

República de Chile
Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

DEFINICIÓN DE ESTÁNDARES DE SOLUCIÓN DE CRUCES FERROVIARIOS EN FUNCIÓN DE SU ÍNDICE DE PELIGROSIDAD



Informe Final



an NTT DATA Company

Santiago, diciembre de 2019

ÍNDICE

A.1	Introducción	12
A.2	Objetivos del Estudio	15
A.3	Enfoque metodológico	16
A.4	Recolección y análisis de antecedentes	18
A.4.1	<i>Antecedentes normativos nacionales</i>	18
A.4.2	<i>Antecedentes normativos internacionales</i>	30
A.4.3	<i>Informes de consultoría</i>	36
A.4.4	<i>Antecedentes de Empresas Ferroviarias</i>	42
A.4.5	<i>Base de Datos Revisión Bibliográfica</i>	47
A.4.6	<i>Fichas resumen</i>	48
A.5	Revisión de experiencia extranjera comparada.....	49
A.5.1	<i>Análisis exploratorio general</i>	49
A.5.2	<i>Análisis de cinco casos de experiencia extranjera</i>	59
A.5.3	<i>Resumen comparativo</i>	99
A.6	Análisis de estándares alternativos.....	110
A.6.1	<i>Análisis normativo nacional</i>	110
A.6.2	<i>Análisis normativo Internacional</i>	150
A.6.3	<i>Análisis de antecedentes de accidentabilidad</i>	167
A.6.4	<i>Análisis de costos y beneficios</i>	202

A.6.5	<i>Análisis red ferroviaria privada</i>	219
A.7	Auditoría de seguridad vial	224
A.7.1	<i>Cruce Ferroviario N°1: Pablo Neruda-Angamos (San Antonio, Valparaíso)</i>	227
A.7.2	<i>Cruce Ferroviario N°2: San Pedro (San Pedro, Valparaíso)</i>	233
A.7.3	<i>Cruce Ferroviario N°3: Peñaflor (Peñaflor, RM)</i>	239
A.7.4	<i>Cruce Ferroviario N°4: Desiderio Sanhueza (Concepción, Biobío)</i>	245
A.7.5	<i>Cruce Ferroviario N°5: La Capilla (Maipú, RM)</i>	251
A.7.6	<i>Resumen</i>	257
A.8	Proposición final	258
A.8.1	<i>Documento técnico</i>	258
A.8.2	<i>Plan de implementación</i>	312

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ilustrativo Metodología General	17
Ilustración 2. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar	53
Ilustración 3. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con luces y sonido adicionales intermitentes (Protección Activa).....	55
Ilustración 4. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con luces y sonido adicionales intermitentes y 2 Barreras Automáticas simple de entrada (Protección Activa)	56
Ilustración 5. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con Luces y sonido adicionales Intermitentes y 4 Semi-Barreras Automáticas (barreras de entrada y salida; Protección Activa)	57
Ilustración 6. Postes de señalización ferroviaria estándar con luces y sonido adicionales intermitentes y barreras de celdas de detección de vehículo	58
Ilustración 7. Extracto normativa estadounidense respectiva a supresión de cruces a nivel.	65
Ilustración 8. Extracto normativa estadounidense respectiva a supresión y desnivelación..	66
Ilustración 9. Números de accidentes y números de tipo de cruce	87
Ilustración 10. Ejemplo de distribución horaria del flujo vehicular en una intersección, en un período de 12 horas	113
Ilustración 11. Esquema en planta y alzado de cruces a nivel cono vías férreas.....	117
Ilustración 12. Variación de IP en función de \emptyset	118
Ilustración 13. Rombo de visibilidad según Decreto N° 38	120
Ilustración 14. Letrero de advertencia vial para doble vía férrea	126
Ilustración 15. Tiempos y Distancias involucradas en un Cruce, caso $V = 120$ Km/h	127

Ilustración 16. Vía férrea doble con peralte	128
Ilustración 17. Señal PARE	129
Ilustración 18. Señal Cruz de San Andrés	131
Ilustración 19. Señal Cruce Ferroviario a nivel sin barreras	132
Ilustración 20. Señal Cruce Ferroviario a nivel con barreras	132
Ilustración 21. Letrero SIN GUARDACRUCE	133
Ilustración 22. Cruceta CRUCE PITO	134
Ilustración 23. Ilustrativo LUZ BLANCA INDICA NO VIENE TREN	135
Ilustración 24. Ilustrativo Barreras Automáticas	137
Ilustración 25. Ilustrativo de señal auxiliar para el tren	141
Ilustración 26. Ilustrativo Losetas flotantes.....	142
Ilustración 27. Categoría y valores MC con Visibilidad	144
Ilustración 28. Esquema tipo de barrera doble en vía férrea (de entrada y salida).....	149
Ilustración 29. Ejemplo formulación de variables en 3 cruces ficticios (método EEUU)..	151
Ilustración 30. Ejemplo formulación de las variables en 3 cruces ficticios	151
Ilustración 31. Valores del Índice de Riesgo	152
Ilustración 32. Diagrama de Calzada de Doble Sentido (machones o cordón separador)..	156
Ilustración 33. Velocidad y Distancia de Visibilidad	166
Ilustración 34. Resumen de ítems lista de chequeo para Auditoría de Seguridad Vial en cruces públicos a nivel.....	225
Ilustración 35. Esquema de ubicación del cruce.....	227
Ilustración 36. Ubicación georreferencial del cruce	228
Ilustración 37. Fotografías cruce	231

Ilustración 38. Esquema de ubicación del cruce.....	233
Ilustración 39. Ubicación georreferencial del cruce	234
Ilustración 40. Fotografías del cruce	236
Ilustración 41. Esquema de ubicación del cruce.....	239
Ilustración 42. Ubicación geográfica del cruce	240
Ilustración 43. Fotografías del cruce	242
Ilustración 44. Esquema de ubicación del cruce.....	245
Ilustración 45. Ubicación geográfica del cruce	246
Ilustración 46. Fotografías del cruce	249
Ilustración 47. Esquema de ubicación del cruce.....	251
Ilustración 48. Ubicación geográfica del cruce	252
Ilustración 49. Fotografías del cruce	255
Ilustración 50. Ejemplo paso superior con varios vanos	319
Ilustración 51. Automatización de la vía férrea y la carretera de un cruce ferroviario	332
Ilustración 52. Señal al tren antes del cruce	336
Ilustración 53. Espiras de detección de obstáculos en un cruce	338
Ilustración 54. Carta Gantt	362
Ilustración 55. Calendario de inversiones.....	364

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correlación entre tareas y apartados del informe	17
Tabla 2. Automatización de Cruces en EEUU	61
Tabla 3. Factores Características del cruce	64
Tabla 4. Valores para cálculo de la visibilidad en cruces urbanos	74
Tabla 5. Cantidad de vehículos diario	89
Tabla 6. Momento de tráfico y velocidad máxima en el cruce.....	90
Tabla 7. Recomendaciones sobre la distancia mínima de la visibilidad	94
Tabla 8. Estadísticas de nivel de equipamiento de los cruces ferroviarios de Francia.....	95
Tabla 9. Cuadro comparativo entre países.....	102
Tabla 10. Factores de equivalencia.....	113
Tabla 11. Propuesta de factores de equivalencia para vehículos ferroviarios	114
Tabla 12. Referencias a la visión humana en el Manual de Carreteras	121
Tabla 13. Valores de los coeficientes <i>bi</i>	124
Tabla 14. Velocidades máximas según Clase de vía férrea EFE.....	140
Tabla 15. Tasa de desaceleración de los vehículos viales	145
Tabla 16. Tasa de Aceleración de los Vehículos.....	145
Tabla 17. Periodos de actualización de los cálculos de MC.....	146
Tabla 18. Tipo de señalización	148
Tabla 19. Colisiones Bienio 2018-2019 EFE	167
Tabla 20. Accidentabilidad de los tres tramos con más colisiones en EFE.....	169

Tabla 21. Accidentabilidad con resultado de fallecimiento en los cinco tramos de análisis	170
Tabla 22. Total de colisiones bienio 2018-2019 EFE	171
Tabla 23. Cruces con más de 1 accidente en bienio 2018-2019.....	174
Tabla 24. Cruces con Accidentes y Alto IP en Bienio 2018-2019.....	176
Tabla 25. Accidentes en cruces en tramos con servicios de trenes tipo metro.....	176
Tabla 26. Colisiones 2009-2018 por región	178
Tabla 27. Accidentabilidad con resultado de fallecimiento por región.....	180
Tabla 28. Nivel de gravedad de las víctimas de los siniestros ferroviarios 2009-2018	181
Tabla 29. Causas de los siniestros en las regiones con mayor número de accidentes durante la década 2009-2018.....	183
Tabla 30. Tipo de accidente en los siniestros en la década 2009-2018.....	185
Tabla 31. Comparación Tasas de Accidentes.....	186
Tabla 32. Análisis de accidentes y fatalidades por tren kilometro/año (millones).....	186
Tabla 33. Índice de accidentes y fatalidades por tren kilometro/año (millones).....	187
Tabla 34. Accidentes ferroviarios zona norte 2008-2009.....	200
Tabla 35. Principales partidas consideradas en costos de inversión.....	203
Tabla 36. Costo para medir el IP de un cruce.....	207
Tabla 37. Valor Social del tiempo Urbano e Interurbano.....	208
Tabla 38. Vector de costo social por lesionado según nivel de gravedad del accidente	213
Tabla 39. Vector de costo social por daños a vehículo según tipo de accidente	214
Tabla 40. Costos sociales unitarios accidentes ferroviarios (UF)	214
Tabla 41. Costo social medio de accidentes - EFE.....	215

Tabla 42. Costo social medio de accidente – Siniestros Ferroviarios 2009-2018.....	216
Tabla 43. Valores de L_v (largo del vehículo).....	268
Tabla 44. Valores de a (faja vía de seguridad).....	268
Tabla 45. Valores de J (Coeficiente de aceleración)	268
Tabla 46. Tiempos de franqueos en cruces a nivel con vías férreas.....	269
Tabla 47. Distancias de visibilidad en cruces a nivel con vías férreas	269
Tabla 48. Cálculo de la Visibilidad Requerida en función de la velocidad del tren	271
Tabla 49. Tipo de señalización según MC y Visibilidad.....	274
Tabla 50. Cálculo de la distancia requerida, D_t , según V_m y n	281
Tabla 51. Valores de D_r y D_t , para $v = 100 \text{ km/h}$, tramo Santiago-Chillán	282
Tabla 52. Valores de D_r y D_t , con $v = 160 \text{ km/h}$, tramo Santiago-Chillán	291
Tabla 53. Cálculo de la Señalización requerida según el Momento de Circulación (MC)	305
Tabla 54. Cálculo de la Señalización requerida según el Índice de Peligrosidad (IP).....	307
Tabla 55. Relación entre los valores de MC e IP propuestos	308
Tabla 56. Cálculo de D_t según V_m y n	310
Tabla 57. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel (datos de EFE).....	315
Tabla 58. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel para Pasos Inferiores	316
Tabla 59. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel para Pasos Superiores	317
Tabla 60. Cruces que deben desnivelarse	321
Tabla 61. Cruces que deben desnivelarse	323
Tabla 62. Cruces con $IP > 1.000.000$ indicados de mayor a menor	324

Tabla 63. Cruces con MC>50.000 indicados de mayor a menor	325
Tabla 64. Desnivelaciones según prioridad.....	326
Tabla 65. Nuevos dispositivos en barreras automáticas.....	327
Tabla 66. Parámetros de cada cruce.	328
Tabla 67. Parámetros por categoría de cruce.....	329
Tabla 68. Estado de actual de la automatización de los cruces de Santiago a Chillán.....	339
Tabla 69. Cruces de Santiago a Chillán que requieren automatización	350
Tabla 70. Valores de Automatización de un Cruce en UF.....	353
Tabla 71. Prioridad de las Automatizaciones Pendientes según valor del IP	355
Tabla 72. Son 23 Cruces con IP > 1.000.000 (7 Cruces con MC > 50.000 + 16 Cruces con MC < 50.000 = 23) Cruces a desnivelar por IP	370

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Nivel de gravedad de las víctimas de los siniestros ferroviarios en la década 2009-2018	183
Gráfica 2. Accidentes por región (Empresa EFE)	190
Gráfica 3. Víctimas de accidentes por región (Empresa EFE)	191
Gráfica 4. Accidentes por región (Siniestros ferroviarios 2009-2018)	192
Gráfica 5. Víctimas por región (Siniestros ferroviarios 2009-2018).....	193
Gráfica 6. Tasa de Accidentabilidad Ferroviaria 2011-2019 - EFE	194
Gráfica 7. Promedio de accidentabilidad por región según nivel de gravedad 2018-2019, EFE	196
Gráfica 8. Promedio de accidentabilidad según nivel de gravedad – Siniestros Ferroviarios 2009-2018.....	197
Gráfica 9. Tasa de víctimas por accidentes según gravedad 2018-2019, EFE.....	198
Gráfica 10. Tasa de víctimas por accidentes según gravedad – Siniestros Ferroviarios 2009-2018	199

A.1 Introducción

La Subsecretaría de Transportes asesora en la supervigilancia y coordinación de la operación y desarrollo de todos los servicios y medios de transportes, así es como se ocupa del fomento e integración de las diferentes clases de transportes y de sus servicios complementarios, en un sistema nacional que satisfaga las necesidades generales del movimiento de personas y adecuado abastecimiento del país.

El ejercicio de dichas tareas supone contar con los estudios necesarios que sirvan de base a la elaboración de las proposiciones o recomendaciones que se deba formular a las autoridades y organismos de Gobierno, a fin de que este último pueda adoptar decisiones debidamente informadas.

En el ámbito ferroviario dicha función la desarrolla el Departamento de Transporte Terrestre que integra el Programa de Desarrollo Logístico, el que es responsable del ejercicio, entre otras, de las funciones y atribuciones establecidas en el artículo 5° del DFL N° 343 de 1953.

En el marco de las funciones y atribuciones dispuestas en el cuerpo normativo citado, es necesario asegurar adecuadamente la interacción de la red ferroviaria con la red vial, tanto por la importancia del resguardo de la vida e integridad de las personas, equipos e instalaciones, como también por la debida continuidad de las operaciones de ese sector del transporte.

El Decreto N° 38 de 1986 de la Subsecretaría de Transportes establece las condiciones de seguridad y dispositivos de protección que deben cumplir los cruces a nivel en función de los flujos viales y ferroviarios y las condiciones geométricas del cruce. **En este cálculo es relevante la velocidad máxima de circulación de los trenes de viajeros y de mercancías.**

Se entiende por dispositivos de seguridad legales en Chile, entre otros los siguientes:

- La **señalética fija** (señal Pare, señal Cruz de San Andrés o Disco Internacional, letrero Sin Guarda Cruce y letrero Cruce-Pito por la vía férrea).
- **Barreras y medias-barreras** (manuales o automáticas).
- **Banderistas Automáticos** (dispositivo sonoro-luminoso que anuncia la cercanía de un tren).
- **Señalización Automática Completa** del cruce para los trenes y vehículos:
 - Luz blanca fija para el tren, asegurando que las barreras están abajo.
 - Luz amarilla intermitente para el tren cuando el cruce no está expedito para el paso del tren.
 - Luz blanca fija para el vehículo vial, asegurando que la vía férrea esta despejada.
 - Luz roja intermitente para el vehículo vial, indicando que viene tren (las barreras están abajo).
- Otras **condiciones geométricas** del cruce:
 - Visibilidad en los 4 sentidos.
 - Nivelación de ambos accesos viales.
 - Tipo y Estado de la carpeta de Rodado.
 - Otros: Varias vías férreas, vía electrificada, vía férrea o camino en curva (peralte), vía de alta velocidad, etc.
- **Condiciones Particulares** para los **Cruces Particulares**: portones, cadenas, barreras, etc. (normado por Decreto Supremo N°2132, fuera del alcance de este Estudio).

Históricamente, la situación de los cruces ferroviarios públicos a nivel en la red ferroviaria nacional ha sido bastante precaria, existiendo gran cantidad de cruces informales (de gran uso por la población hace muchos años e imposible de clausurar), **cruces clandestinos e ilegales normalmente de mala seguridad, cruces particulares no protegidos y con uso público** (con portón, cadena o barrera de seguridad), y presentando incluso los cruces formales un estándar de soluciones de infraestructura inadecuado.

En años recientes, sin embargo, se ha conducido un extenso trabajo de regularización de los cruces ferroviarios de la red EFE, que ha incluido un catastro detallado de los cruces ferroviarios, el cierre de cruces informales, la evaluación del índice de peligrosidad (IP) de los cruces formales y la implementación de soluciones de infraestructura y regulación de acuerdo a lo normado por el Decreto N° 38 de 1986, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Sin perjuicio de los avances logrados, subsisten situaciones que requieren atención. En particular, el citado Decreto N° 38, no establece un estándar para la desnivelación de cruces ferroviarios en función de su índice de peligrosidad (IP), por lo que resulta necesario analizar y elaborar una propuesta que considere la fijación de un valor que determine la obligatoriedad de ese tipo de solución desnivelada, que a su vez considere los costos de inversión asociados, ello con la finalidad de determinar eventuales modificaciones a la normativa vigente aplicable, que introduzcan mejoras para la operación y seguridad de los cruces ferroviarios.

Se debe resaltar que el actual Decreto N° 38, resulta inaplicable para los trenes de pasajeros actuales (automotores de cercanías como metros de superficie: Metro Valparaíso, TREN CENTRAL, FESUR), particularmente para frecuencias pick menores a 10 minutos y velocidades mayores a 100 km/h.

A.2 Objetivos del Estudio

El **objetivo principal** del presente Estudio es **analizar la situación actual general de cruces ferroviarios, la experiencia comparada internacional y proponer ajustes normativos que mejoren la operación y seguridad** de los mismos, estableciendo de manera fundada un **estándar de protección de cruces en función del Índice de Peligrosidad** que establezca, adicionalmente a las categorías vigentes ‘con’ y ‘sin barreras’ del citado Decreto N° 38, a partir de qué nivel es conveniente implementar soluciones desniveladas en cruces ferroviarios.

Los **objetivos específicos** del estudio son:

- **Conocer** el estado actual de la seguridad de los cruces ferroviarios en la red ferroviaria en Chile.
- **Conocer** el estado del arte sobre la normativa internacional que incide en la seguridad en cruces ferroviarios.
- **Conocer** estándares que recomienden la solución de cruces a desnivel.
- **Proponer** estándares y cambios de la regulación oficial vigente en Chile sobre cruces públicos ferroviarios a nivel.

A.3 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de este Estudio se centra en realizar dos tipos de actividades orientadas a cumplir los objetivos propuestos:

- Una primera de **recopilación y análisis** de estudios e información relacionada a cruces ferroviarios, tanto datos estadísticos como proyectos de infraestructura y normativas aplicadas a ello.
- La segunda, centrada en la **generación de propuestas** que presenten mejoras alternativas a la regulación nacional actual y una proposición final que considere fuentes de financiamiento, montos de inversión y plazos de ejecución.

La metodología general se plantea en un total de 5 tareas, las que se señalan en la siguiente ilustración, junto a su correlación con el apartado del informe en que se desarrollan:

Ilustración 1. Ilustrativo Metodología General



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Correlación entre tareas y apartados del informe

Tarea en la Oferta Técnica	Apartado en el Informe
Tarea 1. Recolección y Análisis de Antecedentes	A.4 Recolección y análisis de antecedentes
Tarea 2. Revisión de Experiencia Extranjera Comparada	A.5 Revisión de experiencia extranjera comparada
Tarea 3. Análisis de Estándares Alternativos	A.6 Análisis de estándares alternativos
Tarea 4. Auditoría de Seguridad Vial	A.7 Auditoría de seguridad vial
Tarea 5. Proposición Final	A.8 Proposición final

Fuente: Elaboración propia

A.4 Recolección y análisis de antecedentes

El desarrollo del presente Estudio ha tenido en consideración diversos antecedentes, que han servido como referencia y como fuente de información para el desarrollo de las tareas y cumplimiento de los objetivos planteados. Son considerados todos los documentos aportados por el Director del Estudio, así como también los adicionados por parte de la Consultora.

A continuación se muestran las referencias analizadas, mostrando un resumen de la información aportada por cada documento, los que han sido clasificados según su temática. Los documentos digitalizados se incluyen en el *Anexo 1 – Antecedentes*, en la subcarpeta *1.1 Referencias*.

A.4.1 Antecedentes normativos nacionales

REFERENCIA 1: “DECRETO 500 APRUEBA NÓMINA DE CRUCES FERROVIARIOS PÚBLICOS A NIVEL, UBICADOS EN LA RED SUR (PUERTO A PUERTO MONTT Y RAMALES”. MINISTERIO DE ECONOMÍA, CHILE (1962).

Este documento aprueba la nómina de cruces públicos a nivel existentes en la Red Sur (Puerto a Pueblo Montt y ramales), de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, del año 1962. Lo anterior, considerando “que con la construcción de la Carretera Panamericana se han habilitado nuevos cruces y clausurando otros; al mismo tiempo se han eliminado automáticamente los situados en ramales suprimidos y cambiado de ubicación algunos situados en extremos de estaciones”, en el contexto del año 1964.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio:

- Indica que para el listado de cruces de su Artículo 1º, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado estará obligada a construir barreras y guarda-ganados y mantener entre las 7,00 y 19,00 horas del día, un Guarda-Cruce”.
- Indica que para el listado de cruces de su Artículo 2º, en que los caminos públicos atraviesan la línea férrea, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado no mantendrá guardacruzadas ni barreras, pero estará obligada a mantener en funciones un servicio práctico de señales, que permita a los que transiten por ellos percibir a la distancia la proximidad de un cruzamiento”.

REFERENCIA 2: “DECRETO 405 APRUEBA NÓMINA DE CRUCES PÚBLICOS A NIVEL EXISTENTES EN LA RED NORTE (CALERA A PUEBLO HUNDIDO Y RAMALES). MINISTERIO DE ECONOMÍA, CHILE (1964).

Este documento actualiza la nómina de cruces públicos a nivel existentes en la Red Norte (Calera a Pueblo Hundido y ramales), de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, del año 1962. Lo anterior, considerando “que con la construcción de la Carretera Panamericana se han habilitado nuevos cruces y clausurando otros; al mismo tiempo se han eliminado automáticamente los situados en ramales suprimidos y cambiado de ubicación algunos situados en extremos de estaciones”, en el contexto del año 1964.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio:

- Indica que para el listado de cruces de su Artículo 2º, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado estará obligada a construir barreras y guardaganados y mantener entre las 7,00 y 19,00 horas del día, un Guarda-Cruce”.

- Indica que para el listado de cruces de su Artículo 3º, en que los caminos públicos atraviesan la línea férrea, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado NO mantendrá Guarda-Cruzada, pero estará obligada a mantener en funciones un servicio práctico de señales, que permita a los que transiten por ellos, percibir a la distancia la proximidad de un cruzamiento”.

REFERENCIA 3: “DECRETO 252 MODIFICA NÓMINA DE CRUCES FERROVIARIOS PÚBLICOS A NIVEL CONTENIDA EN EL DECRETO N° 500, DEL MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN, DE 1962 Y SUS MODIFICACIONES”. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (1995).

Este documento modifica la nómina de cruces ferroviarios públicos a nivel contenida en el Decreto N° 500 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Transportes, de 1962 y sus modificaciones.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio:

- Indica que para el listado de su Artículo 1º, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado estará obligada a construir barreras y guardaguanados y cumplir con las obligaciones que se establecen en el inciso segundo del artículo 41 del Decreto con Fuerza de Ley N°1, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, de 30 de junio de 1993”.
- Indica que para el listado de cruces de su Artículo 2º, “la Empresa de Ferrocarriles del Estado estará obligada a mantener en funciones un servicio práctico de señales, que permita a los que transiten por ellos percibir a la distancia la proximidad de un cruzamiento”.

