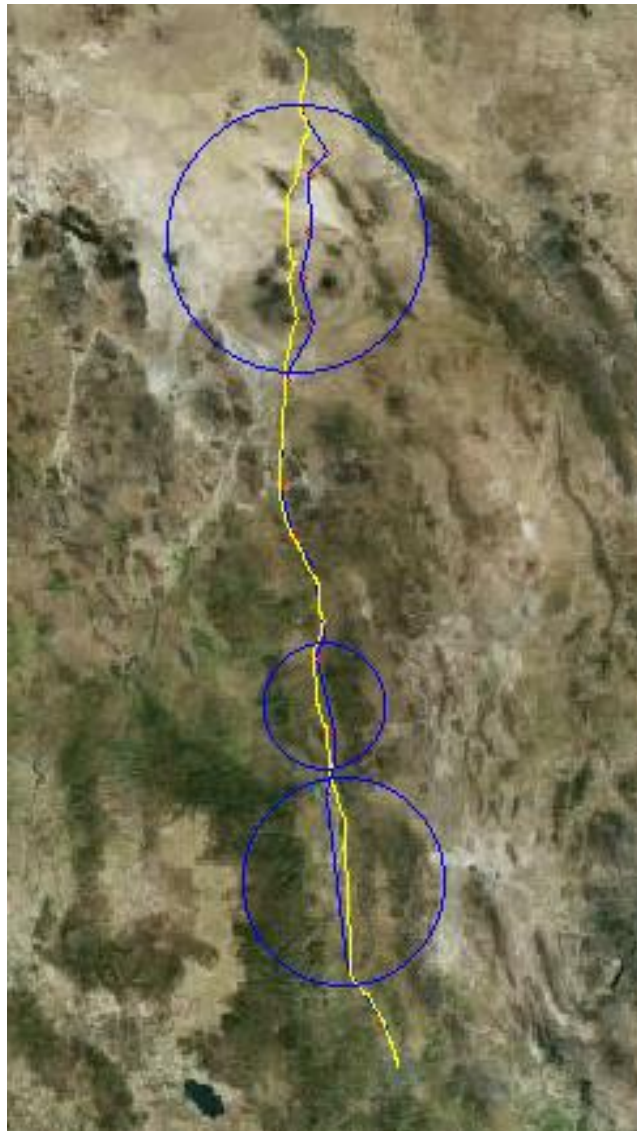


Figura 96: Vía propuesta(azul) y vía actual(amarillo) entre Chihuahua y Ciudad Juárez.

En la figura 96 se observa el tramo actual completo entre Chihuahua y Ciudad Juárez en color amarillo, y en color azul se proyecta la propuesta presentada para el tráfico mixto.

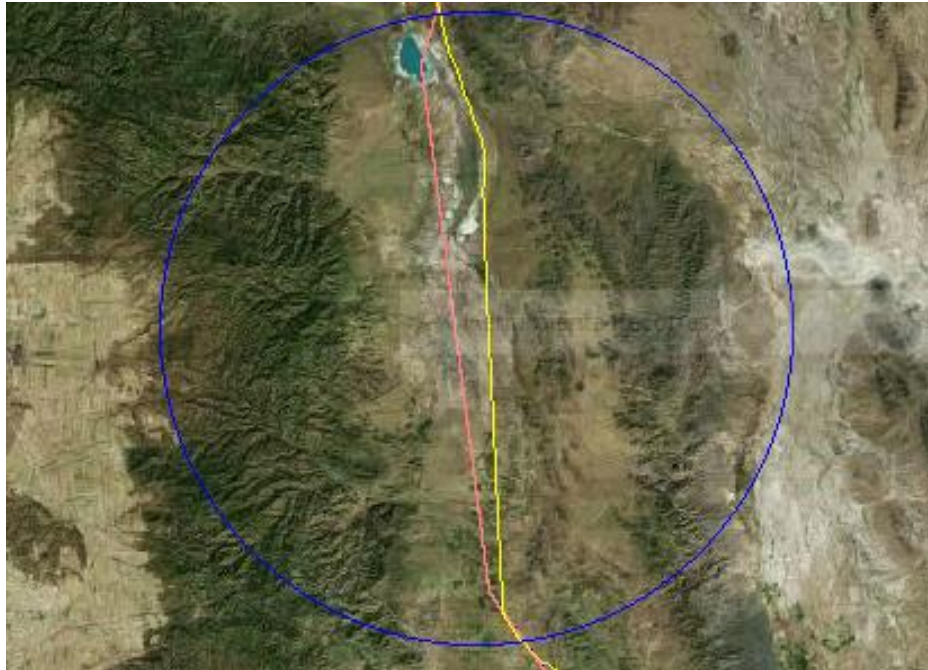


Figura 97: Zona 1 del km 17+250 al 88+450, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).