REFERENCIA 4: “NORMA DE SEGURIDAD CRUCES A NIVEL NS-01-05-00”. EMPRESA DE LOS FERROCARRILES DEL ESTADO, CHILE (2006).

Documento de 28 páginas que constituye la Norma de Seguridad de EFE del año 2006, que “establece los requisitos mínimos de diseño que debe cumplir un cruce a nivel autorizado a la vía férrea de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, para prevenir los riesgos de las circulaciones ferroviarias y viales, unas en relación con las otras, en todos aquellos puntos de la vía en los cuales los dos medios de transporte, ferroviario y de carretera, se cruzan a un mismo nivel”.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, destaca:

- La Norma de Seguridad clasifica los cruces a nivel en seis categorías de acuerdo al Momento de Circulación y a su Visibilidad.
- Establece requisitos generales mínimos para calzadas viales de un máximo de dos pistas por sentido, y de equipamiento para cada categoría de cruces a nivel.
- Establece requisitos de señalización fija.
- Establece requisitos de señalización activa.
- Establece requisitos de barreras.
- Establece requisitos de sistemas de semi-barreras de entrada.
- Establece requisitos de sistemas de semi-barreras de entrada y salida.
- Establece requisitos de tiempo de anuncio de trenes y otros tiempos a considerar.
- Establece velocidad máxima en líneas donde se permite la existencia de cruces a nivel.
- Establece requisitos de funcionamiento de los elementos de señalización.

- Establece requisitos varios y requisitos referentes a equipos de señalización y carpetas de rodado.

Se aclara que esta norma de seguridad de cruces públicos a nivel del año 2006 ya no está vigente, fue derogada por EFE, por otra vigente promulgada el año 2017, con las siguientes diferencias importantes:

- La del 2006 establece el **Momento de Circulación** y la Visibilidad para medir la peligrosidad. La del 2017 establece solo el **IP** para medir la peligrosidad, es decir, lo mismo que establece el DS38 vigente desde 1986.
- La del 2006 establece un máximo de 2 pistas viales por sentido, es decir, 4 pistas máximo. La del 2017 establece máximo 2 pistas, una en cada sentido o las dos en el mismo sentido.
- La del 2006 obliga a desnivelar un cruce para velocidades de trenes mayores a 160 Km/h. La del 2017 recomienda desnivelar un cruce para velocidades mayores a 100 Km/h.
- La del 2006 dispone que para “**A**” flujo vehicular sobre 5.000 vehículos por día, se deben usar barreras automáticas dobles (de entrada y salida). La del 2017 solo discrimina la automatización de la señalización por IP.

REFERENCIA 5: “BORRADOR DE ‘MODIFICA DECRETO SUPREMO 38 DE 1986 SOBRE PROTECCIÓN DE CRUCES FERROVIARIOS’”. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (2012).

Este documento de tipo borrador se desarrolla en el marco de “actividades de actualización normativa y mejoramiento de la seguridad en transporte ferroviario”, con la finalidad de constituir una propuesta de modificación del Decreto 38 de 1986. Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio se destaca:

- Una clasificación de cruces con nuevas categorías de protección (5), en función del Momento de Circulación (MC) y la visibilidad.
- Una adecuación de criterios técnicos para definir las nuevas visibilidades del cruce: “la requerida” debe ser mayor que “la real” (visibilidad suficiente).
- Recomienda una solución de desnivelación cuando el cruce tiene un $MC > 100.000$
- Liberación de la señal PARE para algunos casos: $MC < 5.000$; visibilidad suficiente; $V < 80$ km/h; y simple vía.
- Se omite en el cálculo del MC, la visibilidad, cuando el $MC > 100.000$, requiere sí el uso obligado de barreras.
- Para el cálculo de las distancias de visibilidad requerida y de distancia de frenado, de trenes y vehículos viales, utiliza: la velocidad, el tiempo de reacción, la tasa de desaceleración, la geometría del cruce y el vehículo más largo y lento.
- Plazo de actuación para los nuevos requerimientos = 5 años.

REFERENCIA 6: “BORRADOR DE ‘REGLAMENTA DESNIVELACIÓN DE CRUCES FERROVIARIOS PÚBLICOS A NIVEL Y DEROGA DS N°38 DE 1986’”. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (2015).

Este documento de tipo borrador tiene la finalidad de constituir una propuesta de modificación del Decreto 38 de 1986, incorporando la metodología de la Norma de Seguridad de Cruces a Nivel 01-05-00 de la Empresa de Ferrocarriles del Estado. Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio se destaca:

- Define la categorización de los cruces según: la velocidad del tren, la visibilidad del cruce y el volumen de tráfico combinado.
- Define los criterios técnicos para definir las nuevas visibilidades del cruce: “la requerida” debe ser mayor que “la real” (visibilidad suficiente).
- Indica la conveniencia de desnivelar el cruce, en 3 casos:
 - o Cuando el cruce a nivel se encuentre situado en una línea férrea cuya velocidad máxima sea igual o superior a 160 kilómetros/hora.
 - o Cuando el cruce a nivel presente un Momento de Circulación (MC) de valor superior a 50.000 y cuando a una vía simple se le construye una segunda.
 - o Define en 1.000 m la distancia mínima entre cruces.
- Plazo de actuación para los nuevos requerimientos = 5 años.

REFERENCIA 7: “DEFINE OBLIGACIÓN DE MATERIALIZAR CRUCES FERROVIARIOS PÚBLICOS A DISTINTO NIVEL”. BORRADOR. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (2016).

Este documento corresponde a un borrador de la propuesta del 30.11.2016 de un nuevo Decreto del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones que defina cuando se debe desnivelar un cruce. En particular, en su Artículo 5°, menciona:

“Verificación de Cruces Ferroviarios Públicos a Nivel. El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, en coordinación con los Ministerios de Vivienda y Urbanismo, y de Obras Públicas, en función del criterio establecido para cruces ferroviarios públicos a nivel con Índice de Peligrosidad (IP), igual o mayor a 2.000.000, formulará mediante resolución técnica, una nómina de cruces a eliminar, definiendo aquellos con prioridad presupuestaria, para ser materializados a distinto nivel.”

REFERENCIA 8: “NORMA DE SEGURIDAD CRUCES A NIVEL NS-01-05-00”. EMPRESA DE LOS FERROCARRILES DEL ESTADO, CHILE (2017).

Documento de 17 páginas que constituye la Norma de Seguridad de EFE del año 2017, que “establece los requisitos mínimos de diseño que debe cumplir un cruce a nivel autorizado a la vía férrea de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, para prevenir los riesgos de las circulaciones ferroviarias y viales”.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, destaca:

- La Norma de Seguridad clasifica los cruces a nivel en dos categorías de acuerdo al Índice de Peligrosidad.
- Establece requisitos generales mínimos para calzadas viales de un máximo de dos pistas, una por sentido o ambas en un mismo sentido, y de equipamiento para cada categoría de cruces a nivel: señalización pasiva o fija, y señalización activa.
- Establece requisitos de tiempo de anuncio de trenes.
- Establece requisitos de cruces especiales.

Establece requisitos varios y requisitos referentes a equipos de señalización y carpetas de rodado.

REFERENCIA 9: “DEFINE OBLIGACIÓN DE MATERIALIZAR CRUCES FERROVIARIOS PÚBLICOS A DISTINTO NIVEL”. BORRADOR. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. CHILE (2018).

Este documento corresponde a un borrador de la propuesta del año 2018 de un nuevo Decreto del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones que defina cuando se debe desnivelar un cruce. En particular, en su Artículo 1°, indica:

“Que para aquellas vías férreas cuya velocidad de circulación sea igual o superior a 160 kilómetros/hora, se establezca la obligatoriedad de que los cruces a nivel que existan en ella estén desnivelados o se desnivelen.”

Mientras que en su Artículo 2°, indica:

“El valor definido para materializar a distinto nivel la vía férrea y la vialidad, será igual o mayor a un Índice de Peligrosidad, IP, de 2.000.000, calculado según la fórmula descrita en el Decreto N° 38, de 21 de marzo de 1986, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, citada en artículo 1° del presente Decreto.”

REFERENCIA 10: “MINUTA SOBRE DESNIVELACIONES DE CRUCES FERROVIARIOS”. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (2018).

Minuta del 18.10.2018 con los criterios para redactar un nuevo Decreto del MTT que defina cuando se debe desnivelar un cruce. Entre sus principales conclusiones destaca:

- “En consideración a los antecedentes entregados, se propone establecer una normativa que se establezca en un decreto conjunto de los Ministerios de Transportes y Telecomunicaciones, Obras Públicas y Vivienda y Urbanismo, que indique los límites de los índices de Velocidad de Operación de la vía Férrea y de Índice de Peligrosidad, que establezca la obligatoriedad de desnivelación de los cruces.”
- “Los valores serían Velocidad de operación igual o superior a 160 Kilómetros/hora o Índice de Peligrosidad igual o superior a 2.000.000.”

REFERENCIA 11: “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE FERROVIARIO”. MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL, CHILE (2016).

Este documento es una “guía para la preparación y evaluación de proyectos de transporte ferroviario”, entregando “recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de inversión pública en iniciativas que involucran sistemas ferroviarios de transporte interurbano”.

El objetivo principal del documento es “entregar una herramienta que permita a los organismos públicos la realización de los análisis técnicos y la evaluación social de proyectos ferroviarios interurbanos en sus etapas de perfil y de prefactibilidad, conducentes a planificar eficientemente las inversiones en proyectos ferroviarios interurbanos en el país”. Mientras que considera como objetivos específicos complementarios los siguientes:

- Identificación y clasificación de proyectos ferroviarios.
- Desarrollo de metodologías de estimación de la demanda de los distintos tipos de proyectos.
- Definición de requerimientos de información para el análisis técnico y evaluación de proyectos ferroviarios.
- Definición de metodologías de estimación de costos, beneficios y evaluación social para las distintas etapas (perfil y prefactibilidad) y tipos de proyectos.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, destacan las recomendaciones relativas al diseño de los cruces a nivel:

- En proyectos de nuevas líneas férreas, no se permitirán cruces a nivel.
- En proyectos de rehabilitación de líneas existentes, los cruces cuyo Momento de Circulación (MC) exceda 100.000 deberán ser desnivelados y aquellos con MC entre 10.000 y 100.000 deberán ser dotados con barreras automáticas.
- Deberá procurarse la supresión de los cruces con MC inferior a 10.000, redireccionándolos mediante vialidad complementaria.

Por otro lado, también tiene apartados referentes a:

- Información de accidentes.
- Costos de accidentes ferroviarios.

A.4.2 Antecedentes normativos internacionales

REFERENCIA 12: “15668 ORDEN DE 2 DE AGOSTO DE 2001 POR LA QUE SE DESARROLLA EL ARTÍCULO 235 DEL REGLAMENTO DE LA LEY DE ORDENACIÓN DE LOS TRANSPORTES TERRESTRES, EN MATERIA DE SUPRESIÓN Y PROTECCIÓN DE PASOS A NIVEL”. MINISTERIO DE FOMENTO, ESPAÑA (2001).

Este documento normativo español del año 2001, en materia de supresión y protección de pasos a nivel, tiene como finalidad “establecer un marco normativo más adecuado que permita proceder a la supresión del mayor número posible de pasos a nivel y mejorar los niveles de protección de los subsistemas a fin de reducir los riesgos de accidentes en los mismos”.

La Orden aborda dos capítulos principales relativos a “Supresión de pasos a nivel” y “Normas de seguridad aplicables a los pasos a nivel”. Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio se destaca:

- La conveniencia de desnivelar los cruces públicos a nivel existentes con $V > 160$ km/h y MC (Momento de circulación) > 1.500 , y solo aceptando mantener algún cruce a nivel en casos excepcionales y por tiempo provisional limitado por las disponibilidades presupuestarias, pero con la señalización correspondiente.
- Define las distancias de “Visibilidad Técnica” y “Visibilidad Real”, la primera, con fórmula dependiente de la velocidad, y la segunda, la menor de las 4 visibilidades reales en terreno de cada cruce.

- Se define para cada cruce, según el MC y la calidad de la visibilidad, tres tipos de señalización: la fija, con banderistas automáticos y con barreras.
- Además, en todo proyecto de duplicación de vía férrea, deberá preverse la supresión de los pasos a nivel existentes.
- Define en 1.000 m la distancia mínima entre cruces.

REFERENCIA 13: “NORMAS PARA LOS CRUCES ENTRE CAMINOS Y VÍAS FÉRREAS”, RESOLUCIÓN S.E.T.O.P. N°7/81 DEL MINISTERIO DE ECONOMÍA”. SECRETARIA DEL ESTADO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS, ARGENTINA (1981).

Este documento normativo de Argentina publicada en enero de 1981 por el Ministerio de Economía, Secretaria del Estado de Transporte y Obras Públicas, tiene como finalidad establecer las pautas metodológicas y técnicas para evaluación, proyección y/o construcción de soluciones en materia de seguridad en cruces de caminos con la vía férrea.

Entre sus principales aportes destacan los siguientes:

- Se establece circular a un máximo de 40 km/h en los pasos a nivel en zonas urbanas.
- Para establecer el Índice de Riesgo, se debe tomar en cuenta la cantidad de vehículos, el TMDA (transito medio diario anual), la cantidad de trenes, el ángulo de cruce, el factor de curva, entre otras variables expuestas.
- En un paso a nivel existente con menor a 120 vehículos/día, es conveniente clausurarlo, si existe otro contiguo que se encuentre a 600 m o menos de distancia.

- No se abrirán nuevos pasos a nivel cuando un tránsito vial sea menor de 120 vehículos/día.
- En los cruces a nivel donde la visibilidad es satisfactoria y con Índice de Riesgo menor a 12.000 será suficiente la señalización pasiva.

REFERENCIA 14: “BORRADOR DE PROYECTO DE REAL DECRETO SOBRE SEGURIDAD OPERACIONAL E INTEROPERABILIDAD FERROVIARIAS”. ESPAÑA (2019).

Este documento se encuentra previsto en el “Plan Anual Normativo 2019” y describe algunos artículos de distintas normas europeas ya decretadas en años anteriores. Este documento está relacionado directamente con la seguridad y la interoperabilidad ferroviaria tanto en España como en la Unión Europea.

Algunos de los puntos más relevantes que se desarrolla en este documento, son la regulación de los pasos a nivel y cruces a distinto nivel. Entre sus principales aportes destacan los siguientes:

- Los vehículos ferroviarios a una velocidad máxima de 40 km/h en la intersección.
- Los nuevos cruces o modificaciones de carreteras o caminos con líneas férreas se realizarán a distinto nivel.
- Los gastos de conservación del equipamiento de protección del paso a nivel correrán a cargo del administrador de la infraestructura, exceptuando las señalizaciones verticales y horizontales que sean a cargo del organismo titular.

- Circulaciones a una velocidad superior mayor a 160 km/h en los tramos con paso a nivel, conlleva a que el administrador de la infraestructura suprima este paso a nivel.
- También se debe suprimir cuando la intensidad media diaria de vehículos (A) por la circulación media diaria de trenes (T) presenta un valor igual o mayor que 1500.
- Se deben eliminar pasos a nivel cuando entre cruces exista una distancia igual o menor de 500 metros entre sí.

REFERENCIA 15: “LEY 38/2015, DE 29 DE SEPTIEMBRE, DEL SECTOR FERROVIARIO”. ESPAÑA, (2018).

Esta Ley de España, BOE (Boletín Oficial del Estado) núm. 234, tiene por objeto la regulación en el ámbito de la infraestructura ferroviaria, seguridad en la circulación ferroviaria y de la prestación de los servicios de transporte ferroviario. Esta Ley sigue vigente, sin embargo, tiene algunas modificaciones publicadas con fecha del 27 de diciembre del 2018.

Dentro de esta Ley se desarrolla un Artículo denominado “Pasos a Nivel” el cual es relevante para el presente estudio.

Entre sus principales aportes destacan los siguientes:

- Los nuevos cruces o modificaciones de carreteras existentes, deberán realizarse a distinto nivel.
- Tanto los administradores generales de las infraestructuras ferroviarias como la administración pública, podrán según lo permita la disponibilidad presupuestaria,

suprimir los pasos a nivel existentes y sustituirlos por un cruce a distinto nivel según lo determine la norma.

- La velocidad máxima en los pasos a nivel no debe ser mayor a 40 km/h.

REFERENCIA 16: “RAILROAD-HIGHWAY GRADE CROSSING HANDBOOK”. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA), ESTADOS UNIDOS (2007).

La norma de la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés), establece que cada estado desarrolle e implemente un “Programa de Mejora de la Seguridad” que conste de 3 componentes principales: planificación, implementación y evaluación; estos mismos criterios son aplicados para los cruces ferroviarios. El objetivo principal del “Programa de Mejora de la Seguridad Vial” es reducir tanto el número como la gravedad de los accidentes.

Para una óptima planificación, se deben recopilar y mantener un registro de los accidentes, tráfico, cruces de carreteras y ferroviarios, así como las características. Así mismo, se deben establecer las prioridades para implementar proyectos y/o estudios de ingeniería para mejorar en la seguridad vial.

Entre sus principales aportes destacan los siguientes:

- Los cruces que tienen el Índice de Peligro más alto, son seleccionados para ser investigados por un equipo de diagnóstico.
- Esta norma utiliza el método llamado “New Hampshire Hazard Index”, el que indica que cuanto más alto es el Índice de Peligro, más peligroso resulta el cruce.

- Establece fórmulas empíricas de los parámetros de cualquier cruce, para deducir su Peligrosidad.

REFERENCIA 17: “LEVEL CROSSINGS ACT 1983, 1983 CHAPTER 16”.
SECRETARY OF STATE FOR TRANSPORT,
LEGISLATION FOR THE UK, REINO UNIDO (1983).

Este documento, el cual describe la norma de cruces a nivel del Reino Unido, utiliza variables como el “Momento de Tráfico” así como otros aspectos para clasificar cada tipo de cruce, estos tipos de cruce se le pueden asignar una señalización y control específico.

Entre los principales aportes que podemos obtener destacan los siguientes:

- El Momento de Tráfico se calcula multiplicando el número de vehículos por el número de trenes que pasan en un periodo de tiempo.
- Cada cruce debe ser individualizado tanto por el tipo de equipamiento de protección en función de los parámetros establecidos.
- No contempla nuevos cruces a nivel si la velocidad de operación es igual o mayor a 160 km/h.

A.4.3 Informes de consultoría

REFERENCIA 18: “ESTUDIO DE DIAGNOSTICO DEL MODO DE TRANSPORTE FERROVIARIO. INFORME FINAL”. LIBRA INGENIEROS CONSULTORES, CHILE (2007).

Este estudio desarrollado para la Subsecretaría de Transportes del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones en 2007, tiene como objetivo general “la ejecución de un diagnóstico que indique la situación actual del modo de transporte ferroviario en el país, proyectando estos resultados en el mediano plazo”, conteniendo:

- Un diagnóstico de la operación actual del transporte ferroviario de pasajeros y carga, tanto en el ámbito privado como estatal.
- Un diagnóstico de la infraestructura ferroviaria, tanto en el ámbito privado como estatal.
- La importancia relativa del transporte ferroviario de pasajeros y carga en el país respecto de los demás modos de transporte.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, en su capítulo 5.3.9.3 desarrolla en detalle la seguridad de los cruces, destacándose el cálculo matemático del Momento de Circulación en España. Por su parte, para otros países, menciona criterios de diseño de la seguridad en cruces públicos a nivel.

REFERENCIA 19: “ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO. INFORME FINAL”. LIBRA INGENIEROS CONSULTORES, CHILE (2008).

Este estudio desarrollado para la Subsecretaría de Transportes del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones en 2008, tiene como objetivo general “proveer a las autoridades ministeriales de las herramientas institucionales y normativas necesarias, que permitan mejorar las condiciones de seguridad en el transporte ferroviario a nivel nacional, así como que permitan hacer seguimiento, control y fiscalización del cumplimiento y eficacia de estas herramientas”. Los objetivos específicos del estudio son:

- Analizar la experiencia internacional en materias de seguridad ferroviaria y su aplicabilidad al caso chileno.
- Realizar un diagnóstico de la seguridad del transporte ferroviario en todo el país, en sus tres ámbitos: vías, material rodante y conducción. El diagnóstico incluye el análisis de los seguros vigentes en el transporte de pasajeros y carga.
- Establecer lineamientos para la generación de un manual de medidas básicas de seguridad en el transporte ferroviario.
- Diseñar y proponer un modelo de institucionalidad que cubra todas las áreas de la seguridad del transporte ferroviario.
- Identificar las componentes que se deberían incluir en el posterior establecimiento de la estructura de costos de los accidentes ferroviarios.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, aborda todas las áreas del modo ferroviario desde el punto de la seguridad de los cruces a nivel, destacándose entre otros aspectos:

- Se incluye catastro de los cruces públicos a nivel de todas las compañías ferroviarias de Chile.
- Explica la normativa legal de los cruces en Chile y también la normativa redactada por EFE para su uso interno.

- Se incluyen capítulos del Manual de Carreteras de Chile, referidos a distancias de visibilidad y los tiempos y distancias involucradas (de anuncio del tren, de activación de barreras, de franqueo vehicular del cruce y otros).
- Se indica la densidad de cruces por km de vía férrea.
- Describe seis (6) cruces de alta peligrosidad.
- Para el caso de España, el cálculo matemático del Momento de Circulación.
- La recomendación de desnivelar cuando $V > 160$ km/h.
- La facultad de detenerse o no detenerse en los cruces (señal PARE).

Para las materias vinculadas con la seguridad de los cruces, se destacan principalmente los capítulos:

- 2.6 El problema de los cruces a nivel.
- 3.3 Experiencia internacional.
- 4.5 Clasificación de los accidentes e incidentes.

REFERENCIA 20: “ANÁLISIS NORMATIVO DE CRUCES EN LA RED FERROVIARIA NACIONAL. INFORME FINAL”. METALMECÁNICA CHENA, CHILE (2011).

Este estudio desarrollado para SECTRA, del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, en 2011, tiene como objetivo general el “mejoramiento de la normativa chilena de cruces ferroviarios a nivel”, y los siguientes objetivos específicos:

- Análisis jurídico de la normativa vigente.
- Revisión y mejoramiento de la normativa técnica.
- Revisión y mejoramiento de los procedimientos administrativos.

- Generación de propuesta de modificación de la normativa legal y reglamentaria.

En materia de aportes para el presente Estudio, destacan los siguientes capítulos:

- 1.1 Recopilación de los textos legales y reglamentarios.
- 1.3 Revisión y análisis técnico de la normativa de cruces en Chile.
- 1.4 Revisión de la experiencia extranjera en normativa de cruces.
- 1.6 Análisis de la Base de datos de cruces a nivel en Chile.
- 3.2 Elaboración de criterios técnicos para la clasificación de cruces.

REFERENCIA 21: “EVALUACIÓN DE LA DESNIVELACIÓN DE PASOS A NIVEL EN LA VÍA FÉRREA ENTRE ESTACIÓN ALAMEDA (SANTIAGO) Y SAN FERNANDO”. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, CHILE (2012).