En la figura 97, se presenta un acercamiento a la zona 1, la cual presenta grandes cambios en comparación con el trazado actual, las características se presentan más adelante.

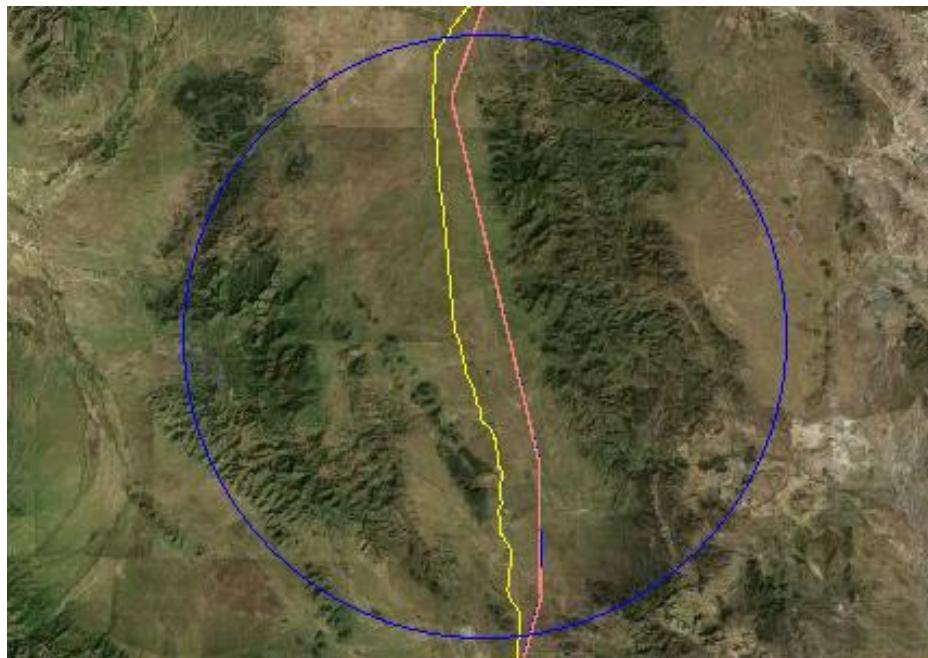


Figura 98: Zona 2 del km 92+000 al km 134+800, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).

En la figura 98, se presenta un acercamiento a la zona 2, en caso similar a la anterior figura, se presentan modificaciones en comparación con el trazado actual, las características se presentan más adelante.

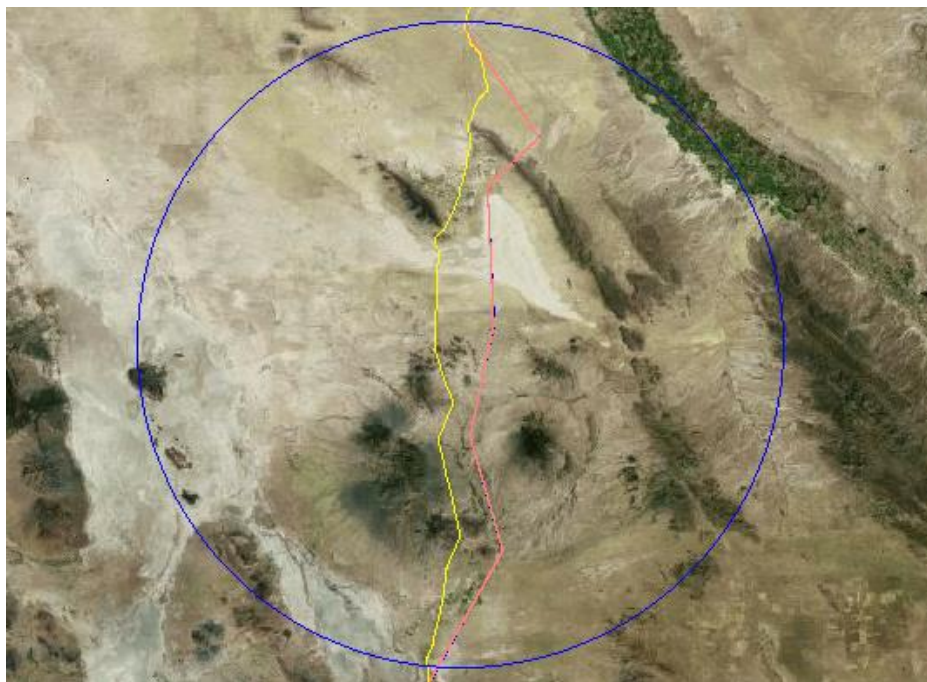


Figura 99: Zona 3 del km 228+650 al km 327+700, vía propuesta (rojo) y vía actual (amarillo).

En la figura 99, se presenta un acercamiento a la zona 3, el tramo final que presenta modificaciones importantes en comparación con el trazado actual, las características se presentan más adelante.

4.1.1 Elementos para modificar

4.1.1.1 Elementos de sujeción.

Las mejoras sugeridas se resumen a continuación, en la Tabla 11.

Tabla 11: Elementos de sujeción para la vía propuesta.

Concepto	Especificación
Durmientes	Concreto monolítico
Rieles	Patín plano 136 psi - Soldado
Sujeción	Tirafondos y Anclas



Figura 100: Elementos de sujeción en vía férrea.

4.1.1.2 Granulometría.

Según un estudio realizado para el tren de pasajeros de alta velocidad en Elche, España, y cuyas características son similares debido a la longitud y pendientes presentes en la topografía, se presenta dicha granulometría como propuesta para el proyecto. Cabe aclarar que los valores aceptados son aquellos que se encuentran en el rango mostrado (Tabla 12 y Figura 101).

Tabla 12: Granulometría para balasto propuesta para la vía.

Tamaño no.	Tamaño nominal o Abertura de la malla (mm)	Porcentaje que pasa	
2 1/2"	63	100	
2"	50	70	99
1 1/2"	40	30	65
1 1/4"	31.5	1	25
7/8"	22.4	0	3

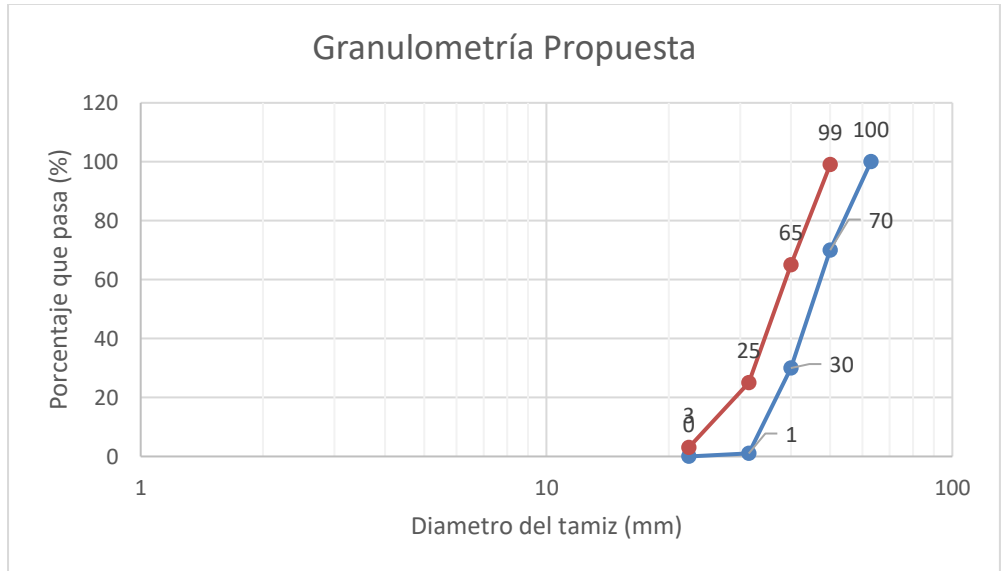


Figura 101: Granulometría para balasto propuesta para la vía (Anexo 8 del Estudio Informativo de la Red Arterial Ferroviaria de Elche, España).