Memoria desarrollada en la Universidad Técnica Federico Santa María en el año 2012, cuyo contenido tiene como objetivo general “generar la información necesaria para tomar una decisión respecto a la inversión en la desnivelación de pasos a nivel, que resulta ser sensible tanto para las operaciones ferroviarias como para la sociedad en su conjunto, ya sea por accidentes como por pérdidas de tiempo por espera”. Los objetivos específicos del informe son:

- Definir las características de las inversiones públicas en esta materia.
- Definir la herramienta de evaluación social de proyectos y su aplicación en inversiones públicas.

- Mostrar las implicancias que poseen este tipo de inversiones en la sociedad.
- Determinar la rentabilidad social de los proyectos de desnivelación.

REFERENCIA 22: “INFORME SOBRE LA SEGURIDAD EN PASOS A NIVEL FERROVIARIOS”. SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS, CHILE (2013).

Documento desarrollado para EFE/MTT en 2013, cuyos principales objetivos son:

- Analizar la situación actual sobre la seguridad en pasos a nivel ferroviarios de la red de EFE.
- Realizar un análisis exhaustivo de los riesgos presentes en los cruces a nivel actualmente existentes en la red ferroviaria de EFE, identificando los requisitos y las necesidades que deben conducir a la mitigación de estos riesgos hasta niveles mínimos.
- Realizar un análisis exhaustivo de las necesidades (tanto funcionales como técnicas) que se requieren para poder obtener una reducción efectiva de los niveles de riesgo expuestos.
- Presentar diferentes tecnologías y/o metodologías que constituyen el estado del arte en cuanto a protección y operación segura de los cruces a nivel, desde un punto de vista mundial.
- Trazar una hoja de ruta para la mejora de la seguridad de los pasos a nivel.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, destaca:

- El cálculo con fórmulas matemáticas del “Índice de Riesgo” de cada cruce, y como lo calcula cada estado federado de los estados Unidos de Norte América.

- El análisis inverso al común, donde, con la señalización ya adoptada de cada cruce, se define el Índice de Riesgo.
- La modificación de la señalización de cada cruce la define un índice estadístico: la accidentabilidad.

REFERENCIA 23: “BORRADOR ‘ASESORÍA PARA LA REDACCIÓN DEL NUEVO DECRETO 38 QUE REGULA LA PROTECCIÓN DE LOS CRUCES FERROVIARIOS A NIVEL’”. SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS, CHILE (2014).

Memoria de tipo borrador, desarrollado para EFE/MTT en 2014, que contiene un texto tentativo que remplace al Decreto N° 38, y que calcula la categorización del cruce en base a su Momento de Circulación y su visibilidad, definiendo la señalización requerida.

Entre sus principales aportes a la materia del presente Estudio, la Referencia explicita que:

- Para los cruces a nivel que presenten un Momento de Circulación superior a 50.000, se requerirá llevar a cabo la desnivelación de dicho cruce.
- Desnivelar para $V > 160$ km/h.
- Indica que el período de regularización de cada cruce será, en todo caso igual o inferior a 3 años.

A.4.4 Antecedentes de Empresas Ferroviarias

REFERENCIA 24: “MINUTA SOLICITUD DE ANTECEDENTES EMPRESAS FERROVIARIAS”. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, CHILE (2009).

Minuta del año 2009, dirigida a las empresas ferroviarias, para que informen lo referente a los cruces públicos a nivel de sus vías férreas en:

- Accidentes ferroviarios.
- Transporte de carga.
- Nómina de cruces ferroviarios.

REFERENCIA 25: “CRUCES FERROVIARIOS URBANOS E INTER-URBANOS”. FERROCARRIL DE ANTOFAGASTA A BOLIVIA (FCAB), CHILE (2009).

Este documento contiene la respuesta del FCAB al Oficio N° 5245 de fecha 18 de noviembre de 2008 de la Subsecretaría de Transportes”, el cual solicita información respectiva a la nómina a dicha fecha de cruces públicos y privados existentes en la red ferroviaria perteneciente a la empresa en cuestión.

De este modo, el documento muestra:

- Nómina de cruces ferroviarios urbanos de las comunas de Antofagasta, Calama y Ollagüe, indicando: ID, ubicación (ramal, km y calle), tipo de carpeta, estado de la carpeta, señalización vial y señalización existente (semaforización, estado de la barrera, señales PARE y Cruz de San Andrés).

- Nómima de cruces ferroviarios inter-urbanos de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda, Calama y Ollagüe, indicando: ID, ubicación (ramal, km y calle), tipo de carpeta, estado de la carpeta, señalización vial y señalización existente (semaforización, estado de la barrera, señales PARE y Cruz de San Andrés).

En particular, este documento contiene:

- Nómima actual de cruces ferroviarios inter-urbanos, 2009, de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Calama, indicando: ID, ubicación (ramal, km y calle), tipo de carpeta, estado de la carpeta, señalización vial y señalización existente (semaforización, estado de la barrera, señales PARE y Cruz de San Andrés).
- Carga Transportada 2009, indicando: productos, TN y TKN.
- Accidentes Ferroviarios 2009, de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Calama, indicando: Fecha, hora, nombre, km, ubicación, camino o calle, tipo de accidente, cantidad de lesionados y causas.
- Carga transporta 2008, indicando: productos, TN y TKN.
- Accidentes Ferroviarios 2008, de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Calama, indicando: Fecha, hora, nombre, km, ubicación, camino o calle, tipo de accidente, cantidad de lesionados y causas.

REFERENCIA 26: “CRUCES FERROVIARIOS URBANOS”. FERROCARRIL DE ANTOFAGASTA A BOLIVIA (FCAB), CHILE (2009).

Este documento contiene la respuesta al Oficio N° 5245 de fecha 18 de noviembre de 2008 de la Subsecretaría de Transportes”, el cual solicita la información respectiva a la nómina a dicha fecha de cruces públicos y privados existentes en la red ferroviaria perteneciente a la empresa en cuestión.

De este modo, el documento complementa a la Referencia 26, mostrando:

- Nómina actual de cruces ferroviarios urbanos 2009, de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Calama y Ollagüe, indicando: ID, ubicación (ramal, km y calle), tipo de carpeta, estado de la carpeta, señalización vial y señalización existente (semaforización, estado de la barrera, señales PARE y Cruz de San Andrés).

REFERENCIA 27: “NÓMINA ACTUAL DE CRUCES A NIVEL DE FERRONOR ENTRE LA CALERA E IQUIQUE”. FERRONOR, CHILE (2009).

Este documento contiene la respuesta de FERRONOR al Oficio N° 5245 de fecha 18 de noviembre de 2008 de la Subsecretaría de Transportes”, el cual solicita la información respectiva a la nómina a dicha fecha de cruces públicos y privados existentes en la red ferroviaria perteneciente a la empresa en cuestión. El documento organiza los cruces en tres apartados:

- Cruces públicos línea principal.
- Cruces públicos ramales.
- Cruces particulares línea principal y ramales.

Luego, para cada cruce indica: ubicación según trazado de FERRONOR, desde La Calera Km. 0,000, entre estaciones, características físicas, características operacionales, situación legal, señalización y observaciones.

REFERENCIA 28: “NÓMINA ACTUAL DE CRUCES A NIVELES PÚBLICOS Y PARTICULARES RED FERROVIARIA MINAS EL ROMERAL PUERTO GUAYACAN (39 KM/VÍA)”. COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO, CHILE (2009).

Este documento contiene la respuesta al Oficio N° 5245 de fecha 18 de noviembre de 2008 de la Subsecretaría de Transportes”, el cual solicita información respectiva a la nómina a dicha fecha de cruces públicos y privados existentes en la red ferroviaria perteneciente a la empresa en cuestión.

De este modo, el documento muestra:

- Nómina actual de cruces a niveles públicos y particulares de la red ferroviaria Minas El Romeral Puerto Guayacán (39 km/Vía), indicando: descripción del paso a nivel, referencia de ubicación, legalidad del paso a nivel, tipo de señalización, condiciones operativas, y características físicas.
- Lista pasos a nivel vías férreas CAP Minería, indicando: Nombre, N°, descripción, kilómetro y sector.
- Tonelaje y Tipo de material transportado por Ferrocarril Mina El Romeral, indicando: Año, tonelaje (TM) transportado, tonelaje/kilómetro, tipo de carga, origen y destino.

REFERENCIA 29: “UBICACIÓN CRUCES FF.CC. SQM. S.A”. SOQUIMICH, CHILE (2009).

Este documento contiene la respuesta de SOQUIMICH al Oficio N° 5245 de fecha 18 de noviembre de 2008 de la Subsecretaría de Transportes”, el cual solicita información

respectiva a la nómina a dicha fecha de cruces públicos y privados existentes en la red ferroviaria perteneciente a la empresa en cuestión. El documento presenta una memoria con un catastro de 15 cruces ferroviarios, indicando: Nombre, ubicación, tipo de cruce, tipo de carpeta, estado de la carpeta, banderística automática, tipo de banderística, señalización existente, barrera automática, barreras manuales, estado de la barrera, señal PARE, Cruz de San Andrés, Índice de Peligrosidad y monografía del cruce a nivel.

REFERENCIA 30: “LISTADO CRUCES PÚBLICOS REGULADOS Y DE USO PÚBLICO NO REGULADOS CON MEDICIÓN DE IP 2015”. GRUPO EFE, CHILE (2016).

Este documento corresponde a una nómina de cruces de la red de EFE, de los que fueron estudiados su Índice de Peligrosidad en 2015, y enviado al Ministerio de Transporte en enero de 2016.

Además de indicar el Índice de Peligrosidad obtenido de cada cruce público regulado y de uso público no regulado, se indica, según sector: N°, nombre cruce, coordenada este, coordenada norte, km, red, estado administrativo, tipo, cambios de Decreto en trámite, N° vehículos, N° trenes y propuesta de regulación.

La información contenida en este documento para la materia de este Estudio es valiosa, pues indica para cada cruce su Índice de Peligrosidad y su Momento de Circulación, lo que permite establecer valores estadísticos del coeficiente K , siendo $IP = MC * K$, es decir, el estado de la visibilidad real, de las velocidades máximas de los trenes y las singularidades negativas de cada cruce.



A.4.5 Base de Datos Revisión Bibliográfica

En este apartado se presenta una base de datos a partir de la información más relevante de las referencias analizadas, la que se encuentra optimizada para realizar búsquedas o clasificaciones de la información estudiada. La base de datos se incluye en el **Anexo 1 – Antecedentes**, bajo el nombre *1.2 BBDD Referencias.xlsx*.

A.4.6 Fichas resumen

En este apartado se presentan un formato de fichas resumen de los antecedentes estudiados en este capítulo, las que han sido generadas a partir de la base de datos del apartado A.4.5 Base de Datos Revisión Bibliográfica. El formato se incluye en el **Anexo 1 – Antecedentes**, bajo el nombre *1.3 Ficha Referencia.xlsx*.

A.5 Revisión de experiencia extranjera comparada

En este punto se analizará el estado del arte sobre la normativa internacional en el ámbito de la seguridad en los cruces ferroviarios. Por otro lado, se revisará a profundidad la normativa de 5 países extranjeros donde se pueda identificar y evidenciar criterios o soluciones implementadas en cada uno de estos casos, considerando variables operativas o de entorno.

Una vez realizado el análisis general y específico expuesto anteriormente, se desarrollará un resumen comparativo. En él se contrastarán las diferentes debilidades y fortalezas de las mejores prácticas usadas a nivel mundial, y así poder identificar las coincidencias y puntos más relevantes para ser tomados en cuenta y/o replicados en la normativa ferroviaria de Chile.

A.5.1 Análisis exploratorio general

A través del tiempo, los pasos a nivel en el mundo se han convertido en un problema de seguridad tanto para los usuarios peatonales como para los diferentes tipos de vehículos (carreteros y trenes). A pesar de la supresión de pasos a nivel, siguen existiendo gran cantidad de muertes y accidentes, por lo que se requiere una mayor implementación tanto de los diferentes elementos de seguridad como establecer normativas y/o reglamentos estrictos para que estos accidentes y/o muertes no sigan sucediendo. Teniendo presente que la distancia promedio entre cruces a nivel en los diferentes países, como por ejemplo de 1,3 km para Estados Unidos, 2,0 km para Reino Unido, 1,7 km para Francia y 3 km para España, así como las diferentes normativas aplicadas para disminuir los riesgos exponenciales para los distintos usuarios, aun así siguen sucediendo accidentes en los cruces a nivel. Por esta razón se busca explorar las diferentes prácticas implementadas en los cruces ferroviarios a nivel internacional.

En este análisis podremos identificar características de los indicadores geométricos y de tráfico, así como **criterios y estándares normativos en el ámbito de la seguridad**. Existen diferentes aspectos a la hora de poder definir una regla o norma institucional, sin embargo, algunos de los aspectos iniciales son considerados por el **Safety Regulations and Standards for European Railways** (2000). Estos aspectos iniciales son:

- Las consideraciones de seguridad son claves en el diseño de los sistemas ferroviarios.
- La estrecha relación entre los vehículos carreteros y la vía férrea hace que la mayoría de las decisiones importantes que envuelven la seguridad afecten a distintos actores del sistema: el administrador de la infraestructura, los operadores de trenes, los propietarios, conductores y otros.
- La existencia de normas diferentes de seguridad en los cruces dificultan la integración ferroviaria y la eficiencia del sistema.
- Recomienda que la información sobre seguridad y la ocurrencia de accidentes/incidentes debe ser pública y estar libremente disponible para su consulta.
- Recomienda la utilización de herramientas de evaluación beneficio-costos para la toma de decisiones sobre reglas y estándares, permitiendo transparentar y hacer explícitas las decisiones.
- Recomienda (y es una práctica comúnmente adoptada en el mundo desarrollado) la realización de investigación de accidentes, que sea ejecutada por un ente central, independiente de las empresas ferroviarias y con el objeto principal de determinar las causas y circunstancias que ayuden a superar problemas y evitar accidentes.

Las soluciones implementadas tanto en Europa, Estados Unidos y América Latina presentan importantes diferencias. A continuación se describe un pequeño resumen de cada caso.

- a) En **Europa**, en los últimos años, el sistema ferroviario a partir de empresas públicas monolíticas ha tendido a separar la infraestructura con la operación de los servicios

de pasajeros y carga, permitiendo en varios casos la participación de operadores privados.

- b) En **EEUU** predomina la propiedad privada integrada verticalmente de los ferrocarriles, particularmente de carga, y los servicios de pasajeros más importantes (como por ejemplo Amtrak) utilizan vías privadas por las cuales se paga un peaje.
- c) En **América Latina** han predominado formas de concesión del uso de las vías, con o sin exclusividad y con o sin integración vertical. En muchos casos los servicios de pasajeros se han eliminado, en otros casos, han sido concesionados.

Históricamente en estos países la responsabilidad de las condiciones de seguridad recaía en muchas ocasiones en las mismas empresas; estas manejaban una decisión interna así como normas de seguridad de infraestructura, equipos y operación, investigación de accidentes, licencias a conductores, entre otros. Estas acciones de gestión implementadas por las diferentes empresas, sumado a la infraestructura desarrollada en áreas urbanas particularmente en cruces a nivel, ha llevado a **crear una institucionalidad de seguridad centralizada, en que la regulación de la seguridad ferroviaria es asumida como un rol activo del Estado**, por encima de las empresas individuales.

Antes de entrar en detalle y desarrollo de cada uno de los puntos del presente estudio, se describirá brevemente algunos términos generales utilizados comúnmente tanto en la norma chilena como en las diferentes normativas extranjeras. Así mismo, más adelante se detallará y profundizará en cada uno de los ítems del informe, ya que forma parte de la normativa común de varios países.

- **Cruce ferroviario público a nivel:** área común de una vía férrea en explotación con una calle o camino público.

- **Índice de Peligrosidad, IP, (o también denominada Índice de Riesgo):** índice de peligrosidad de cada cruce, parámetro que indica cuan peligroso es un cruce.
- **Momento de Circulación, MC, (o también denominada Momento de Tráfico):** parámetro indicativo del grado de utilización de una vía tanto por vehículos particulares como trenes.
- **Visibilidad:** Se define el “rombo de visibilidad” de un paso a nivel como el área comprendida a una distancia del riel más próximo medida por el eje del camino.
- **Visibilidad Técnica:** La distancia en metros que recorre un tren a la velocidad máxima permitida, durante el tiempo que tarda en cruzar el vehículo o peatón de un lado a otro del paso a nivel.
- **Visibilidad Real:** Es la distancia que existe entre el punto de intersección de los ejes del ferrocarril y la carretera, y el punto donde se encuentra el móvil ferroviario que se dirige hacia dicho paso.

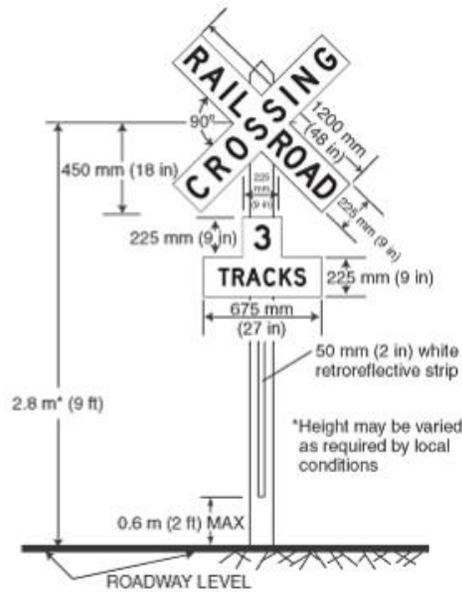
Una vez obtenido los antecedentes y definiciones de algunos términos generales, se realizará un breve repaso a nivel general de los diferentes **indicadores técnicos que se deben contemplar en los cruces ferroviarios.**

Para poder identificar el nivel de protección que se requiere en los distintos cruces ferroviarios a nivel, se deben contemplar diferentes factores tales como: antecedentes de los accidentes ocurridos en cada cruce, nivel de tráfico, velocidad de trenes, número de líneas, geometría de las vías férreas y caminos, distancias de visibilidad, entre otras. Los niveles de protección están categorizados en dos puntos principales: **protección pasiva y protección activa.**

a) Protección Pasiva

Las protecciones pasivas son un método de señalización estándar; son fijas y no emiten ningún tipo de iluminación o movimiento para advertir la presencia cercana de los trenes. Así mismo estas señales son utilizadas cuando existe un bajo tráfico de trenes, como el tránsito ferroviario a baja velocidad.

Ilustración 2. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar



Fuente: Railroad-Highway Grade Crossing, Hand Book, Estados Unidos 2007.

b) Protección Activa

A diferencia de la protección pasiva, la protección activa es operada ya sea por un personal autorizado, remotamente o con un sistema automatizado. Este sistema utiliza generalmente sensores de advertencia para detectar el acercamiento de los trenes, y son usados habitualmente con un flujo de tráfico medio-alto o a una alta velocidad.

El sistema de protección activa utiliza diferentes tipos de circuitos en las vías; estos circuitos pueden ser clasificados como:

- *De tiempos no continuos de advertencia.*
- *De advertencia de tiempo continuo.*

El circuito de advertencia de tiempo continuo lleva la delantera al proveer en todo momento aviso a los conductores, independiente de la cercanía o velocidad del tren.

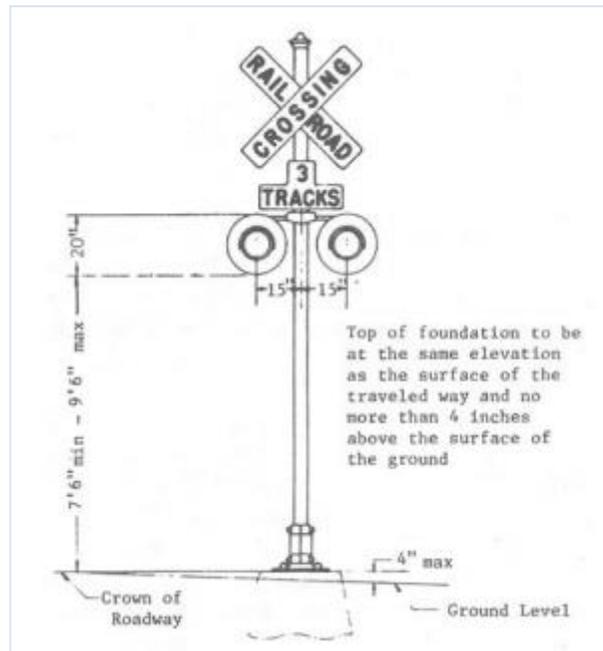
Los equipamientos de advertencia para los cruces están caracterizados por 4 niveles, tales como:

- Banderista automático en poste montado con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma.
- 2 barreras automáticas en postes montados con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma (solo barreras de entrada).
- 4 semi-barreras automáticas en postes montados con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma (barreras de entrada y salida).
- Barreras automáticas de detección de vehículos viales sobre el cruce.

Estos niveles están relacionados directamente por el **Índice de Peligrosidad** de cada cruce. Cada nivel puede tener varios sistemas de equipamiento o de señales óptimos que pueden ser especificados. A continuación se describe cada elemento brevemente con imágenes:

- i. Banderista Automático, poste montado con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma.

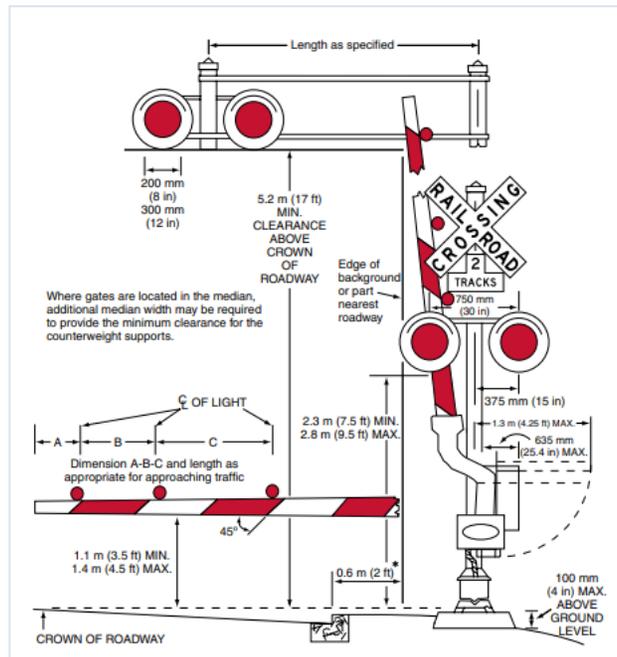
Ilustración 3. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con luces y sonido adicionales intermitentes (Protección Activa)



Fuente: Railroad-Highway Grade Crossing, Hand Book, Estados Unidos 2007.

- ii. Barreras automáticas en postes montados con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma.

Ilustración 4. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con luces y sonido adicionales intermitentes y 2 Barreras Automáticas simple de entrada (Protección Activa)



Fuente: Railroad-Highway Grade Crossing, Hand Book, Estados Unidos (2007).

- iii. 4 Semi Barreras automáticas en postes montados con dos señales de luces rojas intermitentes más campanilla de alarma.

Ilustración 5. Postes de Señalización Ferroviaria Estándar con Luces y sonido adicionales Intermitentes y 4 Semi-Barreras Automáticas (barreras de entrada y salida; Protección Activa)



Fuente: <https://hiveminer.com/Tags/newkirk>

iv. Barreras Automáticas de detección de Vehículos.

Ilustración 6. Postes de señalización ferroviaria estándar con luces y sonido adicionales intermitentes y barreras de celdas de detección de vehículo



Fuente: “Análisis Normativo de Cruces en la Red Ferroviaria Nacional”, Informe Final 2011, Estados Unidos.

A.5.2 Análisis de cinco casos de experiencia extranjera

Teniendo en cuenta los antecedentes recopilados y descritos en la actividad anterior, se analizará a profundidad la normativa de 5 países extranjeros donde se pueda identificar y evidenciar criterios o soluciones implementadas, considerando variables operativas o de entorno. Así mismo, se incluirá el equipamiento tecnológico utilizado para la seguridad de los cruces.

Dentro de los 5 países seleccionados, se eligieron 2 países americanos y 3 europeos. Estos países han sido escogidos por 2 razones esenciales, por tener un nivel similar o mayor de desarrollo dentro del modo ferroviario y por tener parámetros establecidos en sus normas a los que se desea alcanzar en el presente estudio. Así mismo, de algunos de estos países seleccionados, Chile ha tomado en cuenta sus parámetros y estándares para establecerlo y/o adaptarlo dentro de su normativa.

Los 5 países seleccionados son:

- ✓ Estados Unidos
- ✓ Argentina
- ✓ España
- ✓ Reino Unido
- ✓ Francia

A continuación se desarrollará un análisis a profundidad sobre la información más relevante tanto en el área regulatoria como de la operación en los pasos a nivel de cada país. Así mismo, como punto de partida se verán algunos datos generales referente al número de pasos a nivel, cantidad de accidentabilidad y fallecidos.

A.5.2.1 Estados Unidos

En los Estados Unidos, existen unos 205.000 pasos a nivel (dato actualizado al 2017), casi la mitad de los pasos a nivel que existen en el mundo (500.000).

Respecto a antecedentes de accidentabilidad, se conoce que en el 2018 hubo 2.214 accidentes en pasos a nivel con vehículos motorizados, siendo los camiones pesados los principales involucrados con un 23% del total de accidentes.

Del total de los incidentes ocurridos, el 7,7% de los involucrados resultaron fallecidos y el 19,8% fueron usuarios heridos. El número de accidentes en pasos a nivel se ha incrementado, pasando en el 2016 de 2.049 accidentes a 2.214 en el 2018¹. Otro dato a considerar es que, se calcula que a 89 km/h la distancia de frenado de un tren puede ser 15 veces mayor que la de un camión pesado.

Así mismo, el nivel de equipamiento de los cruces en EEUU, según dato del año 2004, es el siguiente:

¹ <http://www.ilcad.org/USA-549.html>

Tabla 2. Automatización de Cruces en EEUU

Equipamiento	Porcentaje
Sin Señales	3%
Señalética Fija	52%
Banderista Automático	20%
Barreras Automáticas	25%

Fuente: Informe sobre la seguridad en pasos a nivel ferroviarios, SENER (2013).

Nótese que, según las cifras del año 2004, en EEUU había 4.434 cruces a nivel sin protección, los que respecto al total de 205.000, es un 2,16%, lo que da indicios de una mentalidad norteamericana responsable. De igual forma, por norma se establece que todos los cruces deben llevar al menos señalización pasiva o fija, pues no constituye un gasto significativo.

A.5.2.1.1 Normas y Criterios Estados Unidos

En EEUU cada uno de los 50 estados federados tiene sus propias leyes, lo mismo ocurre con la normativa para la seguridad de los cruces públicos a nivel entre tren y vehículo vial. Esta normativa resulta ser muy diversa, particularmente porque la mayoría de las redes ferroviarias son de propiedad de compañías ferroviarias privadas, y solo una parte mínima es del estado y está administrada por la compañía estatal Amtrak, quien se dedica exclusivamente al transporte de pasajeros, pagando peaje cuando circula por vías férreas privadas.

El modo ferroviario en EEUU es muy importante en el área de carga, generándose trenes inter-oceánicos, la mayoría de más de 180 carros con 30 Ton/eje, son muy eficientes y sin la necesidad de desarrollar grandes velocidades. Circulan en promedio a 90 km/h como

máximo. Por otro lado el área de pasajeros es aceptable, y compite sin inconvenientes con los aviones y los buses, pero no es prioridad desarrollar trenes de pasajeros de alta velocidad, como ocurre en Europa. Por esta razón, la señalética activa con banderistas automáticos y con barreras automáticas en los cruces parece ser suficiente, sin tener que desnivelar los cruces.

El Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT por sus siglas en inglés: Department of Transportation), regula el transporte ferroviario en el país mediante la Administración Federal de Ferrocarriles (FRA por sus siglas en inglés: Federal Railroad Administration), esta a su vez tiene un departamento de Seguridad de Cruces Ferrocarril-Carretera.

La FRA recolecta todos los datos sobre accidentes e incidentes en los cruces, convirtiendo esta información en tablas estadísticas, cuadros, reportes y análisis, todos de acceso público.

Todo lo relacionado con los estándares o normativa en EEUU depende del Departamento de Estado. Adicionalmente el plan “FAGP” (Federal-Aid Policy Guide por sus siglas en inglés), establece que cada estado debe mantener como prioridad un plan para mejorar la seguridad de los cruces ferroviarios.

El documento oficial del Departamento de Estado llamado “Railroad-Highway Grade Crossing Handbook” utiliza varios métodos para la instalación, mejora u operación de los cruces ferroviarios. Sin embargo uno de los cálculos implementados tiene que ver con el denominado **Índice de Peligrosidad**. Cada estado calcula el Índice de Peligrosidad de distintas formas pero siempre teniendo presente que **cuanto más alto es el índice, más riesgoso será el cruce**, pero no imponiendo límites del Índice de Peligrosidad. Los cruces

con el Índice de Peligro más alto, son seleccionados para llevar a cabo una investigación de campo por parte de un equipo de diagnóstico.

A continuación se muestra la fórmula básica para calcular el índice de peligrosidad en EEUU:

$$e = K \times EI \times MT \times DT \times HP \times MS \times HT \times HL \quad (\text{Ecuación A.5-1})$$

Donde:

- ✓ *K*: Constante de la fórmula
- ✓ *EI*: Factor de Índice de exposición
- ✓ *MT*: Factor de vía principal
- ✓ *DT*: Factor de trenes que cruzan diariamente
- ✓ *HP*: Factor de carretera pavimentada
- ✓ *MS*: Factor de máxima velocidad
- ✓ *HT*: Factor de tipo de carretera
- ✓ *HL*: Factor de carriles de la carretera

La siguiente tabla muestra las variables con sus fórmulas empíricas para cuantificar la peligrosidad de los cruces. En el ítem *A.6.2.1 Estados Unidos* del presente informe, se muestra un ejemplo de cómo serían aplicadas estas variables a 3 ejemplos de cruces ferroviarios ficticios. Sin embargo, el cálculo de estos factores se debe obtener a través de diferentes variables de señalización tales como la **categoría del cruce, si es sistema pasivo, con señal luminosa o con barreras.**

Tabla 3. Factores Características del cruce

Factores Característicos del Cruce								
Categoría del cruce	Constante de la fórmula	Factor de Índice de Exposición	Factor de Vía Principal	Factor de trenes que cruzan diariamente	Factor de carretera pavimentada	Factor de Máxima velocidad	Factor de tipo de carretera	Factor de carriles de la carretera
	K	EI	MT	DT	HP	MS	HT	HL
Pasivo	0.002268	$\frac{c \cdot t + 0.2^{0.3334}}{0.2}$	$e^{0.2094mt}$	$\frac{d + 0.2^{0.1336}}{0.2}$	$e^{-0.6160(hp-1)}$	$e^{0.0077ms}$	$e^{-0.10000(ht-1)}$	1.0
Señal luminosa de destellos	0.003646	$\frac{c \cdot t + 0.2^{0.2953}}{0.2}$	$e^{0.1088mt}$	$\frac{d + 0.2^{0.0470}}{0.2}$	1.0	1.0	1.0	$e^{0.1280(hl-1)}$
Barreras	0.001088	$\frac{c \cdot t + 0.2^{0.3116}}{0.2}$	$e^{0.2912mt}$	1.0	1.0	1.0	1.0	$e^{0.1026(hl-1)}$

Fuente: Informe sobre la seguridad en pasos a nivel ferroviarios, SENER (2013).

Donde:

- ✓ c = media anual de vehículos diarios (total en ambas direcciones)
- ✓ d = media de trenes que cruzan de día por cada día.
- ✓ t = media del total de movimiento de trenes diarios.

Otro punto relevante en los cruces ferroviarios de EEUU tiene que ver con la eliminación o supresión de estos. Actualmente las empresas ferroviarias mantienen y mejoran los cruces a nivel, así mismo financian la eliminación de los pasos peligrosos o innecesarios. La intención del estado y entidades federales, es que las compañías y asociaciones promocionen y realicen campañas para la eliminación de cruces a nivel. A diferencia de otros países, en EEUU aún se contempla la apertura de nuevos pasos a nivel, sin embargo, esto depende de las necesidades justificadas.

Las entidades de transportes en cada estado de EEUU están obligadas a cumplir lo dictado en el decreto aprobado de la Sección 202 del “Rail Safety Improvement Act of 2008 (RSIA08)”, Ley Pública 110-432 (H.R.2095 / S.1889), el cual hace mención a desarrollar nuevos planes para los cruces más peligrosos. Dentro de ella se contempla la implementación de soluciones específicas a la seguridad de los cruces a nivel o en su defecto el cambio de nivel o eliminación.

El plan identificará soluciones específicas para mejorar la seguridad en los cruces, incluidos los cierres de pasos a nivel ferroviario o desnivelación ya sea un nivel superior o inferior.

[Ilustración 7. Extracto normativa estadounidense respectiva a supresión de cruces a nivel.](#)

PUBLIC LAW 110-432—OCT. 16, 2008	122 STAT. 4869
<p>have had the most highway-rail grade crossing collisions, on average, over the past 3 years and require those States to develop a State grade crossing action plan within a reasonable period of time, as determined by the Secretary. The plan shall identify specific solutions for improving safety at crossings, including highway-rail grade crossing closures or grade separations, and shall focus on crossings that have experienced multiple accidents or are at high risk for such accidents. The Secretary shall provide assistance to the States in developing and carrying out, as appropriate, the plan. The plan may be coordinated with other State or Federal planning requirements and shall cover a period of time determined to be appropriate by the Secretary. The Secretary may condition the awarding of any grants under section 20158, 20167, or 22501 of title 49, United States Code, to a State identified under this section on the development of such State's plan.</p>	

Fuente: Rail Safety Improvement Act of 2008

Dentro del mismo documento, en la sección 210. “Fomentando la Introducción de nuevas tecnologías para la mejora en los cruces ferroviarios”, hace una aclaratoria donde indica que la “eliminación de cruces a nivel mediante la consolidación de cruces cercanos y la

desnivelación superior o inferior, es una solución a largo plazo para optimizar la seguridad y eficiencia de los cruces a nivel”.

Ilustración 8. Extracto normativa estadounidense respectiva a supresión y desnivelación

“(2) While elimination of at-grade crossings through consolidation of crossings and grade separations offers the greatest long-term promise for optimizing the safety and efficiency of the two modes of transportation, over 140,000 public grade crossings remain on the general rail system—approximately one for each route mile on the general rail system.

Fuente: Rail Safety Improvement Act of 2008

Por otro lado, en el documento Railroad-Highway Grade Crossing Handbook hace mención que para eliminar un cruce a nivel se deben considerar estas tres opciones primordialmente:

- 1- Desnivelar el cruce existente.
- 2- Cerrar el cruce al tráfico vehicular y eliminar la superficie de la carretera.
- 3- Cerrar el cruce al tráfico ferroviario y/o reubicar el flujo ferroviario.

Así mismo, al existir más de 4 cruces dentro de un rango de 1.6 km, con al menos 2.000 vehículos por día y más de dos trenes por día, son los principales cruces para ser eliminados.

A pesar de considerar la seguridad, operaciones y costos para la eliminación o mejora en los cruces a nivel, se especifica que “todos los cruces a nivel se eliminarán cuando exista un control total del acceso, independientemente del volumen de tráfico ferroviario o vehicular”.

Como parte del proceso en la eliminación de un cruce, la legislación autoriza a la agencia estatal encargada del cruce ferroviario a facilitar la implementación del cierre. Así mismo se

debe evaluar si los cruces más cercanos al de cierre contengan un nivel de seguridad de tráfico óptimo (sistema de seguridad activo) para poder contemplar desviar el tráfico vehicular.

Una vez el cruce se encuentre permanentemente cerrado; los accesos al cruce, superficie rodante, dispositivos de seguridad pasiva o activa, entre otros elementos de la infraestructura vial y férrea, deben eliminarse sin dejar algún rastro de acceso al cruce extinguido. Esta implementación reducirá a futuro los costes de mantenimiento. En general, la empresa ferroviaria encargada, será la responsable de eliminar los ítems anteriormente mencionados.

Dentro del equipamiento de seguridad de los cruces a nivel podremos encontrar los siguientes elementos:

- a. **Sistemas activos:** Barreras, señales luminosas con destellos, señales de carretera, luces parpadeantes o campanas, entre otros.
- b. **Sistemas Pasivos:** Señal de Cruce Ferroviario, señal de Pare, entre otros.

Un proyecto de cruce a nivel primordialmente debe obtener el acuerdo de Construcción y Administración (C&A por sus siglas en inglés), este acuerdo debe ser pactado por dos partes como mínimo (una empresa ferroviaria y una entidad pública del estado). Existen diferentes entidades gubernamentales que administran y controlan los diferentes tipos de cruces, esto depende del tipo de cruce ya sea público o privado.

Entre las entidades gubernamentales se encuentran los siguientes:

- A nivel **Federal**
 - o Federal Highway Administration (FHWA).
 - o Federal Railroad Administration (FRA).
 - o National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

- Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA).
 - Federal Transit Administration (FTA).
 - Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA).
 - National Transportation Safety Board (NTSB).
 - Surface Transportation Board (STB).
- **A nivel Estatal**
- Departamento estatal de carretera.
 - Departamento estatal de transporte.
 - Agencias reguladoras estatales (llamadas comúnmente comisiones de servicio público o de utilidad pública).
 - Agencias estatales de seguridad en carretera.
 - Departamentos estatales de seguridad pública (policía estatal o patrulla de carretera).
- **A nivel Local**
- Organizaciones de mantenimiento en terreno del departamento estatal de carretera.
 - Departamentos de caminos de condados y pueblos.
 - Departamentos de calles urbanas o agencias de obras públicas.
 - Agencias de fiscalización de condados o locales.

A.5.2.2 Argentina

En Argentina existían para el 2014 (último dato oficial) unos 14.000 cruces a nivel. Respecto a información de accidentabilidad, se conoce que para el año 2011 (último dato oficial) ocurrieron 447 accidentes donde solo 173 ocurrieron en el área metropolitana de Buenos Aires; del total de accidentes hubo 158 fallecidos donde 119 ocurrieron en el área metropolitana de Buenos Aires.

El número de accidentes en pasos a nivel tuvo una reducción, pasando en el 2010 de 613 accidentes a 447 en el 2011, sin embargo el incremento es considerable en la cantidad de muertos donde en el 2010 hubo 132 muertos y en el 2011 con 158².

A.5.2.2.1 Normas y Criterios Argentina

La normativa ferroviaria de Argentina regula la seguridad de los cruces públicos a nivel entre vías férreas y caminos existentes en todo el territorio. Así mismo dentro de la normativa podremos observar cómo se determinan los métodos empleados para la evaluación de los proyectos como de las soluciones técnicas.

En el orden técnico esta normativa determina la condición mínima, necesaria y suficiente para la seguridad exigible en los cruces, siendo el medio apropiado para dictaminar en litigios judiciales. Ello no quita que se puedan aplicar soluciones más seguras que las fijadas como mínimas en la presente normativa analizada.

² <http://www.ilcad.org/Argentina.487.html>

Las disposiciones de esta normativa son aplicadas a los cruces existentes como también a los futuros, dando un plazo prudente para regularizar los cruces existentes que no la cumplen, dicho plazo no debe superar los 3 años.

La normativa exige que se deben reglamentar los controles indispensables para conocer permanentemente la situación existente de los cruces y proveer así los ajustes que sean necesarios, para este objeto de deben crear **fichas apropiadas de registro y control de cruces**.

Dentro de la norma “Normas para los cruces entre caminos y vías férreas, Ministerio de Economía, Secretaria de Estado de Transporte y Obras Públicas, 1981” podemos observar los requerimientos principales de los cruces:

- En primer lugar, se debe definir si el cruce es urbano o rural.
- Metodología de control a desarrollar:
 - Determinar los requisitos técnicos del ferrocarril y de la carretera:
 - OOCC, Señalización, Drenaje y Obras Complementarias.
 - Entre 2 cruces sucesivos no se deben superponer los rombos de visibilidad.
 - Analizar las circulaciones ferroviarias y viales:
 - Determinar el Momento de Circulación (Nº de vehículos ferroviarios y viales).
 - Determinar la velocidad máxima permitida de trenes por el cruce.
 - Determinar la distancia mínima del cruce a la estación más cercana.
 - Determinar la zona de influencia de la carretera, urbana o rural.
 - La distancia mínima entre cruces adyacentes debe ser > 1.000 m.
 - Determinar los sentidos de circulación vial y ferroviaria.

- Estudios técnicos:
 - Estudio plani-altimétrico.
 - Determinación del Índice de Riesgo, *R*.
- Documentación:
 - Memoria definitiva descriptiva del cruce.
 - Se debe explicitar los sistemas de señalización activa que le corresponden al cruce.

Así mismo, algunos de los criterios de la norma de Argentina más relevantes para el presente estudio son mencionados a continuación (serán analizados en el capítulo *A.6.2 Análisis Normativo Internacional*):

- En los pasos a nivel los ferrocarriles deben circular a una velocidad de 10 *km/h* y para las zonas urbanas la circulación no puede superar los 40 *km/h*.
- Los maquinistas deben portar licencia que los hace conocedores: del equipo que manejan, del perfil de la vía por donde circulan, y de los reglamentos de tráfico y movilización de trenes.
- El ferrocarril tiene siempre la prioridad de paso en los cruces, sobre la vialidad caminera. Esto por su mayor peso y menor poder de frenado.
- La circulación de los vehículos carreteros debe obligadamente hacerse en forma ceñida a la derecha del camino, en especial al cruzar las vías férreas.
- El ferrocarril está obligado por ley a otorgar servidumbre a las carreteras, mediante pasos públicos, pudiendo exigir que sean pasos desnivelados si sus características de seguridad así lo recomiendan.
- Constituye delito cruzar la vía férrea con vehículos viales, en puntos no habilitados para ello, del mismo modo, el generar cruces ilegales.

Para determinar el Índice de Riesgo se debe realizar un Relevamiento Plani-altimétrico de Detalle, así como obtener la cantidad de trenes, T , y la cantidad de vehículos particulares, V . Para calcular la cantidad de vehículos se debe tomar al TMDA (transito medio diario anual) en valor estadístico como proyectado. Por otro lado, para calcular la cantidad de trenes se debe contemplar la máxima cantidad de trenes que circule por el cruce. A continuación se presenta la fórmula para determinar el Índice de Riesgo:

$$R = V \times T \times \frac{1}{\text{sen}\varnothing} \times A \times B \times C \quad (\text{Ecuación A.5-2})$$

Donde:

- ✓ R : Índice de riesgo
- ✓ V : Cantidad diaria de vehículos carreteros. Corresponde al tránsito medio diario anual (TMDA), en valor estadístico o proyectado, si se trata de un cruce existente o futuro respectivamente.
- ✓ T : Cantidad diaria de trenes unitarios, es decir, independiente de su tipo (de pasajeros, de carga, de mantenimiento, etc.)
- ✓ \varnothing : Ángulo de cruce (con valor mínimo de 60°).
- ✓ A : Factor por curva en el camino. Se mide el ángulo α determinado por el cruce del eje de la vía férrea con la prolongación del eje del tramo recto del camino anterior al cruce.

$$A = 1 + \cos \alpha$$

- ✓ B : Factor por curva en vía. Se mide el ángulo β determinado por el cruce del eje del camino con la prolongación del eje del tramo recto de la vía férrea anterior al cruce.

$$A = 1 + \cos \beta$$

- ✓ C : Factor condicional.

$$C = f_1 + f_2 + f_3$$

- $f_1 = 0,1$ cuando hay más de 2 vías férreas.
- $f_2 = 0,2$ cuando en el rombo de visibilidad, la rampa del camino es mayor a 10%.
- $f_3 = 0,2$ cuando el cruce presenta un historial de accidentes elevado.

Por otro lado, la **visibilidad** debe ser calculada tanto para cruces urbanos como rurales. Para los cruces urbanos se debe verificar la ausencia de obstáculos fijos y temporarios en el rombo o semirombo de visibilidad según el sentido de circulación y determinado por las siguientes características:

- a) En la calle, a 16 m de la línea de detención ante las vías férreas.
- b) Sobre las vías férreas, donde la visual del observador ubicado según a) intersecte a las mismas, en las distancias que se indican en la tabla 4, para trenes que circulan hasta 40, 50 o 60 km/h, según corresponda.

En la siguiente tabla podemos observar los valores que correspondan en cada situación:

Tabla 4. Valores para cálculo de la visibilidad en cruces urbanos

DISTANCIA ENTRE EL EJE Y VERTICE ROMBO DE VISIBILIDAD SOBRE VIA EN FUNCION DE:									
SEPARACION ENTRE RIELES MAS ALEJADOS EN EL CRUCE dc (m)	VELOCIDAD MAXIMA DEL FERROCARRIL EN LA ZONA DEL CRUCE (Km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$5 \geq dc$	134	167	200	234	267	300	334	367	400
$5 < dc \leq 10$	156	195	234	273	311	350	389	428	467
$10 < dc \leq 15$	178	223	267	311	356	400	445	489	534

Fuente: “Normas para los cruces entre caminos y vías férreas, Ministerio de Economía, Secretaria de Estado de Transporte y Obras Públicas, Argentina 1981.

Por otro lado, la visibilidad en cruces rurales se debe calcular implementando las siguientes variables:

- a) La visibilidad es siempre insuficiente cuando el camino cruce con más de dos pistas a las vías férreas, entendiéndose que un camino de dos pistas tiene siempre ambos sentidos de circulación habilitados.
- b) Para determinar la visibilidad en caminos de dos pistas (una pista como máximo para cada sentido de circulación), se constatará la ausencia de obstáculos fijos y temporarios en el rombo que afectan la visibilidad, el rombo se determina con las siguientes vértices:
 - i. Sobre el camino y a cada lado del cruce, colocándose el observador a la distancia de la línea de detención, de:
 - o 60 m en caminos de tierra.

- 120 m en caminos pavimentados.
- ii. Sobre la vía férrea, donde la visual del observador según a) intersecte a la misma, según las distancias que se indican en la tabla 4 anterior.
- c) Determinados los vértices del rombo de visibilidad, se verificará la misma considerando la altura normal de visión del conductor de un vehículo bajo y la necesidad de ver los vehículos ferroviarios más pequeños. Para ello se considera suficiente 1,20 m sobre el camino y 1,00 m sobre la cabeza de los rieles.

Cuando en un cruce a nivel urbano existente se requiera la instalación de elementos como señalización o simplemente por razones de operatividad, la norma de Argentina pone a disposición la obligación de realizar el cruce a distinto nivel. Así mismo **un paso a nivel existente se elimina si tiene un tránsito igual o inferior a 120 vehículos/día, por otro lado, el flujo de este cruce es desviado hacia otro cruce existente ubicado a una distancia mínima de 600 m.** Tampoco se contempla la apertura de nuevos cruces a nivel mientras no se supere la cantidad de 400 vehículos/día.

Para cruces a nivel existentes en áreas rurales, donde la visibilidad sea satisfactoria y el índice de riesgo sea menor a 12.000, es suficiente la señalización pasiva. En caso que no se cumpla con alguno de dichos requisitos, deberá proveerse señalización activa o transformarse el paso a distinto nivel.