4.2 Estado Modificado

En la Tabla 13 se proporcionan, calculadas en Civil 3D, las características de las curvas del alineamiento horizontal, en esta tabla se puede observar que el trazado contiene 17 curvas, las cuales tienen un radio de 800 m, y cuya longitud de curva varía según fue necesario para la propuesta. Adicionalmente se presentan la dirección de la curva y las coordenadas de inicio y fin de cada una de las curvas,

Tabla 13: Curvas del alineamiento horizontal de la vía propuesta.

Curve Table: Alignments					
Curve #	Radius	Length	Chord Direction	Start Point	End Point
C1	800.00	201.18	N27° 50' 26.54"W	(389590.86,3184916.08)	(389497.15,3185093.51)
C2	800.00	386.84	N21° 11' 32.79"W	(377014.40,3202890.94)	(376875.92,3203248.12)
C3	800.00	329.50	N4° 27' 34.07"E	(369401.77,3261272.54)	(369427.21,3261598.73)
C4	800.00	235.53	N7° 49' 28.82"E	(372627.37,3272571.71)	(372659.32,3272804.20)
C5	800.00	181.08	N7° 05' 38.23"W	(372558.87,3282245.89)	(372536.55,3282425.20)
C6	800.00	451.29	N2° 34' 56.88"E	(366510.98,3307373.18)	(366531.05,3307818.06)
C7	800.00	379.02	N5° 10' 14.73"E	(368636.77,3314023.71)	(368670.61,3314397.66)
C8	800.00	325.74	N20° 03' 59.89"W	(365327.66,3337031.29)	(365216.66,3337335.15)
C9	800.00	232.58	N23° 24' 10.62"W	(358503.12,3348191.95)	(358411.06,3348404.64)
C10	800.00	245.01	N6° 18' 02.73"W	(353893.72,3365176.48)	(353866.93,3365419.05)
C11	800.00	373.46	N15° 50' 47.67"E	(355382.17,3400504.75)	(355483.22,3400860.77)
C12	800.00	633.18	N6° 32' 46.81"E	(365352.50,3418505.11)	(365422.82,3419117.87)
C13	800.00	393.39	N2° 02' 25.34"W	(360979.22,3434485.29)	(360965.35,3434874.48)
C14	800.00	204.76	N4° 42' 52.04"E	(364231.89,3450180.75)	(364248.67,3450384.26)
C15	800.00	685.86	N21° 56' 32.75"E	(363392.39,3469111.57)	(363640.90,3469728.44)
C16	800.00	1131.17	N5° 59' 44.24"E	(370107.44,3475864.35)	(370215.99,3476897.93)
C17	800.00	440.99	N18° 43' 11.52"W	(360524.25,3490993.40)	(360384.51,3491405.79)

En la Tabla 14, se presentan las características de las tangentes del alineamiento horizontal, se presentan un total de 18 tangentes, las cuales tienen una distancia que varía entre 931 m y 58503 m. de manera similar a la tabla anterior, se presenta la dirección de la tangente y las coordenadas de inicio y fin de cada tangente.

Tabla 14: Tangentes del alineamiento horizontal de la vía propuesta.