Dentro del Decreto N°747 del 21 de junio de 1988, establece en el Artículo 3 que los costos de las obras de nuevos cruces y pasos peatonales estará a cargo de la entidad encargada de las vías, siempre y cuando el camino o calle pública deba cruzar vías preexistentes de los ferrocarriles, así como las señalizaciones activas, mantenimientos, entre otros.

Por otro lado, en el Artículo 2 y 5 establece que son las empresas férreas las encargadas en realizar y cubrir los gastos referentes a los cruces ferroviarios a distinto nivel.

Por su parte, la **señalización pasiva** exigible en los pasos a nivel establecidos son los siguientes:

- a. SEÑALIZACIÓN PASIVA EXIGIBLE EN PASOS A NIVEL URBANOS
 - Señalización Horizontal:
 - Separador de tránsito (tachones)
 - Línea de detención
 - Cruz de San Andrés horizontal
 - Señalización Vertical:
 - Cruz de San Andrés vertical
 - Aviso de cruce ferroviario con panel de información y prevención (señales pasivas o activas)
 - Limitación de velocidad
 - Prohibición de estacionar

- b. SEÑALIZACIÓN PASIVA EXIGIBLE EN PASOS A NIVEL RURALES
 - Señalización Horizontal (sólo exigible en caminos pavimentados):
 - Separador de tránsito (tachones)
 - Línea de detención
 - Cruz de San Andrés horizontal
 - Señalización Vertical:
 - Cruz de San Andrés vertical
 - Aviso de cruce ferroviario con panel de información y prevención (señales pasivas o activas)
 - Limitación de velocidad
 - Prohibición de estacionar

A.5.2.3 España

En lo que respecta a Europa, la Unión Europea reporta que existen cerca de 120.000 cruces a nivel hasta el año 2017, en el 2017 hubo 439 accidentes producidos por distintos vehículos, y estos accidentes provocaron 282 fallecidos y 240 heridos graves.

En particular, en España existen unos 3.196 pasos a nivel (dato actualizado al 2017). Respecto a información de accidentabilidad, se conoce que el número de accidentes en pasos a nivel tuvo un leve incremento en los últimos años, pasando en el 2016 de 8 accidentes a 12 en el 2018, en particular, hubo 12 accidentes con vehículo motorizados en 2017, dando como resultado 14 usuarios fallecidos³.

A.5.2.3.1 Normas y Criterios España

El sistema ferroviario de España es un punto de referencia tanto para Europa como para América Latina. En España existen 2 áreas específicas - Gestión y Operación -, donde la empresa pública ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) maneja la gestión de la infraestructura ferroviaria y la empresa RENFE la operación de la misma.

Actualmente en España se manejan varios Decretos denominados BOE (Boletín Oficial del Estado Español) correspondiente a la Legislación Consolidada. Algunas disposiciones están interrelacionadas ya que están enfocadas al sector ferroviario; dentro de estas se encuentran las siguientes:

- Ley 38/2015, del 29 de septiembre de 2015, del sector ferroviario.

³ <http://www.ilcad.org/Spain-530.html>

- Orden del 2 de agosto de 2001 por la que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres, en materia de supresión y protección de pasos a nivel.
- Real Decreto 2387/2004, del 30 de diciembre de 2004, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.
- Marcha blanca (Borrador) de Proyecto de Real Decreto sobre Seguridad Operacional e Interoperabilidad Ferroviarias.

Esta última es un borrador (2019) que tiene por objeto una actualización de la Ley 38/2015; este Real Decreto se encuentra previsto en el Plan Anual Normativo 2019.

Debido a que dentro de cada uno de estos documentos los artículos suelen describir las mismas indicaciones, el presente análisis solo se enfocará en los artículos más relevantes para el presente estudio, tales como pasos a nivel, seguridad, supresión, entre otros.

Lo referente a **Pasos a Nivel** dentro de la normativa española es uno de los puntos importante para este estudio. La Ley “Real Decreto 2387/2004, del 30 de diciembre de 2004, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario”, sección V. Pasos a Nivel, Artículo 18, Numeral 5, indica que se **deben suprimir los pasos a nivel cuando el ferrocarril circule a una velocidad mayor a 160 km/h**, otra de las variables que se debe considerar para desnivelar los cruces es el **Valor Media Diaria de Circulación**, donde el valor no debe superar los **1.500**; este valor se obtiene a través de la intensidad media diaria de vehículos particulares, A , multiplicado por la circulación media diaria de trenes, T . El indicador $A * T$ es denominado **Momento de Circulación**.

$$MC = A * T \quad (\text{Ecuación A.5-3})$$

Dentro de este mismo Decreto, Numeral 6, se establece que la Dirección General de Ferrocarriles será el encargado de decretar la resolución de supresión de los pasos a nivel. Así mismo en el Numeral 8, a través del Ministerio de Fomento ordena a la Dirección General de Ferrocarriles a garantizar la seguridad de los cruces, distribuyendo los costes de obra para la supresión o protección de paso a nivel, durante el tiempo que este permanezca abierto. Por otro lado, en el Numeral 9, la supresión de estos pasos a nivel o su modificación estará a cargo de las empresas o entidad que mantengan la gestión de la carretera solo si el factor (A) el cual es definida por la *intensidad media diaria de vehículos particulares* es igual o mayor a 250, por otro lado, será responsabilidad de la empresa o entidad encargada de las vías férreas costear todos los gastos cuando el momento de circulación es igual o superior a 6. Tanto la empresa privada como la entidad encargada de controlar las vías férreas presentan el mismo criterio expuesto anteriormente, el valor de financiamiento para la supresión será dividido en valores iguales entre sí.

Este valor de supresión y/o reordenación será financiado a través de un presupuesto del Ministerio de Fomento o en su defecto por las empresas que lleven la administración de la infraestructura ferroviaria, cuando sobre ellos se establezcan circulaciones ferroviarias a velocidad igual o superior a 160 km/h. Sin embargo, los costes ocasionados por obras de supresión, protección de pasos a nivel, reordenación de los accesos, nuevos cruces a distinto nivel, que no concurra con lo expuesto anteriormente, correrá a cargo del organismo o entidad que la promueva.

La Ley 38/2015, del 29 de septiembre de 2015, del sector ferroviario, Artículo 8. Pasos a Nivel, Numeral 1, establece que por ningún motivo se podrá realizar un paso a nivel nuevo, sin embargo solo se podrá realizar siempre y cuando la entidad interesada justifique técnicamente las causas por las que se requiere la implementación de un nuevo paso a nivel. Así mismo, **los cruces a nivel ya existentes que debiesen ser modificados por**

circunstancias de seguridad deberán realizarse a distinto nivel. En el Numeral 4, se indica que será la Administración Ferroviaria la encargada de aprobar la construcción de cruces a distinto nivel o mejora de su seguridad, así mismo será de prioridad la expropiación de los bienes que pudieran ser necesarios.

A diferencia de las otras leyes, el siguiente Decreto está más enfocado a las variables de seguridad y supresión de los pasos a nivel, sin embargo comparten algunas similitudes. La Orden del 2 de agosto de 2001 por la que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres, en materia de supresión y protección de pasos a nivel, en el Capítulo 1 Supresión de Pasos a Nivel, Artículo 1, Numeral 5, indica que la construcción de un paso a distinto nivel conlleva al cierre de los pasos a nivel que se vayan a sustituir.

Dentro de esta norma podemos encontrar factores para ser aplicados en los pasos a nivel; estos factores son:

- La visibilidad es suficiente si la visibilidad real es mayor que la visibilidad técnica.
- La visibilidad es insuficiente si la visibilidad real es menor que la visibilidad técnica.

En el Capítulo 2 Normas de Seguridad Aplicables a los Pasos a Nivel, Artículo 7 Conceptos Generales, Numeral 4, nos muestra la formulación que se debe realizar para obtener la **Visibilidad Técnica**, D_t , de cada paso a nivel. Esta distancia se obtiene a través de la velocidad máxima del tren, V_m , en kilómetros/hora, en el instante de su cruce por el paso a nivel y en el número de vías férreas, n , a atravesar por el vehículo de carretera en dicho paso. A continuación se muestra la fórmula:

$$D_t = 1,1V_m \times (6,25 + n)^{1/2} \quad \text{(Ecuación A.5-4)}$$

Donde:

D_t : Es la distancia de visibilidad técnica del paso a nivel, en metros.

V_m : Es la velocidad máxima del tren, en kilómetros/hora, a la altura del paso a nivel.

n : Es el número de vías férreas existentes en el paso a nivel.

Así mismo la **Visibilidad Real** se define como la distancia que existe entre el punto de intersección de los ejes del ferrocarril y la carretera, con el punto donde se encuentra el tren que se dirige hacia el cruce, en el preciso momento en que este empieza a divisarse, desde el punto de parada obligatoria en la carretera o camino, y que corresponde a 5 metros del riel más próximo de las vías férreas. La citada distancia se medirá sobre el eje de la vía férrea. Se considera como visibilidad real de un paso a nivel, como **la menor de las 4 visibilidades reales** que se pueden obtener, y que corresponden a cada uno de los 2 sentidos de la vía férrea, desde cada uno de los 2 lados del paso a nivel.

En el Artículo 8 Clases de Protección, podemos observar los 6 tipos de seguridad establecidos para cada tipo de cruce a nivel.

a) Clase A. *Protección con señales fijas exclusivamente.*

La protección de la clase A se establecerá en los cruces a nivel que presenten las siguientes características:

- 1- Cruces a nivel en vía general: cuando el Momento de Circulación del cruce a nivel presente un valor inferior a 1.000.

- 2- Cruces a nivel en estaciones: sólo con carácter transitorio existirá esta clase de protección hasta tanto sea posible establecer la protección de la clase C.

b) Clase B. *Protección con señales luminosas además de con señales fijas.*

La protección de clase B se instalará en los cruces a nivel situados en vía general de líneas férreas en las que se establezcan por dichos pasos velocidades ferroviarias superiores a 40 *km/h*, que presenten cualquiera de las siguientes características:

- 1- Cuando el Momento de Circulación del cruce a nivel presente un valor igual o superior a 1.000 e inferior a 1.500 y el factor A sea inferior a 100.
- 2- Cuando el Momento de Circulación del cruce a nivel presente un valor superior a 100 e inferior a 1.000 y su distancia de visibilidad real sea inferior a la distancia de visibilidad técnica.

c) Clase C. *Protección con semibarreras, dobles semibarreras, o barreras automáticas o enclavadas, además de con señales fijas y señales luminosas.*

Procederá establecer esta clase de protección en los cruces a nivel que presenten las siguientes características:

- 1- Cruces a nivel en vía general: Los situados en líneas férreas en las que se establezcan por el cruce a nivel velocidades ferroviarias superiores a 40 *km/h*, cuando el Momento de Circulación del cruce a nivel presente un valor igual o superior a 1.000 e inferior a 1.500 y el factor A sea mayor o igual a 100.
- 2- Cruces a nivel en estaciones: En todos los cruces a nivel a excepción de los particulares y los exclusivos de peatones o de peatones y ganado en los que se establezcan velocidades ferroviarias superiores a 40 *km/h*, independientemente del valor de su Momento de Circulación.

d) Clase D. *Protección en régimen de consigna.*

- 1- La protección de clase D se establecerá en los cruces a nivel situados tanto en vía férreas general como en estaciones, en líneas férreas en las que no se alcancen por el cruce a nivel velocidades ferroviarias superiores a 40 km/hr, cuando el Momento de Circulación sea superior a 1.000 e inferior a 1.500.
- 2- Esta clase de protección podrá ser sustituida por la de clase B o C, siempre que exista acuerdo entre la Administración titular de la carretera o camino y la empresa explotadora de la infraestructura ferroviaria, lo que habrá de quedar reflejado en la correspondiente acta suscrita por ambas partes.

e) Clase E. *Protección con barreras o semibarreras con personal a pie de paso.*

- 1- En ningún caso se establecerán nuevas protecciones de clase E. Únicamente procederá la instalación de esta clase de protección con carácter transitorio hasta que se lleve a efecto la instalación de la protección de clase, B o C, que en cada caso corresponda.

f) Clase F. *Protección específica para pasos a nivel destinados al uso exclusivo de peatones o de peatones y ganado.*

- 1- Procederá la protección de clase F en los cruces a nivel destinados al uso exclusivo de peatones o de peatones y ganado. En aquellos cruces a nivel situados en vía férrea general dicha protección será conforme a la señalización establecida en el artículo anterior, independientemente de cuáles sean las velocidades ferroviarias que se alcancen en los mismos. En los cruces a nivel situados en estaciones dicha protección contará con la señalización establecida en el artículo anterior, siendo obligatoria la instalación de la señalización luminosa y acústica referida en el punto 2.3 del Artículo 19 de la normativa “Orden del 2 de agosto de 2001 por la que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de

los Transportes Terrestres, en materia de supresión y protección de pasos a nivel” cuando la velocidad máxima ferroviaria supere a los 40 km/h.

Así mismo, existe una clasificación para la protección de los cruces a nivel. Esta información está publicada en el Borrador de Proyecto de Real Decreto sobre Seguridad Operacional e Interoperabilidad Ferroviarias, Anexo VII Protección de Pasos a Nivel, Numeral 2.

Clases de Protección de los Pasos a Nivel:

- a) **Clase P. Pasos a nivel con protección pasiva**, es decir, que no disponen de ningún sistema de aviso o protección que advierta al usuario (conductor o peatón) de la llegada del tren, solo se dispondrá de señalética fija informativa o impositiva.

- b) **Clase A. Pasos a nivel con protección activa**, es decir, que disponen de un sistema de aviso y/o protección que advierte al usuario (conductor o peatón) de la aproximación del tren, y por tanto, de cuando es seguro cruzar. Dentro de este grupo se distinguen:
 - 1- **Clase A1 (protección manual)**.
El aviso o la protección al usuario son activados o realizados manualmente por personal ferroviario. Se regulan mediante consigna del administrador de infraestructuras, normalmente son barreras manuales.

 - 2- **Clase A2 (protección automática con aviso del lado del usuario)**.
El aviso al usuario es activado de forma automática por el tren que se aproxima o como consecuencia del establecimiento de un itinerario que afecte al paso, normalmente son banderistas automáticos.

- 3- ***Clase A3 (protección automática con protección del lado del usuario).***
La protección al usuario es activada de forma automática por el tren que se aproxima o como consecuencia del establecimiento de un itinerario que afecte al paso. Quedan comprendidos en esta clase los cruces a nivel que complementariamente a la protección dispongan de dispositivos de aviso al usuario, normalmente son barreras automáticas.

- 4- ***Clase A4 (protección automática con protección del lado de la vía).***
Una señal o sistema de protección indicativo para los trenes permiten pasar al tren por el paso a nivel únicamente cuando éste se encuentre completamente protegido por el lado del usuario y esté libre de obstáculos. Normalmente se complementa con barreras automáticas.

A.5.2.4 Reino Unido

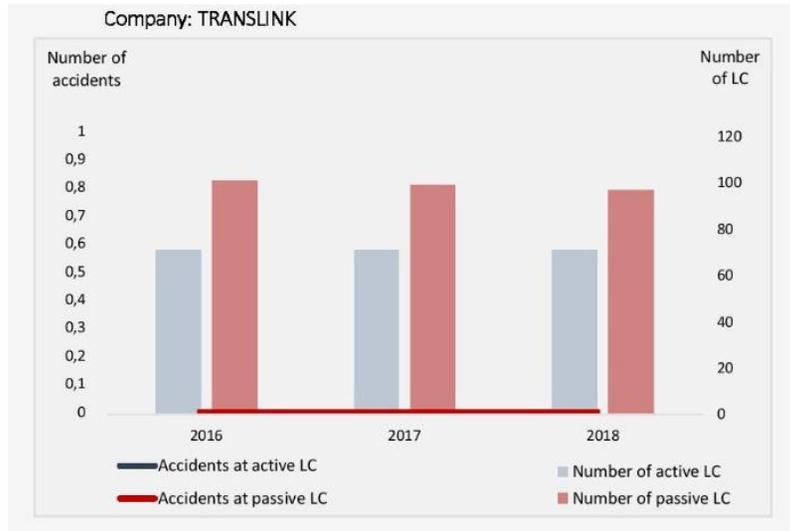
En el Reino Unido existen 2 empresas ferroviarias que manejan datos de los tramos de kilómetros que operan, estas empresas son NETWORK RAIL y TRANSLINK NI RAILWAYS.

Los datos suministrados por NETWORK RAIL indican que para el 2017 (último dato oficial) existen alrededor de 5.800 cruces a nivel que en su mayoría son de tipo **pasivo**, cuya definición se entrega más adelante. Durante el año 2017 no existe registro de número de accidentes ocurridos, sin embargo, la información revisada hace mención que para el mismo año hubo unos 8 muertos y en el año anterior (2016) solo 6.

Los datos suministrados por TRANSLINK NI RAILWAYS son más precisos y actualizados. Para el año 2018 existían 168 cruces a nivel, así mismo tuvo una reducción a comparación en su año anterior, donde se eliminaron solo 2 cruces. Por otro lado, respecto a antecedentes de accidentabilidad, según la gráfica mostrada en la siguiente ilustración, no existen accidentes ni usuarios fallecidos a causas de los cruces a nivel desde el 2016 al 2018⁴.

⁴ <http://www.ilcad.org/article536.html>

Ilustración 9. Números de accidentes y números de tipo de cruce



Fuente: <http://www.ilcad.org/article536.html>

A.5.2.4.1 Normas y Criterios Reino Unido

La normativa referente a cruces ferroviarios a nivel del Reino Unido, se rige por la Ley de 1983 impulsada por la Secretaría de Estado, sin embargo en el 2006 se crea la entidad ORR (Office of Rail Regulation) la cual influye en regularizar y establecer directrices para la seguridad ferroviaria del país.

La normativa ferroviaria del Reino Unido destaca en diferentes aspectos tal como proximidad entre cruces, nivel de visibilidad, volumen de tráfico ferroviario que utiliza el cruce, entre otros. Sin embargo el más relevante es el **Momento de Tráfico**, elemento que es calculado multiplicando el número de vehículos particulares, *A*, por el número de trenes que pasan por

un determinado tiempo, T , concluyendo que el Momento de Tráfico tiene la misma base de cálculo que el Momento de Circulación definido en la normativa española.

Cada cruce es individualizado para determinar el tipo de nivel y elementos de seguridad que utilizará el cruce, todo esto implementando las variables mencionadas anteriormente, específicamente el Momento de Tráfico.

La ORR, salvo en circunstancias excepcionales, **no admite la creación de nuevos pasos a nivel de cualquier tipo**. Un nuevo paso a nivel de la vía pública en Inglaterra y Gales puede requerir una autorización legal por parte de la entidad regida por la ley de Transporte y Obras (1992). Actualmente **cualquier carretera que requiera un cruce ferroviario debe hacerlo mediante un puente o paso subterráneo**.

Las especificaciones de cómo será operado el cruce y el equipo de protección (barreras, señales de tráfico, señales viales y marcas viales) que se deben implementar en el cruce, debe ser por cuenta tanto del operador ferroviario como de la autoridad del tráfico viario. El tipo de paso a nivel que se debe implementar se debe ajustar a lo establecido en la norma y descrito anteriormente.

La protección de los pasos a nivel ha estado vigente desde finales de 1950, las autoridades locales de carreteras tienen hasta la actualidad la responsabilidad de mantener las señales de tráfico anticipadas al cruce a nivel.

El uso de vehículos de carretera diarios real es transformado en vehículos diarios efectiva. Esto porque la relación entre la probabilidad de accidente y el volumen de tráfico real no es lineal. Convertir el volumen de tráfico real de carretera a la cantidad efectiva de vehículos

diarios dará la misma probabilidad de accidentes: si la relación de flujo de tráfico es una línea recta. En la siguiente tabla podemos observar los valores correspondientes⁵.

Tabla 5. Cantidad de vehículos diario

Vehículos de Carretera Diaria Real	Vehículos de Carretera Diaria Eficaz
250	230
500	425
750	580
1000	705
1250	810
1500	890
1750	955
2000	1010
2500	1080
3000	1115
3500	1115
4000	1080
4500	1040
5000	990

⁵ Actual daily road vehicle usage is converted to effective daily road vehicle usage using Table 10 because the relationship between the accident probability and the actual road traffic volume is not linear. Converting the actual road traffic volume to the effective figure will give the same accident probability if the probability: traffic flow relationship is a straight line. "Appendix B - Limitation on road and rail traffic at AOCL. **Level Crossings: A guide for managers, designers and operators, 2011, pag 74**".

6000	885
7000	765
8000	650
9000	540
10000	475

Fuente: Level crossings: A guide for managers, designers and operators. Office of Rail Regulation, Reino Unido 2011.

Una vez obtenido los vehículos de carretera diaria eficaz, esta se multiplica por la cantidad de trenes diarios que circulan por el cruce y así obtener el momento de tráfico eficaz. Con ello se puede también obtener la velocidad máxima permitida en el cruce. Estos valores se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 6. Momento de tráfico y velocidad máxima en el cruce

Momento Trafico Eficaz	Velocidad Maxima Permitida en el Cruce
4000	55 (mph)
4600	50 (mph)
5400	45 (mph)
6500	40 (mph)
8200	35 (mph)
10130	30 (mph)

13100	25 (mph)
15000	Menos de 25 (mph)

Fuente: Level crossings: A guide for managers, designers and operators. Office of Rail Regulation, Reino Unido 2011.

Por su parte, los elementos de seguridad en los cruces están divididos en dos grandes grupos, denominando así **Cruces Pasivos** y **Cruces Activos**.

Los **Cruces Pasivos**, están relacionados con la **protección ferroviaria donde un operador manipula los diferentes elementos de seguridad que componen el cruce a nivel**, así mismo los **Cruces Activos** están más relacionados con las **protecciones de seguridad de modo automático, ya sea por la activación de acercamiento del ferrocarril o activado remotamente**.

A continuación se mencionan los tipos de protección utilizados en el Reino Unido y sus características operacionales.

- **Tipos de Protecciones y sus variables**

- **Cruces cercados, operados por personal ferroviario:** protegido con cercas, portones o vallas en ambos lados de la vía férrea.
 - Momento de tráfico y el uso diario de vehículos deben ser inferior a lo establecido.
- **Cruces con barrera manual, operados por personal ferroviario:** barreras de accionamiento manual en ambos lados de la vía férrea.

- Momento de tráfico y el uso diario de vehículos deben ser de intensidad media-baja.
- La velocidad de trenes en el cruce no debe exceder las 100 millas por hora (160 *km/h*).
- **Cruce con barrera y detección de obstáculos:** señales luminosas de tráfico para la carretera y operación de barreras automáticas a cada lado de las vías del ferrocarril, y con advertencia audible a los peatones.
 - Momento de tráfico y el uso diario de vehículos deben ser de intensidad media-baja.
- **Automatic Half Barrier Crossings (AHBC) o “Cruces con semibarreras automáticas”:** este tipo de cruce está protegido por las señales de luz de tráfico vial y una barrera de operación en ambos lados del ferrocarril.
 - La velocidad de trenes en el cruce no debe exceder 100 millas por hora (160 *km/h*).
 - No debe haber más de dos vías férreas.
- **Automatic Barrier Crossings, Locally Monitored (ABCL) o “Cruces con barreras automáticas, monitorizadas localmente”:** señales de tráfico viario, alarmas para protección de los peatones y barrera automática móvil para la mitad de la calzada.
 - No deberá cruzar más de dos vías férreas en el cruce.
 - La velocidad de los trenes en el cruce será determinada por el “momento de tráfico”.
 - No deberá exceder las 56 millas por hora (90 *km/h*) en cualquier momento.
- **Automatic Open Crossings, Locally Monitored (AOCL) o “Cruces de apertura automática, monitorizados localmente”:** no dispone de barreras

pero se encuentra protegido por la señalización viaria y cuenta con alarmas para la advertencia a los peatones.

- No deberá de haber más de 2 vías férreas en el cruce.
 - La velocidad de los trenes en el cruce será determinada por el Momento de Tráfico.
 - No deberá exceder las 56 millas por hora (90 *km/h*) en cualquier momento.
- **Cruces abiertos:** no disponen de barreras o señales viarias de protección. Únicamente dispone de un conjunto de señalización fija.
 - No deberá de haber más de 1 vía férrea en el cruce.
 - El Momento de Tráfico no debe ser mayor a 2.000.
 - No deberá exceder las 10 millas por hora (16 *km/h*).
 - **Cruces para vehículos operados por el usuario:** cruces operados por el usuario, se implementan cuando una ruta de acceso a una propiedad privada, o una carretera pública de muy baja utilización, cruza las vías férreas.
 - No deberá de haber más de 2 vías férreas en el cruce.
 - No se deberá exceder las 100 millas por hora (160 *km/h*).
 - **Senda para peatones y cruces con caminos ecuestres:** Este tipo de cruce se encuentra donde el ferrocarril cruza un sendero o puentes.
 - No deberá de haber más de 2 vías férreas en el cruce.
 - No se deberá exceder las 100 millas por hora (160 *km/h*).
 - **Sendas para peatones en las estaciones:** Este tipo de cruce se encuentra entre las plataformas o andenes en las estaciones.
 - No se deberá exceder las 100 millas por hora (160 *km/h*).

.Las disposiciones de protección que son apropiados en cruces a nivel variarán, dependiendo de la ubicación del cruce, por ejemplo la proximidad a cruces, el nivel de uso y de la naturaleza del tráfico ferroviario. Sin embargo, la norma del Reino Unido **establece la no construcción de nuevos cruces y la eliminación de los cruces a nivel existentes de uso público, si la velocidad de operación es igual o superior a 160 km/h.**

La distancia deseable para poder observar las intermitencias de las luces rojas, será visible de acuerdo al valor de la velocidad del tren. La velocidad equivalente se toma como el 85% de las velocidades observadas de vehículos que se aproximan. La distancia de visibilidad mínima recomendada se puede observar en la Tabla 7. Si estos valores mínimos no son alcanzables, se debe considerar medidas adicionales tales como: marcadores, señales de advertencia anticipada, entre otros.

Tabla 7. Recomendaciones sobre la distancia mínima de la visibilidad

Recomendaciones sobre la distancia mínima de la visibilidad		
85% de velocidad de los vehiculos en carretera		Distancia Mínima de visibilidad (Metros)
Kilometros por hora (Km/h)	Millas por hora (mph)	
50	30	70
65	40	90
80	50	150
95	60	220
115	70	300

Fuente: Level crossings: A guide for managers, designers and operators. Office of Rail Regulation, Reino Unido (2011).

A.5.2.5 Francia

En Francia existían para el 2018 (último dato oficial) unos 17.576 cruces a nivel. Respecto a datos de accidentabilidad, se conoce que en el mismo año ocurrieron unos 92 accidentes dentro de los cuales existieron 16 usuarios fallecidos. Tanto en el número de cruces a nivel como el número de accidentes y número de fallecidos, hubo una reducción con respecto a los años anteriores. El número de accidentes en pasos a nivel pasó de 109 accidentes en el 2017 a 92 en el 2018. Así mismo se destaca la disminución del número de fallecidos, pasando de 42 en el año 2017 a 16 para el 2018⁶.

Desde el año 2016 se han eliminados 36 pasos a nivel. Así mismo, el nivel de equipamiento de los cruces en Francia, según dato del año 2011, es el siguiente:

Tabla 8. Estadísticas de nivel de equipamiento de los cruces ferroviarios de Francia

Tipo de Cruce a Nivel	Porcentaje
Barreras Automáticas o Manuales	60%
Guarda Cruces	9,2%
Sin barrera, solo con cruz de San Andrés (ycon o sin señal de “STOP”)	20,4%
Peatonales	4,5%
Privados	5,9%

Fuente: Informe sobre la seguridad en pasos a nivel ferroviarios, SENER 2013.

⁶ <http://www.ilcad.org/France-563.html>

En Francia, como en muchos países europeos, el paso a nivel cierra sus barreras en promedio de 25 a 60 segundos antes de que el tren llegue al cruce, contados a partir de su detección.

A.5.2.5.1 Normas y Criterios Francia

La normativa de Francia es caracterizada por factores como la velocidad de circulación de trenes y el tipo de usuario vial, entre otros; sin embargo, de debe definir por las categorías y elementos de seguridad. Dentro de las categorías podremos encontrar diferentes elementos de seguridad para el cruce a nivel, a continuación se mencionarán los elementos que son empleados dependiendo del tipo de categoría.

- **1ra categoría: Cruce a Nivel público para vehículos, provisto de barreras o de semi-barreras.** Presenta los siguientes elementos de seguridad:
 - Cruces a nivel con SAL (Señalización Automática Luminosa)
 - De un timbre
 - De dos luces rojas, implantadas a cada lado de la calzada
 - De una semi barrera, implantada a la derecha de la calzada
 - Cruces a nivel con guarda cruce
 - Barreras o semi barreras (manual)
- **2da categoría: Cruce a Nivel público para vehículos, carente de barreras o semi-barreras.** Este tipo cruce a nivel comprende a vías férreas con velocidades inferiores a 140 km/h y presenta los siguientes elementos de seguridad:
 - Cruz de San Andrés
 - Cruz de San Andrés complementada por señales "Stop"
 - Señalización automática luminosa y sonora sin semi-barreras (SAL 0)
 - Se usa en los Cruces a Nivel situados sobre las líneas férreas de tráfico de mercancías lentas

- **3ra categoría: Cruce a Nivel público utilizable solo por peatones.** Presenta los siguientes elementos de seguridad:
 - Portones de seguridad peatonal
- **4ta categoría: Cruce a nivel privado para vehículos y/o peatones.** Presenta los siguientes elementos de seguridad:
 - Protecciones privadas, sin vigilancia ni presencia de personal

Para clasificar un cruce a nivel con las características mencionadas anteriormente, se deben tener en cuentas diferentes factores entre ellas el **Momento de Tráfico**, elemento que es calculado al igual que en otros casos expuestos anteriormente, donde el momento de tráfico AxT se calcula multiplicando el número de vehículos particulares por el número de trenes que pasan por un determinado tiempo.

La administración francesa se centra sobre todo en eliminar aquéllos que se consideran peligrosos y en realizar campañas de sensibilización acerca del buen uso del resto.

En la supresión de un paso a nivel están comprometidas diversas empresas tales como: las autoridades locales interesadas, el estado y la empresa Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses (SNCF Réseau, por sus siglas en francés) esta última cofinancia las obras. Para ello, se logra a través de consultas locales, con el administrador de carreteras, las comunidades, los usuarios y los residentes.

Existen 3 formas para suprimir un paso a nivel:

- Punto muerto: esta solución es implementada solo para pasos a nivel de peatones o carreteras con un alto tránsito.
- Desviación a una vía existente: esta solución se basa en desviar el camino del cruce hacia una estructura existente.

- La construcción de un paso a nivel superior o inferior: existen 2 tipos de solución, como primera opción está la realización de un puente superior a más de 6 metros de altura sobre riel y como segunda opción está la realización de una estructura inferior.

Los principales financiamientos para la realización de las obras de supresión de un paso a nivel ya sean a un **nivel superior o inferior** están caracterizados por lo siguiente:

- Cruces a nivel prioritarios: el 50% es financiado por la Agencia Francesa de Financiación de infraestructura del transporte y otro 50% por la autoridad local.
- Cruces a nivel no prioritarios: se financian externamente.

A.5.3 Resumen comparativo

En este resumen podremos identificar las coincidencias y diferencias en valores y/o implementación técnica, específicamente la identificación del Índice de Peligrosidad establecido en la normativa obtenida a través de cada uno de los casos presentado en el subcapítulo anterior (ver punto *A.5.2 Análisis de cinco casos particulares*). Este análisis permitirá obtener las principales brechas y actuaciones recomendadas para mejorar los cruces de la red ferroviaria.

Los 5 países donde se desarrolló el análisis previo, tienen algunas diferencias, similitudes o relación con respecto a la seguridad en los cruces ferroviarios:

- Entre algunas de las similitudes, se tiene que los 5 países comparten el mismo criterio al indicar que para los primeros cálculos en la seguridad de los cruces deben establecer el Índice de Peligrosidad y Momento de Circulación. Así mismo comparten el mismo criterio al seleccionar la categoría de protección en los cruces viales, ya sean elementos pasivos o elementos activos (con señales luminosas o con barreras).
- Una de las diferencias tiene que ver con respecto a la supresión del cruce a nivel, en Estados Unidos a diferencia de los otros 4 países, este no contempla en norma la supresión del cruce, por lo que pueden realizar apertura de nuevos pasos a nivel según las necesidades.
- Otros de los aspectos que podemos observar dentro de estos 5 países, es que la velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h y una visión ideal máxima de 600 m. Así mismo el Momento de Circulación debe ser mayor a 1500.
- Tanto Estados Unidos, España, Argentina e Inglaterra, contemplan en su evaluación técnica la visibilidad tanto técnica como real.

Respecto de fuentes de financiamiento, se puede decir que es practica internacional de los países con ferrocarriles desarrollados, que los costos de una desnivelación de cruces para velocidades de tren bajo los 160 Km/h, se asuman en partes proporcionales entre los propietarios del ferrocarril y de la carretera, proporcionalidad dada por la relación entre A y T siendo $MC = A \times T$. En España se desnivela para $MC > 24.000$ y para distribuir los gastos de desnivelación se usa el siguiente criterio (fuente seminario de MAPFRE en Madrid año 1998 de expertos ferroviarios):

- Será 100% por cuenta del ferrocarril las actuaciones de desnivelación de pasos a nivel cuyo $A \times T$ sea \geq que 24.000 y $T \geq 24$ y $A < 1.000$
- Será 50% por cuenta del ferrocarril las actuaciones de desnivelación de pasos a nivel cuyo $A \times T$ sea \geq que 24.000 y $T \geq 24$ y $A \geq 1.000$
- Será 100% por cuenta de la carretera las actuaciones de desnivelación de pasos a nivel cuyo $A \times T$ sea \geq que 24.000 y $T < 24$ y $A \geq 1.000$
- Para pasos a nivel cuyo $A \times T$ sea \geq que 24.000 y $T < 24$ y $A < 1.000$, esta situación aritméticamente no se da.
- Para velocidades de tren sobre 160 Km/h, la desnivelación siempre debe ser financiada por el propietario del ferrocarril.
- Para valores de A mayor a 1.500 vehículos-día, la desnivelación siempre debe ser financiada por el propietario de la carretera (en Chile esta situación no sé da).
- Cualquier otra mejora de la seguridad o desnivelación de un cruce debe ser financiada por cuenta del proponente.

- La situación de los cruces en vías férreas con trenes de cercanías (metros de superficie), se analiza en forma independiente de los cruces en vías férreas tradicionales, normalmente con velocidad y frecuencias menores.

En la siguiente tabla podremos observar algunas fortalezas o debilidades en materia de los criterios de seguridad, tecnología y fuentes de financiación utilizados por cada uno de los 5 países seleccionados. Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y Visibilidad.

Tabla 9. Cuadro comparativo entre países

País / Criterios	Criterios de Seguridad		Tecnología		Fuentes de Financiamiento	
	Fortaleza	Debilidad	Fortaleza	Debilidad	Fortaleza	Debilidad
Estados Unidos	<p>Velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h.</p> <p>Debe mantener un Plan para la Mejora de la Seguridad en los cruces ferroviarios.</p> <p>Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y visibilidad.</p>	<p>La implementación de los elementos y/o normativas de seguridad depende del criterio de cada estado.</p> <p>No se utiliza el cálculo del índice de Peligro.</p> <p>No contempla en su normativa la supresión de cruces.</p>	<p>Utilizan sistemas como:</p> <p>1.Sistemas activos: Barreras, señal luminosa de destellos, señales de carretera, luces parpadeantes o campanas, entre otros.</p> <p>2.Sistemas Pasivos: Señal de Cruce Ferroviarios, señal de STOP, entre otros.</p>	<p>La mayoría del equipamiento de protección de seguridad utilizada es la señalética fija.</p>		<p>Para la construcción de y/o reovación de un cruce, se debe obtener un acuerdo entre la entidad privada y la pública.</p>
España	<p>Velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h.</p>	<p>No se considera la geometría de la visibilidad.</p>	<p>Utilizan 6 tipo de protección de cruces:</p> <p>A. Señalética fija o pasiva.</p> <p>B. Banderistas automáticos</p>		<p>La Dirección General de Ferrocarriles a garantizar la seguridad de los cruces, distribuyendo los costes de obra para la supresión</p>	

	<p>Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y visibilidad. Se considera en normativa la supresión de los cruces a nivel.</p> <p>La construcción de un paso a distinto nivel conlleva al cierre de los pasos a nivel que se vaya a sustituir.</p> <p>Serán las empresas o entidad encargada de la gestión de carretera, suprimir o modificar los cruces a nivel.</p> <p>Se considera un valor de 600 máximo para la visibilidad humana.</p>		<p>(dispositivos activos sonoro-luminosos). C. Barreras automáticas. D. Protección en régimen provisorio (cruce provisorio). E. Guarda-Cruzada humano. F. Protección de pasos peatonales.</p>		<p>o protección de paso a nivel, durante el tiempo que este permanezca abierto. El valor será financiado a través de un presupuesto del Ministerio de Fomento o en su defecto las empresas que lleven la administración de la infraestructura ferroviaria, siempre y cuando la circulación ferroviaria sea igual o mayor a 160 km/h</p>	
--	---	--	---	--	---	--

<p>Reino Unido</p>	<p>Velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h.</p> <p>Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y visibilidad.</p> <p>Cada cruce es individualizado para determinar el tipo de nivel o protección de seguridad.</p> <p>Las autoridades locales de carreteras tienen la responsabilidad de mantener las señales de tráfico anticipadas al cruce a nivel.</p>	<p>-</p>	<p>Utilizan sistemas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cruces cercados, operados por personal ferroviario. - Cruces con barrera manual, operados por personal ferroviario. - Cruce con barrera y detección de obstáculos. - Automatic Half Barrier Crossings (AHBC) o “Cruces con semibarreras automáticas. - Automatic Barrier Crossings, Locally Monitored (ABCL) o “Cruces con barrera automática, monitorizados localmente. - Automatic Open Crossings, Locally Monitored (AOCL) o “Cruces de apertura automática, 	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
--------------------	--	----------	---	----------	----------	----------

	Se considera en normativa la supresión de los cruces a nivel.		<p>monitorizados localmente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cruces abiertos. - Cruces para vehículos operados por el usuario. - Senda para peatones y cruces con caminos ecuestres. - Sendas para peatones en las estaciones. 			
Francia	<p>Velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h.</p> <p>Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y visibilidad.</p> <p>Se considera en normativa la supresión de los cruces a nivel.</p>	No especifica un valor exacto referencial tanto para el momento de circulación como de la visibilidad	<p>Utilizan sistemas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1er categoría: Cruce a Nivel público para coches, provisto de barreras o de semi-barreras. - 2da categoría: Cruce a Nivel público para coches, carente de barreras o semi-barreras. - 3ra categoría: Cruce a Nivel público utilizable solo por peatones. - 4ta categoría: Cruce a nivel privado para vehículos y/o peatones. 	-	-	-

Argentina	<p>Velocidad máxima para desnivelar un cruce no puede exceder los 160 km/h.</p> <p>Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad, Momento de Circulación y visibilidad.</p> <p>Cuando un paso a nivel existente tiene un tránsito igual o inferior a 120 vehículos/día, se recomienda clausurarlo si existiese un cruce a menos de 600m.</p> <p>Para cruces a nivel existentes en áreas rurales, donde la visibilidad sea satisfactoria y el índice de riesgo sea menor a</p>	<p>No especifica un valor exacto referencial tanto para el momento de circulación como de la visibilidad</p>	<p>Utilizan sistemas como: SEÑALIZACIÓN PASIVA EN PASOS A NIVEL URBANOS</p> <p>1.Señalización Horizontal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Separador de tránsito - Línea de detención - Cruz de san Andrés horizontal <p>2.Señalización vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cruz de san Andrés vertical - Aviso de cruce ferroviario - Limitación de velocidad - Prohibición de estacionar. 	<p>No se refiere o utilizan banderistas automáticos</p>	<p>Los costos de las obras de nuevos cruces y pasos peatonales estará a cargo de la entidad encargada de los vías.</p> <p>Las empresas férreas son las encargadas en realizar y cubrir los gastos referentes a los cruces ferroviarios a distinto nivel.</p>	
-----------	---	--	--	---	--	--

	<p>12.000, es suficiente la señalización pasiva.</p> <p>Se considera en normativa la supresion de los cruces a nivel.</p>					
--	---	--	--	--	--	--

Chile ⁷	Contempla cálculo de seguridad tal como el Índice de Peligrosidad..		Utilizan sistemas como:	No considera el uso optativo del disco PARE.		
	Considera una velocidad máxima del tren de 120 km/h.	No contempla en su normativa la supresión de cruces.	1.SEÑALETICA FIJA - Cruz de San Andrés - Disco PARE - Letrero SIN GUARDACRUCE - Cruceta CRUCE PITO	-Cuando la IP es mayor a 12.000 se exige señalización automática que puede ser de los siguientes tipos:		
	En líneas de velocidad máxima de 160 km/h o superior no se permite la existencia de cruces a nivel. Se considera un valor de 600 m máximo para la visibilidad humana.	No indica un valor límite del IP o del MC que hagan recomendable suprimir el cruce.	2.SEÑALÉTICA AUTOMÁTICA 2.1.Banderistas Automáticos - Un conjunto de dos reflectores rojos. - Un reflector blanco lunar - Un gong, campana, timbre o sirena.	- Banderista automático, dispositivo sonoro-luminoso automático, operando 24x7. - 2 Barreras automáticas operando 24x7. - 4 Barreras automáticas operando 24x7. - Para fallas del sistema señalizado del cruce, se debe operar con guarda-cruce humano o		

⁷ Este resumen fue obtenido a partir del punto A.6.1 *Análisis normativo nacional*

			<p>2.2.Barreras automáticas</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 barrera en calles o caminos de circulación unidireccional. - 2 semi-barreras en calles o caminos de circulación bidireccional. - 4 semi-barreras en calles o caminos de circulación bidireccional y de alto tráfico vial. 	<p>señalero, y colocar el letrero: PELIGRO BANDERISTA NO FUNCIONA, operando de 07:00 a 19:00 horas y si el tráfico carretero o ferroviario es intenso, debe funcionar las 24 horas.</p>		
--	--	--	--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia, everis 2019

A.6 Análisis de estándares alternativos

A.6.1 Análisis normativo nacional

El documento oficial en Chile que regula la seguridad de los cruces públicos a nivel es el Decreto N° 38 del año 1986, que calcula en un solo indicador matemático, denominado **Índice de Peligrosidad, IP**, la potencialidad estadística o riesgo de que puedan ocurrir colisiones. Además, y según los distintos valores numéricos crecientes del IP en cada cruce, se define el tipo de señalización que se debe de adoptar en el mismo.

EFE por su parte ha promulgado a nivel interno diversas normas relacionadas con la seguridad de los cruces, sin embargo, han regido la intervención de los cruces en la red EFE por varias décadas. Algunas de ellas han sido derogadas y reemplazadas por otras, por la razón de tener que modificar los valores frontera de los indicadores de la seguridad de los cruces.

Las normas EFE vigentes relacionadas a los cruces públicos a nivel son las siguientes:

1. Norma de Seguridad de Cruces Públicos a Nivel (analiza la señalización pasiva o activa requerida en los cruces según el valor creciente del IP de cada cruce), número EFE-NS-01-05-00 Versión 04 del 06.01.2017, no se pronuncia respecto de las condiciones para desnivelar, solo sugiere hacerlo para Velocidad Máxima de los trenes de > 100 Km/h.
2. Norma de diseño de la Señalización (automatización) de la vía férrea, número EFE-NSF-21.001 Versión 00 del 28.03.2002, particularmente en los capítulos concernientes a los circuitos de detección y anuncio en el cruce por la ocupación de los trenes, (define la lógica electrónica de los banderistas automáticos y de las barreras, para que tengan la seguridad intrínseca requerida). La señalización de los cruces es un subsistema solo dependiente del sistema señalizado de la vía, cuando el

cruce está situado dentro de la zona de influencia de una estación o zonas de maniobras.

3. Norma Técnica de Cruces Públicos a Nivel (define las obras civiles del cruce, como las carpetas de rodado, los accesos, el drenaje, los cierros y otros), número EFE-NT-01-05-00 Versión 04 del 06.01.2017.

A continuación, se analizan el Decreto N° 38 y también dichas normas de EFE.

A.6.1.1 Decreto N° 38

El Decreto N° 38 de 1986 indica la Señalización, ya sea de tipo Reglamentaria o de tipo Preventiva de los cruces ferroviarios públicos a nivel, y señales o dispositivos complementarios mínimos que deben colocarse en función de su Índice de Peligrosidad. A continuación. En los siguientes ítems se analizan los principales aspectos abordados en el Decreto.

A.6.1.1.1 Índice de Peligrosidad

Este Decreto indica que el valor del **Índice de Peligrosidad (P)**, que es un coeficiente adimensional, se calcula según la siguiente fórmula matemática:

$$P = \frac{V * T}{4 \sin \emptyset} \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} \right) (1 + \sum b_i) \quad \text{(Ecuación A.6-1)}$$

Donde:

- ✓ **V**: Es el N° de vehículos carreteros que circulan por el cruce en las 12 horas de mayor tránsito.
- ✓ **T**: Es el N° de trenes que circulan por el cruce en 12 horas.
- ✓ **∅**: Es el ángulo del cruce entre el camino y la vía férrea.

- ✓ f_n : Es el valor de los 4 factores de visibilidad en los 4 cuadrantes del rombo de visibilidad.
- ✓ b_i : Son coeficientes amplificadores del Índice de Peligrosidad, que representan las singularidades negativas de cada cruce en particular y que afectan su visibilidad.

En los siguientes ítems se describen cada uno de los factores, así como la forma de determinarlos.

A.6.1.1.2 Flujo de vehículos carreteros (V)

El factor V dentro de la fórmula del Índice de Peligrosidad corresponde al **Nº de vehículos carreteros que circulan por el cruce en las 12 horas de mayor tránsito** (de 07:30 a 19:30), adoptando el promedio de los censos realizados en 3 días consecutivos hábiles, de preferencia martes, miércoles y jueves.

Se observa que el valor numérico de V no discrimina en el tipo de vehículo vial, así un auto vale 1 y un camión largo y lento también vale 1. Por lo anterior, se recomienda convertir los flujos heterogéneos a unidades homogéneas, mediante una unidad de referencia, denominada **Vehículo Equivalente (veq)**. El Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU, 2013) define este concepto como una “*unidad genérica equivalente a un automóvil particular, con respecto al cual se representa el resto de las categorías, considerando principalmente el espacio vial utilizado*”.