Line Table: Alignments				
Line #	Length	Direction	Start Point	End Point
L1	1844.48	N20° 38' 11.03"W	(390240.92,3183189.96)	(389590.86,3184916.08)
L2	21738.62	N35° 02' 42.06"W	(389497.15,3185093.51)	(377014.40,3202890.94)
L3	58503.82	N7° 20' 23.53"W	(376875.92,3203248.12)	(369401.77,3261272.54)
L4	11430.10	N16° 15' 31.67"E	(369427.21,3261598.73)	(372627.37,3272571.71)
L5	9442.23	N0° 36' 34.44"W	(372659.32,3272804.20)	(372558.87,3282245.89)
L6	25665.33	N13° 34' 42.03"W	(372536.55,3282425.20)	(366510.98,3307373.18)
L7	6553.18	N18° 44' 35.79"E	(366531.05,3307818.06)	(368636.77,3314023.71)
L8	22879.17	N8° 24' 06.33"W	(368670.61,3314397.66)	(365327.66,3337031.29)
L9	12764.86	N31° 43' 53.44"W	(365216.66,3337335.15)	(358503.12,3348191.95)
L10	17369.54	N15° 04' 27.80"W	(358411.06,3348404.64)	(353893.72,3365176.48)
L11	35118.41	N2° 28' 22.35"E	(353866.93,3365419.05)	(355382.17,3400504.75)
L12	20216.96	N29° 13' 12.99"E	(355483.22,3400860.77)	(365352.50,3418505.11)
L13	15996.98	N16° 07' 39.37"W	(365422.82,3419117.87)	(360979.22,3434485.29)
L14	15650.95	N12° 02' 48.69"E	(360965.35,3434874.48)	(364231.89,3450180.75)
L15	18746.87	N2° 37' 04.61"W	(364248.67,3450384.26)	(363392.39,3469111.57)
L16	8914.34	N46° 30' 10.12"E	(363640.90,3469728.44)	(370107.44,3475864.35)
L17	17105.91	N34° 30' 41.64"W	(370215.99,3476897.93)	(360524.25,3490993.40)
L18	931.83	N2° 55' 41.39"W	(360384.51,3491405.79)	(360336.90,3492336.41)

En la Tabla 15 aparecen las características de las curvas del alineamiento vertical, inicialmente se presenta el número de curva vertical, y la ubicación de la curva vertical, es decir, el kilometraje en el que se encuentra. A continuación, encontramos la elevación que tiene dicha curva en su centro; la pendiente de entrada y la pendiente de salida. Seguido, encontramos la longitud de la curva, la cual para fines del proyecto todas tienen una longitud de 150 m. continua con el valor de K y finalmente encontramos el radio de la curva.

Tabla 15: Curvas verticales de la vía propuesta.

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000.00m	1474.068m		0.57%				
2	3+490.85m	1494.000m	0.57%	0.65%	0.08%	150.000m	1840.703	184070.265m
3	7+423.31m	1519.658m	0.65%	0.56%	0.10%	150.000m	1540.574	154057.387m
4	10+007.08m	1534.000m	0.56%	1.06%	0.51%	150.000m	296.433	29643.332m
5	12+268.87m	1558.000m	1.06%	0.07%	1.00%	150.000m	150.673	15067.348m
6	15+318.68m	1560.000m	0.07%	0.63%	0.57%	150.000m	264.897	26489.689m
7	18+930.80m	1582.823m	0.63%	0.94%	0.30%	150.000m	493.005	49300.485m
8	20+732.37m	1599.687m	0.94%	-0.30%	1.23%	150.000m	121.837	12183.674m
9	29+814.83m	1572.888m	-0.30%	-0.04%	0.26%	150.000m	577.817	57781.707m
10	37+202.61m	1570.268m	-0.04%	-0.30%	0.27%	150.000m	557.267	55726.680m
11	45+216.95m	1545.853m	-0.30%	-0.27%	0.03%	150.000m	4887.169	488716.932m
12	47+349.98m	1540.010m	-0.27%	-0.04%	0.23%	150.000m	639.188	63918.837m
13	69+603.47m	1531.271m	-0.04%	-0.06%	0.03%	150.000m	5990.33	599033.016m
14	78+750.29m	1525.388m	-0.06%	-0.06%	0.00%	150.000m	70792.188	7079218.767m
15	85+873.04m	1520.959m	-0.06%	1.14%	1.20%	150.000m	125.226	12522.586m
16	91+071.99m	1580.000m	1.14%	-0.11%	1.24%	150.000m	120.706	12070.613m
17	103+351.17m	1566.856m	-0.11%	1.08%	1.19%	150.000m	126.409	12640.900m
18	109+546.75m	1633.742m	1.08%	0.74%	0.34%	150.000m	440.021	44002.147m
19	113+370.78m	1661.990m	0.74%	0.61%	0.13%	150.000m	1128.105	112810.509m
20	115+603.77m	1675.515m	0.61%	-0.20%	0.81%	150.000m	185.684	18568.375m
21	121+479.29m	1663.641m	-0.20%	-1.23%	1.03%	150.000m	146.203	14620.323m
22	123+398.18m	1640.075m	-1.23%	-0.09%	1.13%	150.000m	132.285	13228.482m
23	127+613.42m	1636.106m	-0.09%	-0.53%	0.44%	150.000m	344.523	34452.252m
24	134+431.86m	1600.000m	-0.53%	-1.36%	0.83%	150.000m	179.908	17990.809m
25	138+844.69m	1539.840m	-1.36%	-0.62%	0.74%	150.000m	201.701	20170.104m
26	147+465.19m	1486.425m	-0.62%	-0.31%	0.31%	150.000m	484.009	48400.930m
27	154+060.01m	1466.000m	-0.31%	-0.58%	0.27%	150.000m	553.795	55379.496m
28	188+332.67m	1267.022m	-0.58%	-0.98%	0.40%	150.000m	374.216	37421.616m
29	191+277.44m	1238.122m	-0.98%	-0.12%	0.86%	150.000m	174.319	17431.851m
30	197+412.07m	1230.704m	-0.12%	-0.15%	0.03%	150.000m	4787.073	478707.272m
31	226+151.84m	1186.948m	-0.15%	0.18%	0.33%	150.000m	452.352	45235.175m
32	233+444.50m	1200.027m	0.18%	0.40%	0.22%	150.000m	686.391	68639.085m
33	243+455.42m	1239.859m	0.40%	0.22%	0.18%	150.000m	829.241	82924.146m
34	252+746.31m	1260.020m	0.22%	0.27%	0.05%	150.000m	2920.6	292060.002m
35	288+091.70m	1354.871m	0.27%	-0.55%	0.82%	150.000m	183.854	18385.419m
36	301+110.42m	1283.592m	-0.55%	0.80%	1.34%	150.000m	111.596	11159.637m
37	305+680.03m	1319.995m	0.80%	-0.83%	1.63%	150.000m	91.944	9194.441m
38	315+257.27m	1240.044m	-0.83%	0.39%	1.23%	150.000m	122.109	12210.897m
39	320+110.71m	1259.147m	0.39%	-0.46%	0.86%	150.000m	174.917	17491.730m
40	327+704.14m	1223.919m	-0.46%					