Se indica a continuación, una tabla sugerida que permite ponderar a los vehículos carreteros según su tipo mediante vehículos equivalentes:

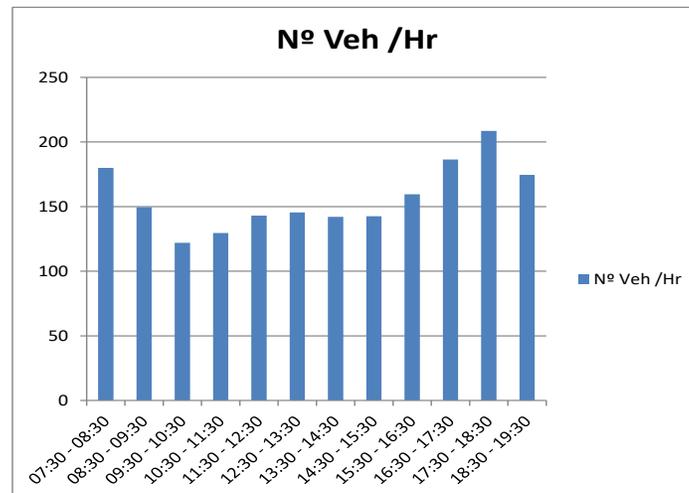
Tabla 10. Factores de equivalencia

Factor (veq/veh) por Categoría													
	Veh. Liv.	Taxi Colect.	Taxi Básico	Bus Rural	Taxi bus Urb.	Bus Instituc.	Otros Buses	Tpte. Escolar	Camión 2 Ejes	Camión >2 Ejes	Otros	Bicicletas	Motos
Factor	1,00	1,35	1,35	2,00	1,65	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla “Factores de equivalencia” del MESPIVU (2013).

El Decreto N°38 solo obliga a tomar el valor de V durante 12 horas seguidas, pero se sugiere conveniente tomar el dato por cada hora, lo que permite visualizar las horas de flujo vehicular peak. El siguiente gráfico de ejemplo, muestra una distribución de la cantidad de vehículos por hora, donde se observa que no aparecen horas peak especialmente relevantes en horas de mañana, medio día y tarde.

Ilustración 10. Ejemplo de distribución horaria del flujo vehicular en una intersección, en un período de 12 horas



Fuente: Elaboración a partir de Estudio de Consultora APPLUS para el Nuevo Cruce Puerto Seco Viluco en Lonquen-Paine (2015)

A.6.1.1.3 Flujo de trenes (T)

En la fórmula del Índice de Peligrosidad, el factor T es el **Nº de trenes que circulan por el cruce en 12 horas** (las mismas 12 horas de V), correspondiente al día del censo caminero más cercano al valor V calculado promedio de los 3 días. Se observa que el valor numérico de T no discrimina en el tipo de vehículo ferroviario, así un tren de pasajeros vale 1 y un tren de carga también vale 1.

Teniendo como referencia los factores equivalentes utilizados para vehículos carreteros, se indica a continuación, como sugerencia, una tabla que pondera a los vehículos ferroviarios según su tipo:

Tabla 11. Propuesta de factores de equivalencia para vehículos ferroviarios

	Tipo de tren		
	Vehículo de mantenimiento	Tren de mercancías	Tren de viajeros
Factor	0,50	1,00	1,50

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla “Factores de equivalencia” del MESPIVU (2013).

Para ambos valores de V y T , el Decreto N°38 no considera una proyección creciente en el tiempo de los volúmenes de tráfico carretero V y ferroviario T , particularmente importante para nuevos cruces públicos a nivel.

El Decreto N°38 tampoco considera el uso optativo de la señal **PARE** ya que un valor alto de V puede que no afecte la seguridad del cruce, pero sin duda, generará congestión del tráfico vial.

A.6.1.1.4 Momento de Circulación (MC)

Al producto $V * T$, N° de vehículos carreteros por N° de vehículos ferroviarios, se le denomina **Momento de Circulación (MC)**, y corresponde a un valor de los flujos de tráfico vial y ferroviario integrados (para esas 12 horas).

Es recomendable determinar este valor, en forma independiente del **IP**, ya que, en general, en los países desarrollados se trabaja con el Momento de Circulación en vez del Índice de Peligrosidad.

A.6.1.1.5 Ángulo del cruce (\emptyset)

En la fórmula del Índice de Peligrosidad, \emptyset es el **ángulo del cruce entre el camino y la vía férrea**, el que idealmente debe ser en ángulo recto (100 grados centesimales o 100^g).

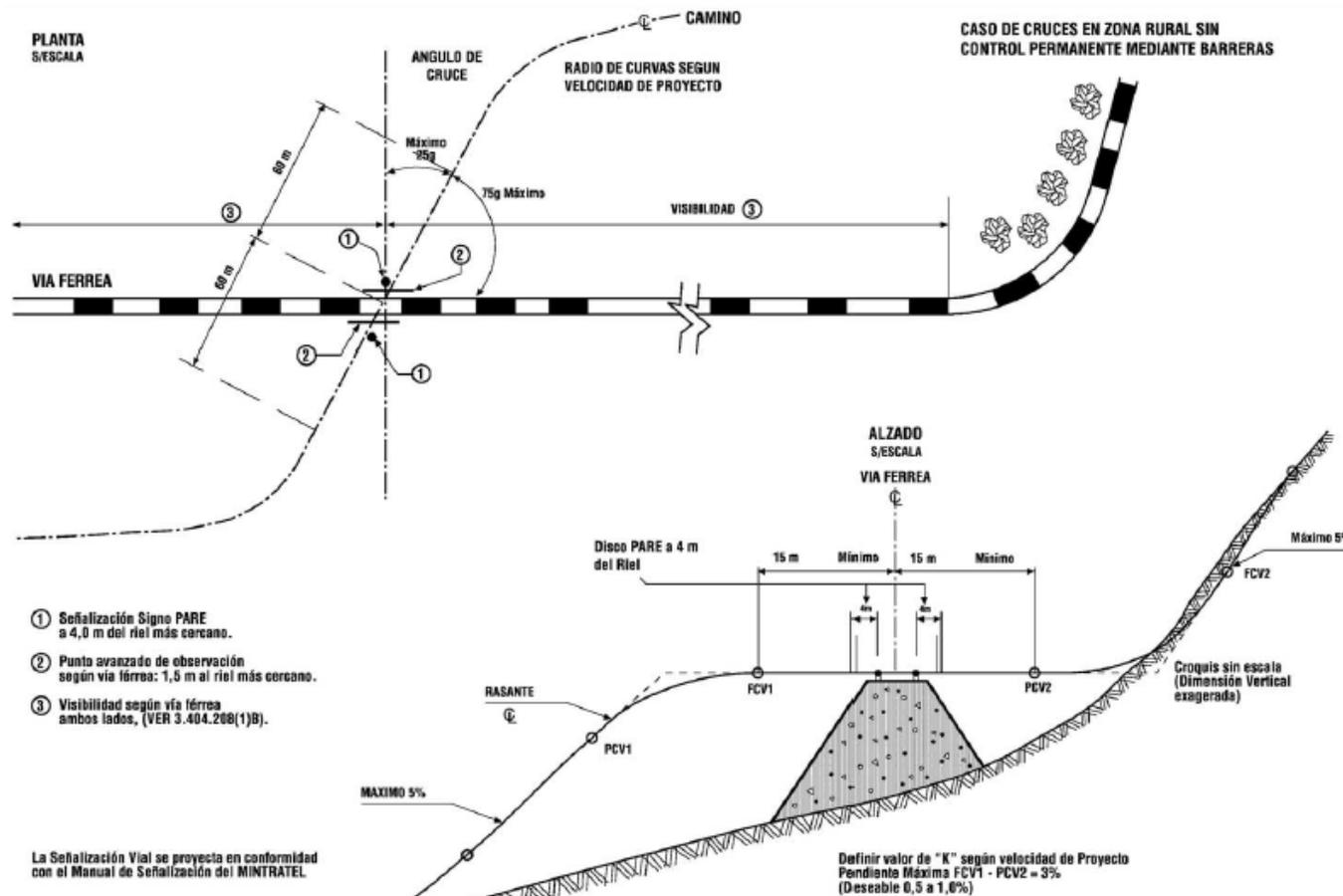
Si \emptyset es mucho más pequeño que 100^g el valor de $\sin \emptyset$ se acerca a cero, haciendo que el Índice de Peligrosidad crezca asintóticamente; el Decreto N°38 no acota su valor, por lo cual necesariamente se debe acotar el valor mínimo de \emptyset a un valor razonable como sería de 60 grados sexagesimales (60°).

Al respecto el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del MOP de Chile, en su Volumen 3 recomienda como máximo el valor de 75^g , entre el eje de la vía férrea y el eje del camino. Puntualmente, el apartado 3.404.208(1) explicita:

Alineamiento Horizontal: “Es deseable que el eje del camino intersecte la vía férrea en ángulo recto o lo más próximo posible a dicha dirección. Como máximo se podrán aceptar ángulos comprendidos entre la normal a la vía férrea y el eje del camino de 25^g , según se ilustra en la Lámina 3.404.208(4).A.

Tanto la alineación de la vía férrea como la del camino deben estar en recta para posibilitar la percepción del tren que viene, por parte de un conductor detenido a 1,5 m del riel más próximo, (posición avanzada de observación – Signo Pare localizado a 4 m antes del riel).”

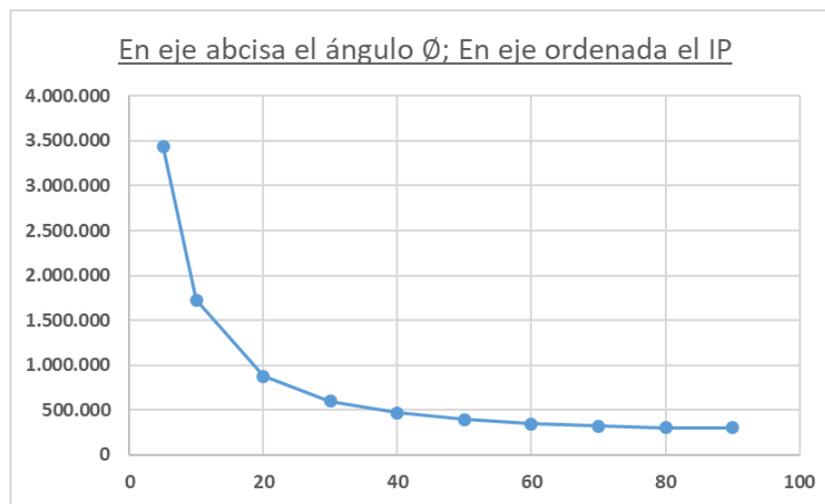
Ilustración 11. Esquema en planta y alzado de cruces a nivel con vías férreas



Fuente: Lámina 3.404.208(4).A del Manual de Carreteras Vol. 3 (2019)

En la ilustración siguiente se muestra un ejemplo como varía el *IP* con la disminución del ángulo \emptyset del cruce, tomado entre el eje del camino y el eje de la vía férrea; se observa tendencia no lineal (ver *Anexo 2 – Estándares Alternativos* bajo el nombre de *2.1 Variación del IP.xlsx*).

Ilustración 12. Variación de *IP* en función de \emptyset



10 Valores	V=NºVeh	T=NºTrenes	MC=Mom Circ	Angº	Seno Angº	v=veloc tren	$\Sigma 1/f > 4$	$1 + \Sigma b < 1,45$	K=IP/MC	IP=Ind de Peligr
1	5.000	10	50.000	90	1,000000	100	20	1,20	6,00	300.000
2	5.000	10	50.000	80	0,984808	100	20	1,20	6,09	304.628
3	5.000	10	50.000	70	0,939693	100	20	1,20	6,39	319.253
4	5.000	10	50.000	60	0,866025	100	20	1,20	6,93	346.410
5	5.000	10	50.000	50	0,766044	100	20	1,20	7,83	391.622
6	5.000	10	50.000	40	0,642788	100	20	1,20	9,33	466.717
7	5.000	10	50.000	30	0,500000	100	20	1,20	12,00	600.000
8	5.000	10	50.000	20	0,342020	100	20	1,20	17,54	877.141
9	5.000	10	50.000	10	0,173648	100	20	1,20	34,55	1.727.631
10	5.000	10	50.000	5	0,087156	100	20	1,20	68,84	3.442.114

Fuente: Elaboración propia

A.6.1.1.6 Visibilidad

En la fórmula del Índice de Peligrosidad, el factor f_n corresponde al valor de los 4 **factores de visibilidad** (f_1, f_2, f_3 y f_4) en los 4 cuadrantes del rombo de visibilidad, valores que se determinan mediante la siguiente expresión:

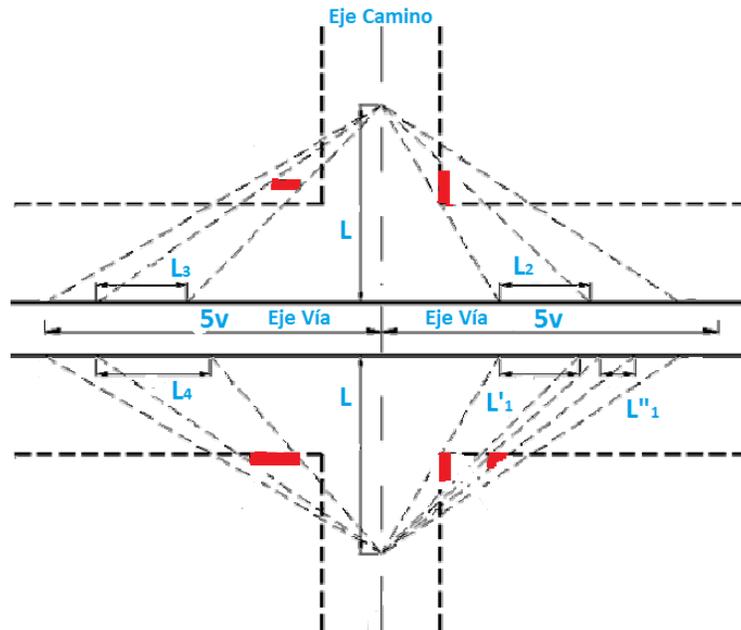
$$f_n = 1 - \frac{\sum L_n}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-2})$$

En que:

- i. $\sum L_n$: Se define como la suma de las proyecciones visuales de los obstáculos fijos o temporales existentes dentro del rombo de visibilidad sobre el eje de la vía más próxima, tomando como centro de proyección uno de los vértices del rombo de visibilidad ubicado en el eje del camino. Solamente se considerarán las proyecciones que resulten dentro del rombo y en el mismo cuadrante.

En otras palabras, es la suma de todas las proyecciones en metros (ángulos muertos) de los obstáculos fijos o temporales de la faja ferroviaria que afectan la visión del conductor vial hacia la vía férrea, proyecciones existentes dentro del rombo de visibilidad (por separado, en cada uno de sus $n = 4$ cuadrantes), sobre el eje de la vía férrea hacia ambos lados, tomando como centro de proyección uno de los 2 vértices menores del rombo de visibilidad ubicados en el eje del camino (punto de detención del vehículo vial). La visual óptica se dirige a los 2 vértices mayores ubicados en el eje de la vía férrea hacia ambos lados.

Ilustración 13. Rombo de visibilidad según Decreto N° 38



Fuente: Elaboración propia en base al Decreto N° 38.

- ii. v : Es la velocidad máxima de los trenes en el sector del cruce en km/h. Luego $5v$ supone ser en metros la visual máxima del conductor (visión del ojo humano) hacia la vía férrea, corresponde a medio diámetro del eje mayor del rombo de visibilidad.

En el diagrama L tiene un valor de 15 m para caminos de tierra y 30 m para caminos pavimentados. El Manual de Carreteras, por su parte, indica $1,5\text{ m}$.

En este punto es importante mencionar que la **Agudeza Visual** medida en metros, es la **capacidad de la visión humana de identificar objetos en movimiento y acercándose**. Para figuras tridimensionales o en relieve, la agudeza visual humana es estereoscópica, que es la propiedad de la visión humana de calcular la distancia o profundidad del objeto mirado y su velocidad de acercamiento. Luego, se debe considerar el **valor internacional máximo de la**

visión humana que es de **600 m**, esto bajo condiciones climáticas favorables (sin lluvia, neblina, humo, reflejo solar, etc.). Este valor es usado en España para $V=160$ Km/h y llamado **D_T** con una fórmula que se analiza en el apartado *A.5.2.3.1. Normas y Criterios España, Ecuación A.5-4*). Aplicando esta fórmula para el tramo Santiago a Chillán, y tomando $V_m=160$ km/h, y $n=2$ (doble vía), resulta $D_T= 505, 52$ m. Por otro lado, se muestran 2 tablas de valor de la visión que usa el Manual de Carreteras del MOT en Chile al respecto, que establece que la visión puede llegar hasta 600 m. pero más distorsionada, siendo la **óptima nitidez con 400 m**. Referente al valor máximo establecido por dicho manual, para la distancia de visión máxima humana del conductor vial en carretera en m (L_r), y que se establece entre 400 y 600 m, para tramos de carretera en recta y horizontal (o tramo recto entre curvas), cabe mencionar que la velocidad de cálculo será la velocidad percentil ($V_{85\%}$) que corresponde al 85% de la velocidad de diseño de la carretera establecida en máximo 120 Km/h en Chile. Con esta distancia (L_r) se calculan todas las velocidades de restricción (V_r) por las singularidades negativas en la carretera que acortan la visión del conductor por debajo de los 400 m, (curvas, pendientes, cruces viales, obras mayores, etc.), de tal forma que la velocidad reducida requerida (V_r), se calcula teniendo en cuenta que la distancia de visión reducida por bajo los 400 m, sea la suficiente para detener el vehículo en ese espacio reducido que se tiene a la vista. Esta es la misma forma en que se calculan todas las velocidades con restricción en todas las carreteras chilenas.

Tabla 12. Referencias a la visión humana en el Manual de Carreteras

TABLA 3.201.301(1).A
CRITERIOS DE PREDICCIÓN DE LA V_{85} EN FUNCIÓN DE V_p Y L_r
PARA V_p ENTRE 40 Y 120 km/h

Situaciones Posibles		$V_{85\%}$ Determinada por :
Caso I	$L_r (m) > 400$	Longitud de la recta
Caso II	$L_r (m) \leq 400$	Las características de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida

TABLA 3.404.208(1).B
DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CRUCES A NIVEL CON VIAS FERREAS

Velocidad del Tren		Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
km/h	m/s	dvs Tc =12s	dvs Tc=9s	dvd Tc = 13s	dvd Tc = 10s
140	38,9	467 m	350 m	506 m	389 m
120	33,4	400 m	300 m	434 m	334 m
100	27,8	334 m	250 m	361 m	278 m

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3

Por su parte, las normas de seguridad de cruces de EFE y de otros países, establecen entre 500 y 600 m como la visibilidad máxima disponible real (D_r) para los conductores viales en los cruces públicos a nivel:

- Norma de Seguridad de Cruces de EFE versión del 24.11.2006, en su punto 5.2.2. establece que la visibilidad será siempre insuficiente para $D_t > 600$ m.
- Norma de Seguridad de Cruces de Argentina SETOP N° 7 de 1981, en la tabla I) del punto 5.2.3.1.b. establece que para vías férreas de velocidad mayor a 120 Km/h, se establece en 534 m. la visibilidad necesaria en doble vía férrea.
- Informe de la Consultora de Barcelona SENER para el MTT de septiembre de 2013 en su punto 1.2.2.2.2. establece que la visibilidad se califica como insuficiente en caso que la distancia límite de visibilidad requerida exceda los 600 m.

Otros aspectos a considerar respecto de la visibilidad son:

- Depender de la visión del conductor carretero supone el uso obligado de la señal PARE para constatar que no viene tren.
- El valor de L debe ser menor que 30 m, ya que se entiende que es el punto donde el conductor carretero se detiene para proceder a “**pare, mire y escuche**”, para lo cual con 5 m parece suficiente, ya que para ese valor se respeta el gálibo de seguridad de

2,1 m del tren, medido en el eje vía férrea, y concordante con lo que dispone el Manual de Carreteras del MOP para el disco PARE ubicado a 4 m del riel más cercano y visión del conductor a 1,5 m del riel más próximo.

- La velocidad máxima de los trenes, también se debe acotar, y no permitir su crecimiento más allá de lo razonable para un cruce a nivel. Así si $5v = 600 \text{ m}$ resulta una velocidad máxima de $600/5 = 120 \text{ km/h}$ para todos los trenes.
- Para velocidades de tren mayores de 120 km/h , no se puede usar el ojo humano para la visibilidad. Se debe señalar al tren con señalización enclavada con las barreras, que le garanticen seguridad intrínseca al conductor carretero, que el cruce esta expedito para la carretera. Para esto, se debe también retirar la señal PARE. Esta es la modalidad adoptada por los países con ferrocarriles más desarrollados en velocidad, pero solo con velocidades no mayores a **160 km/h**, sobre ella, la desnivelación del cruce es obligada.

Por su parte, L_n son las proyecciones de los obstáculos sobre el eje de la vía en sus 4 cuadrantes mostrados en la figura anterior que indica el rombo de visibilidad. Se deben considerar solo los obstáculos de difícil remoción, además, se entiende que el despaste, roce y tala de la faja vía férrea se debe efectuar permanentemente. Dichos valores serían:

$$f_1 = 1 - \frac{L_1' + L_1''}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-3})$$

$$f_2 = 1 - \frac{L_2}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-4})$$

$$f_3 = 1 - \frac{L_3}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-5})$$

$$f_4 = 1 - \frac{L_4}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-6})$$

A.6.1.1.7 Factores de condiciones locales del camino y la vía férrea (b_i)

Los factores b_i son dependientes de condiciones locales del camino y la vía férrea, esto es, coeficientes amplificadores del Índice de Peligrosidad, que representan las singularidades negativas de cada cruce en particular y que afectan su visibilidad. El Decreto N°38 estima sus valores según la siguiente tabla:

Tabla 13. Valores de los coeficientes b_i

b_1	Gradiente del camino totalizando hasta 8% en ambos lados	0,30
b_2	Gradiente del camino hasta 4% en un solo lado	0,15
b_3	Caminos laterales desembocando dentro de 20 m. desde el cruce	0,15
b_4	Cruce angosto	0,10
b_5	Vías múltiples: doble vía	0,10
b_6	Vías múltiples: vía triple	0,20

b_7	Vías múltiples: vía cuádruple o más	0,30
b_8	Reflejo del sol	0,15

Fuente: Decreto N° 38 (1986)

Dentro de estos factores, el coeficiente $b_5=0,10$ respectivo al caso de **dobles vías**, es recomendable amplificarlo, pues la doble vía férrea presenta características negativas relevantes cuando el cruce está protegido por un banderista automático y no por barreras, ya que estando este banderista activo por la cercanía de un primer tren lento viniendo por una vía, podría un conductor vial impaciente atravesar el cruce estando el banderista aún activo, impactándose con un segundo tren veloz que venga por la segunda vía, cuyo anuncio está oculto por el anuncio del tren primero más lento.

El Decreto N°38 solo considera estos 8 factores, pero se recomienda considerar **factores adicionales que afectan la peligrosidad del cruce**. A continuación se mencionan los más relevantes:

- Reflejos nocturnos de luz artificial (encandilamiento).
- Cruces cercanos a estaciones, con maniobras permanentes.
- Cruces sobre desviadores (aparatos de cambio).
- Sectores de neblina permanente u ocasional.
- Vía Férrea en curva (con peralte).
- Camino en curva (con peralte).
- Cruces cercanos a colegios, hospitales, estadios, etc.
- Vía férrea en que predominan trenes especiales (largos y lentos).
- Carretera en que predominan vehículos carreteros especiales (largos y lentos).
- Más de 2 pistas viales.