En la Figura 102 y Tabla 16, que se muestran a continuación, se exponen las características que debe presentar la sección transversal de la vía propuesta, en donde se establecen los espesores y pendientes que debe tener cada capa de la estructura. Se propone un terraplén de 9.98 m de ancho, una capa de sub-balasto de 30 cm de espesor y 7.28 m de ancho. Continúa con una capa de balasto con un espesor de 30 cm y un ancho inicial de 5.08 m y final de 3.40 m debido a la pendiente 1:2. Finalmente, se plantean durmientes en concreto de 2.40 m y rieles centrados con distancia entre ellos de 1.44 m. ...

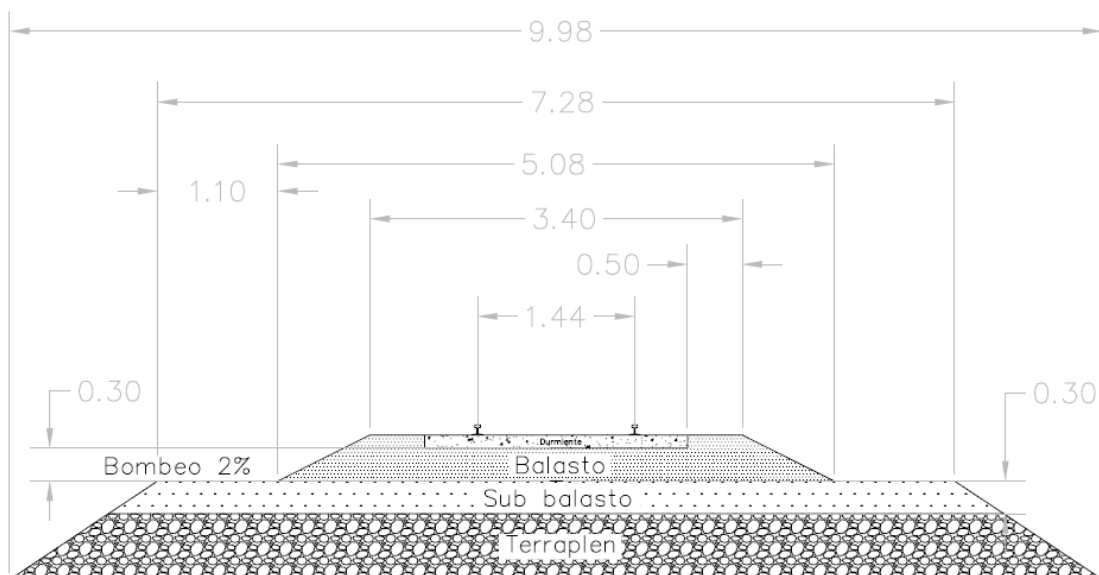


Figura 102: Sección transversal de la vía propuesta.

Tabla 16: Características de las capas de balasto en la vía propuesta.

Concepto	Vía Actual	Vía Propuesta
Ancho de corona del terraplén (m)	6.60	7.28
Base sección del balasto (m)	4.56	5.08
Corona de sección de balasto (m)	3.04	3.40
Longitud de durmiente (m)	2.44	2.40
Ancho de hombro de balasto (m)	0.30	0.50
Ancho de hombro de terraplén (m)	1.02	1.10
Espesor de balasto bajo del durmiente (m)	0.20	0.30
Bombeo del sub-balasto	2%	2%
Espesor del sub-balasto (m)	0.30	0.30

En la tabla 16, se presenta un comparativo entre las características que tiene la vía actual y la vía propuesta (en cuanto a capas de estructura) para así tener un entendimiento mayor de los cambios que se proponen para la vía férrea.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se demostró la importancia del tráfico mixto en vías férreas, que como se evidencia en la bibliografía, al permitir el tránsito de pasajeros de alta velocidad, en tiempos moderados y en las vías férreas actuales que transportan mercancía, es posible aumentar la calidad de vida, la productividad y se presenta una disminución en la contaminación ambiental.

El estudio también confirmó que el modelo de tránsito mixto sobre la misma vía férrea es posible y, se presentaron los diversos escenarios y casos reales a nivel mundial que tienen este sistema implementado y el cual funciona, debido a los dispositivos de seguridad y control que tienen presentes en la vía y en los trenes para garantizar la seguridad de todos los pasajeros y usuarios de la vía.

Los resultados de esta investigación se presentaron siguiendo las normativas actuales a nivel mundial para tránsito de pasajeros, con la finalidad de analizar los parámetros y características en cada escenario y realizar la comparación de similitudes o diferencias, entre la situación existente y las condiciones que tienen a nivel mundial, así como las normativas.

El objetivo fue determinar la factibilidad de implementación de un tren de pasajeros en la vía férrea actual, en la cual solo hay circulación de trenes de carga. Sin embargo, teniendo en cuenta las consideraciones teóricas, obtenidas por el estudio y análisis de diferentes normativas nacionales e internacionales, así como las condiciones actuales observadas en la práctica y documentada en fotografías, se concluyó que la vía actual, no cumple con los requisitos mínimos de la normativa para el tránsito mixto.

Por este motivo, se propuso una modificación al diseño geométrico, generando una vía alterna, con un trazado nuevo tanto de alineamiento horizontal como vertical que permita el tránsito de pasajeros a una velocidad máxima de 120 km/h, cuya pendiente máxima es menor al 2%.

Dentro de esta propuesta se consideraron los mismos puntos de referencia de la vía anterior, de tal forma que la infraestructura actual no tendría que sufrir modificaciones y conecta la vía en zonas urbanas como Chihuahua, Villa Ahumada y Ciudad Juárez, las cuales no se vieron afectadas.

Una recomendación a futuro es realizar levantamientos topográficos para analizar elementos geométricos y estructurales complementándolo con estudios ambientales, sociales y económicos para evaluar su factibilidad.

Esta investigación se convierte en un parteaguas para análisis posteriores que permitan y brinden servicios modernos, seguros, eficientes y sustentables para el transporte de pasajeros y carga.

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alemán, B. (2018). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-ARTF-2018, Sistema Ferroviario -Seguridad-Clasificación y Especificaciones de Vía. Agencia Nacional de Transporte Ferroviario. Dirección General de Regulación Ferroviaria. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5543410&fecha=09/11/2018
- Bustos M. y Diaz J. (2015). Algunas características de las líneas de alta velocidad. *Trenvista*, el ferrocarril en tus manos. Publicado el 17 de agosto de 2015. Consultado el 2 de agosto de 2021. <https://www.trenvista.net/a-fondo/caracteristicas-de-una-lineas-de-alta-velocidad/>
- Casanovas J. (2011). Interés del ferrocarril de alta velocidad en la República Popular China. (Tesis de Especialización de la Universitat Politècnica de Catalunya).
- CurioSfera Historia (2020). Historia del tren – Inventor y evolución. CurioSfera Historia. Consultado el 4 de enero de 2021. <https://curiosfera-historia.com/historia-del-tren/>
- Claudio I., García J. (2019). Actualización de los criterios de diseño geométrico de las vías férreas del Perú para mejorar el reglamento nacional de ferrocarriles. (Tesis de pregrado. Universidad Ricardo Palma).
- Eadic (2015). Infraestructura ferroviaria: Elementos que la integran. Eadic formación y consultoría. Consultado el 20 de ene. de 21. <https://www.eadic.com/infraestructura-ferroviaria-elementos/>
- Ebeling K. (2005). High-speed Railways in Germany. *Japan Railway & Transport Review*. 40. 36-45.
- Estudio informativo Red Arterial Ferroviaria de Elche, España. Anexo No. 8. Plataforma y superestructura. Consultado el 20 de febrero de 2022. <https://www.mitma.gob.es/ferrocarriles/estudios-en-tramite/elche-estacion-centro-urbano>
- Feigenbaum B. (2013). High Speed Rail in Europe and Asia: Lesson for the United States. Reason Foundation.
- Fernández D. (2020). El mercado del ferrocarril en Australia. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Sidney. <https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mdiw/odu4/~edisp/doc2020858061.pdf>
- Lindahl M. (2001). Track geometry for high-speed railways. *Railway Technology*. Department of Vehicle Engineering. Royal Institute of Technology.
- Montoya R. (2020). Metodología para la clasificación de tramos de vía ferroviaria para la renovación de balasto a partir de información técnica. Tesis de Maestría. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- National Transport Commission (2016). Who Moves What Where - Freight and Passenger Transport in Australia. Final Report. <https://www.ntc.gov.au/sites/default/files/assets/files/Whomoveswhatwherereport.pdf>
- Pistono J. (s. f.) Introducción a la historia del carril ferroviario. Universidad de Oviedo.
- Pouryousef, H., Lautala, P., White, T. (2015). Railroad capacity tolos and methodologies in the U.S. and Europe. *J Mode Transport*. 23. 30-42.
- Quintero, J. (2017). Beneficios ambientales, sociales y económicos del tranvía y el tren ligero: valoración de las políticas públicas en Colombia. *Revista Transporte y Territorio*. 17. 203-228.

- Randall, D., Frittelli, J., y Mallett, W. (2009). High Speed Rail (HSR) in the United States. Congressional Research Service.
- Schorung M. (2019). High-speed Rail in the United States: An original model of establishment and development. International Congress on High-Speed Rail. Technologies and long-term impacts. Octubre 2017. España.
- Shweta (2018). History of Indian Railways -1853 to 2018. Orient Rail Journeys Blog. Consultado el 12 de enero de 2021. <https://www.orientrailjourneys.com/blog/history-of-indian-railways/>
- Ubalde L. (2005). La auscultación y los trabajos de vía en la línea del AVE Madrid-Sevilla: Análisis de la experiencia y deducción de nuevos criterios de mantenimiento. Tesis de Doctorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.

Anexos

ANEXO 1: Tablas de diseño horizontal de la vía férrea actual entre Chihuahua y Ciudad Juárez.

ANEXO 2: Planos de la propuesta de la vía férrea actual entre Chihuahua y Ciudad Juárez.

Curriculum Vitae

Ingeniera Civil graduada en el 2017 con tesis meritoria de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia).

Trabajó como asistente de ingeniería y brindó apoyo a la gerencia de la construcción de La Clínica La Sabana, ubicada en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Ha publicado artículos en la revista CICDECH sobre Costos Generalizados de Viaje y Estudios técnicos justificativos durante el año 2021.

Trabajó como auxiliar de obra en la supervisión de la construcción de un establecimiento para venta comercial, ubicado en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua.

Contacto: mariaclaraclevesruiz@gmail.com

Domicilio Permanente: Chihuahua, Chihuahua, 31107

Esta tesis fue mecanografiada por María Clara Cleves Ruiz.