Por otro lado, se plantea como ejemplo la descripción de un supuesto: el banderista está activo por la presencia lejana aun de un tren lento de carga, el conductor supone que por eso está activo el banderista, se impacienta por la demora y piensa que puede pasar perfectamente antes que pase el tren lento, pero no considera que por la segunda vía puede venir un tren rápido de pasajeros, que aun cuando el conductor vial no lo vea, puede llegar rápidamente al cruce generándose la colisión. En EEUU se usa el siguiente letrero de advertencia para estos casos.

Ilustración 14. Letrero de advertencia vial para doble vía férrea



Fuente: Consultora SENER, 2014.

Esta situación y otras se dan cuando la vía es mixta (circulan trenes de pasajeros y trenes de carga), ya que, por sus distintas velocidades, se deberían generar tiempos distintos de anuncio.

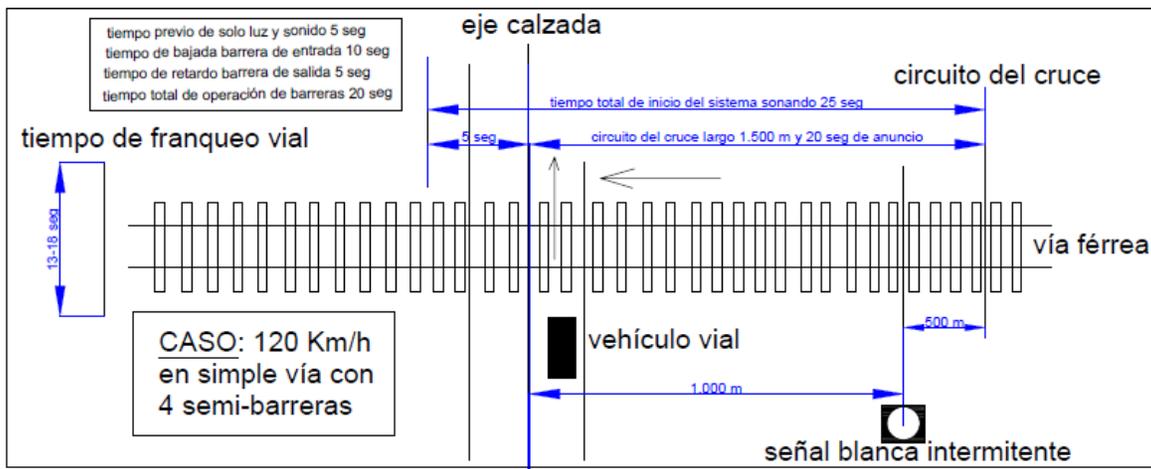
Los tiempos que están involucrados son los siguientes:

- **Tiempo de anuncio** de tren (normalmente 20 segundos). Valores menores implican riesgo de colisión por la demora del vehículo vial en franquear el cruce, y valores mayores implican congestión en la carretera.

- **Tiempo de accionamiento** en la partida del sistema señalizado (el más lento, es el para el caso con barreras de entrada y de salida, con valores que bordean los 20 segundos).
- **Tiempo de franqueo** del cruce por el vehículo vial, con valores que fluctúan entre 13 y 18 segundos.

Se muestra en la siguiente figura estos valores de tiempo, para el caso de barreras dobles, complementadas con una señalización informativa al tren, que le advierte al maquinista si el cruce está protegido y expedito, o no lo está:

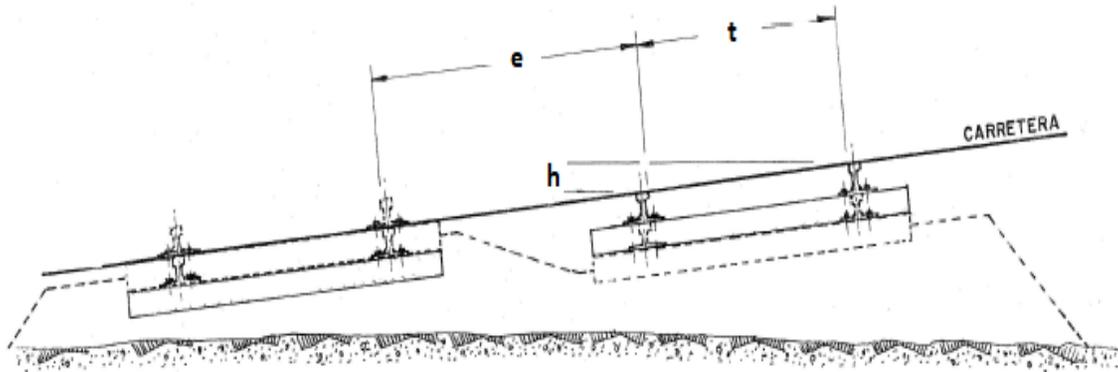
Ilustración 15. Tiempos y Distancias involucradas en un Cruce, caso $V = 120 \text{ Km/h}$



Fuente: Elaboración propia

También, cuando la vía férrea doble está en curva con peralte, se genera un escalonamiento en la carretera, ver figura siguiente:

Ilustración 16. Vía férrea doble con peralte



Fuente: Norma RENFE número NRV 6010

Similar situación se produce cuando es la carretera la que está en curva con peralte.

Aplicando la *Ecuación A.6-1* antes descrita, se obtiene como resultado el valor del **IP** del cruce, el inconveniente de este cálculo es: que integra los 4 parámetros de visibilidad f_n en una sola fórmula, quedando un f_n “malo” oculto por un f_n “bueno”; la fórmula debería trabajar con solo el f_n más perjudicial, es decir, la visibilidad más baja de las 4 del rombo de visibilidad.

A.6.1.1.8 Señalización de los cruces públicos a nivel

Luego, según la legislación vigente del Decreto N°38, se establece el siguiente criterio:

- i. Para todos los cruces ferroviarios públicos a nivel se debe colocar:
 - Señal PARE: a ubicarse a una distancia entre 4 a 10 m del riel más próximo, de modo que permita al conductor buena visibilidad sobre la vía prioritaria para poder reanudar la marcha con seguridad, y que informa al conductor vial que debe detener su vehículo antes de proceder a cruzar la vía férrea. Se debe instalar en el lado derecho de la vía enfrentando la circulación, y es de responsabilidad de la empresa ferroviaria su instalación y mantenimiento.

Ilustración 17. Señal PARE



Fuente: Manual de Señalización de Tránsito, CONASET (2012)

Su diseño debe ser acorde a lo indicado en el Manual de Señalización de Tránsito, el cual indica que *“su propósito es ordenar a los conductores que detengan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.”*

- Cruce ferroviario o Cruz de San Andrés: deben instalarse dos de estas señales preventivas, en el lado derecho del camino por ambos lados del acceso al cruce, enfrentando la circulación. Su función, definida por el Manual de Señalización de Tránsito, es *“indicar, para cada acceso, el lugar donde se ubica el cruce con la vía férrea, por lo que debe ser instalada lo más cerca posible de ésta. En cruces con más de una línea férrea se debe agregar una placa con la leyenda ‘X VÍAS’ para indicar cuantas existen. En el caso particular de esta señal, su cara posterior también deber ser retrorreflectante, ya que en condiciones de visibilidad reducida, por ejemplo en la noche, al pasar un tren, dicha cara es vista en forma intermitente al ser alumbrada por las luces del vehículo”*. Según el Decreto N° 38, debe ubicarse a una distancia entre 100 a 300 m del cruce en zona rural y en caso de que no fueran visibles fácilmente por características del trazado, se las emplazará entre 90 y 150 m del cruce, siendo responsabilidad de la Dirección de Vialidad su instalación y mantenimiento. En zonas urbanas, la distancia de emplazamiento debe ser entre 10 y 30 m, siendo responsabilidad de la Municipalidad respectiva su instalación y mantenimiento.

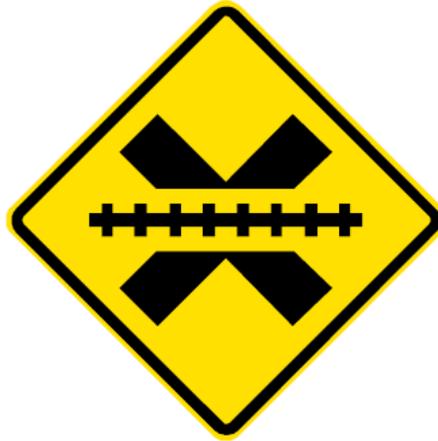
Ilustración 18. Señal Cruz de San Andrés



Fuente: Manual de Señalización de Tránsito, CONASET (2012)

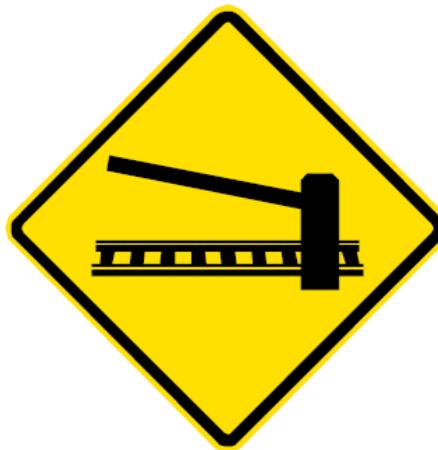
Según el Manual de Señalización de Tránsito, la Cruz de San Andrés es también una señal complementaria a las señales de Cruce Ferroviario a Nivel Sin Barrera y Cruce Ferroviario a Nivel con Barrera, según sea el caso. La primera, empleada para advertir la proximidad de un cruce ferroviario a nivel, en explotación, no provisto de barreras. La segunda, utilizada para advertir la proximidad de un cruce ferroviarios a nivel, provisto de barreras accionadas manualmente o en forma automática.

Ilustración 19. Señal Cruce Ferroviario a nivel sin barreras



Fuente: Manual de Señalización de Tránsito, CONASET (2012)

Ilustración 20. Señal Cruce Ferroviario a nivel con barreras



Fuente: Manual de Señalización de Tránsito, CONASET (2012)

ii. De acuerdo al Índice de Peligrosidad que presente el cruce, además de las señales indicadas en el punto anterior, deberán colocarse señales o dispositivos complementarios mínimos:

- Cuando **$IP \leq 12.000$** : Señal informativa Sin Guarda Cruce a ubicarse a conveniencia entre la señal PARE y la Cruz de San Andrés, y que informa al conductor vial que el cruce no está protegido por dispositivos manuales o automáticos.

Ilustración 21. Letrero SIN GUARDACRUCE

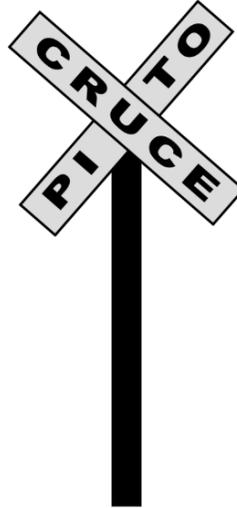


Fuente: EFE (instructivo señales de advertencia)

También puede anexar la información de horarios, por ejemplo: “Con guarda-cruce solo de 7 a 19 horas”.

Además, se considera la instalación de una Cruceta CRUCE PITO, que se coloca en la faja ferroviaria a unos 500 m del cruce a ambos lados de este, advirtiendo a los maquinistas la proximidad del cruce.

Ilustración 22. Cruceta CRUCE PITO



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Señalización_ferroviaria_en_Chile

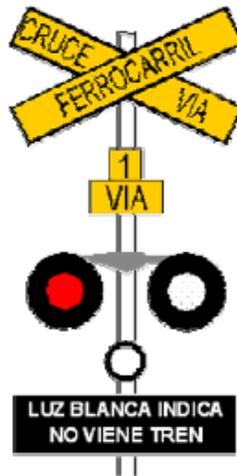
- Cuando **IP > 12.000** se exige **señalización automática** “luminosas y sonoras o barreras de accionamiento manual o mediante energía eléctrica, las que se instalarán a una distancia mínima de 3 m del riel más próximo. Estas pueden ser de los siguientes tipos:

- Banderista automático, dispositivo sonoro-luminoso automático, operando 24x7.

Están constituidos por señales ópticas destellantes y señales acústicas, además de la señalización fija ya descrita. Las señales activas de aviso, en tráfico vial bidireccional se colocan en ambos lados, del lado derecho del camino, y están constituidas por:

- ✓ Un conjunto de dos reflectores rojos, que destellan en forma alternativa ante la detección de la aproximación de un tren.
- ✓ Un reflector blanco lunar, normalmente encendido cuando no hay trenes en aproximación, con la sigla “LUZ BLANCA INDICA NO VIENE TREN”.
- ✓ Un gong, campana, timbre o sirena que funciona en forma simultánea con las luces rojas.
- ✓ Los tiempos involucrados, se indican en la memoria del banderista, suministrado normalmente por el fabricante, de acuerdo con los parámetros del cruce (visibilidad requerida versus la disponible, velocidad máxima de trenes, singularidades negativas del cruce, flujos de tráfico vial y ferroviario, etc.).

Ilustración 23. Ilustrativo LUZ BLANCA INDICA NO VIENE TREN



Fuente: Memoria Consultora LIBRA-REDEFE sección 6 (2003)

En la experiencia del Consultor, en Chile el letrero LUZ BLANCA INDICA NO VIENE TREN no es considerado una garantía para los

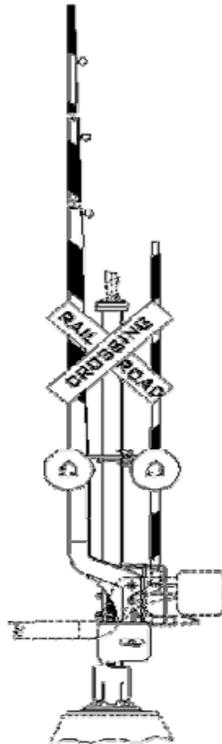
conductores, en particular cuando se les impone el letrero PARE, debido a la habitualidad que genera este último para cerciorarse que no viene tren, todo esto dependiendo de la visibilidad disponible.

- Barreras automáticas operando 24x7 (caso de 2 barreras y caso de 4 barreras por cruce).

Los cruces protegidos por barreras automáticas tienen, además de las barreras, las señales ópticas destellantes y señales acústicas ya descritas es decir, cumplen también con la función del banderista. Hay diversas clases de barreras automáticas. Según su tamaño, la norma EFE-NSF-51-001 distingue entre las barreras completas, que bloquean la totalidad de la calzada, y las semi-barreras, que bloquean a lo menos el 85 % de la calzada en el correspondiente sentido de circulación. Según la cantidad de barreras, éstas pueden ser de 1 a 4:

- ✓ 1 barrera en calles o caminos de circulación unidireccional.
- ✓ 2 semi-barreras en calles o caminos de circulación bidireccional.
- ✓ 4 semi-barreras en calles o caminos de circulación bidireccional y de alto tráfico vial (2 barreras de entrada y 2 barreras de salida).

Ilustración 24. Ilustrativo Barreras Automáticas



Fuente: Manual de consultor LIBRA REDEFE-Sección.06-Cruces

- Para fallas del sistema señalizado del cruce, se debe operar con guarda-cruce humano o señalero, y colocar el letrero: PELIGRO BANDERISTA NO FUNCIONA, operando de 07:00 a 19:00 horas y si el tráfico carretero o ferroviario es intenso, debe funcionar las 24 horas.

A.6.1.1.9 Observaciones respecto al Decreto N° 38

- i. Complementan el Decreto N°38 otros 3 decretos supremos, que nominan todos los cruces de EFE, en su artículo 1° los con **IP ≤ 12.000** y en su artículo 2° los con **IP > 12.000**.

Los cruces nominados en el artículo 1° llevan solo señalética fija y los del artículo 2° deben llevar señalización automática (banderista automático o barreras).

1. Decreto Supremo N° 500 del 31.08.1962 Primera nómina de cruces de la red sur de EFE (Referencia 1 de este informe).
2. Decreto Supremo N° 405 del 08.07.1964 Primera nómina de cruces de la red norte de EFE (Referencia 2 de este informe).
3. Decreto Supremo N° 252 del 07.01.1995 Segunda nómina de cruces de la red sur de EFE (Referencia 3 de este informe).

Estos decretos requieren su actualización permanente, fundamentalmente por razones legales y jurídicas, al menos 1 vez cada 5 años.

- ii. El Decreto N°38 no indica un valor límite del Índice de Peligrosidad o del Momento de Circulación que hagan recomendable **suprimir el cruce**, ya sea desnivelándolo o simplemente reemplazarlo por algún paso desnivelado cercano.

A.6.1.2 Normas Internas de EFE

EFE ha promulgado a nivel interno diversas normas relacionadas con la seguridad de los cruces, las que tienen carácter de oficiales dentro de su red, es decir, se han aplicado y regido la intervención de los cruces en la red EFE por varias décadas. Algunas de ellas han sido derogadas y reemplazadas por otras, por la razón de tener que modificar los valores frontera de los indicadores de la seguridad de los cruces.

A.6.1.2.1 Norma de seguridad

La última versión vigente de la norma de seguridad de cruces de EFE es la norma NS-01-05-00 versión cuarta del 06.01.2017. Ella reproduce en todas sus partes el mismo texto del Decreto N°38, para el cálculo del Índice de Peligrosidad.

Como valores límite indica en 25 segundos el tiempo mínimo para completar la bajada de barreras, valor que se debe tener en cuenta según la velocidad máxima de los trenes y el tiempo de respuesta de los dispositivos de señalización utilizados. No se pronuncia de otros valores límite como: la velocidad máxima de los trenes, la visibilidad mínima requerida en metros, el ángulo mínimo del cruce respecto de 100°, y los valores del Índice de Peligrosidad o Momento de Circulación para recomendar la desnivelación.

Además, a modo de soluciones de emergencia, indica:

- ✓ Rebajar las velocidades de los trenes en el entorno del cruce a 100 km/h, esto ocurre para las vías Clase D, E y F, y establecerlo como una prevención permanente de velocidad.

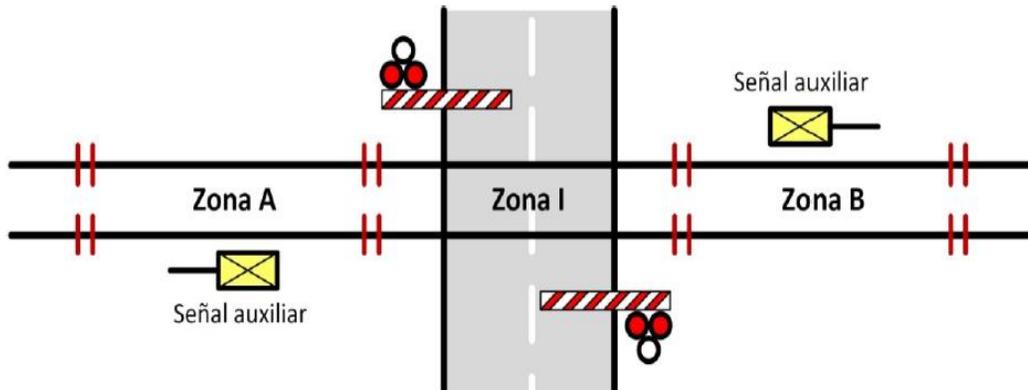
Tabla 14. Velocidades máximas según Clase de vía férrea EFE

Clase de Vía	Velocidad Máxima Trenes de Carga [km/h]	Velocidad Máxima Trenes de Pasajeros [km/h]
Clase A	20	30
Clase B	40	50
Clase C	65	100
Clase D	100	130
Clase E	130	160
Clase F	160	180

Fuente: NS-01-05-00 de EFE (2017)

- ✓ Recomienda que en líneas de velocidad superior a 100 km/h no se permita la existencia de cruces a nivel.
- ✓ Aun habiendo banderista automático o barreras, reforzar la seguridad con guarda-cruce para velocidad superior a 100 km/h.
- ✓ Colocar “**señal auxiliar**” al tren de apoyo informativo al maquinista del estado del cruce, señal enclavada con la señalización del cruce, ver el diagrama siguiente:

Ilustración 25. Ilustrativo de señal auxiliar para el tren

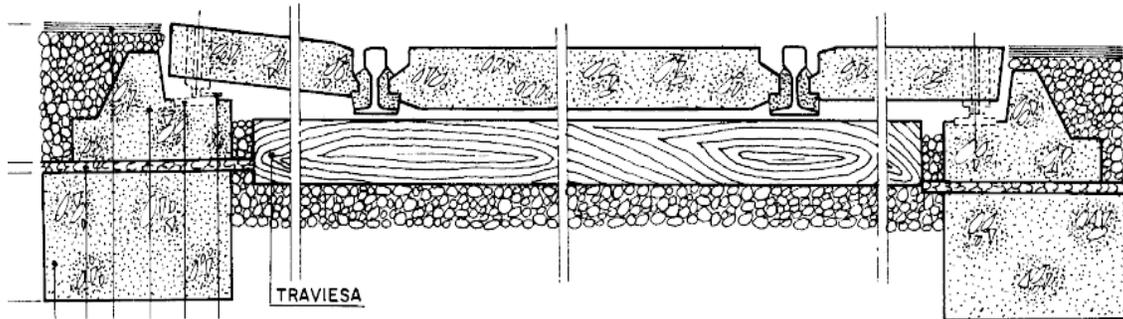


Fuente: Consultora SENER

A.6.1.2.2 Norma técnica

La última versión vigente de la norma técnica de cruce de EFE es la norma NT-01-05-00 versión cuarta también del 06.01.2017. Fundamentalmente se refiere a las características de las carpetas de rodado, eso sí, no menciona la más usada en los ferrocarriles desarrollados de Europa, la que corresponde a losetas flotantes, que se muestran en la figura siguiente:

Ilustración 26. Ilustrativo Losetas flotantes



Fuente: Norma RENFE N° NRV 6010

Indica también la necesidad de colocar señalización automática adicional al tren, dichas señales le dan información al maquinista del estado actual del cruce, estas señales se deben diferenciar en su aspecto de las señales de tráfico para movilización de los trenes. Tampoco se pronuncia de otros valores límite como: la velocidad máxima de los trenes en km/h, la visibilidad mínima requerida en metros, el ángulo mínimo del cruce respecto de 100^g, y los valores del IP o MC para recomendar la desnivelación.

Existen otras versiones anteriores de normas de cruces de EFE, que entendemos están derogadas, las mencionamos a título informativo:

- La norma de seguridad de cruces de EFE número NS-01-05-00 versión 1ra del 24.11.2006, define 6 categorías de cruces, según sus MC y visibilidad disponible (similar al criterio español), cada categoría define la señalización necesaria. No indica valores del MC que recomiende desnivelar el cruce. Aplica 2 fórmulas en función de la velocidad máxima de los trenes, vehículos viales largos y lentos, y el número de vías férreas para el cálculo de la visibilidad requerida, comparándola con la visibilidad disponible y deducir si la visibilidad es suficiente o insuficiente, aplicando

esas fórmulas para la visión máxima humana de 600 m. resultan velocidades mayores a 200 km/h en doble vía, lo que entendemos es excesivo. La norma es válida solo hasta calzadas viales de un máximo de 2 pistas por sentido cantidad elevada para el contexto chileno. Define tiempos de anuncio de hasta 45 segundos, lo que también parece excesivo. Establece en 3 años el plazo para regularizar la señalización de los cruces existentes. En el punto 6.7.1 dice: En líneas de velocidad máxima de 160 km/h o superior no se permita la existencia de cruces a nivel.

- La norma de seguridad de cruces de EFE número NSF-51-001 versión 00 del 28.03.2002, es muy similar a la anterior norma de seguridad de cruces.
- La norma técnica de cruces de EFE número EFE-NT-01-05-00 versión 01 del 24.11.2006, es muy similar a la anterior norma técnica de cruces. Básicamente se refiere a las OCCC del cruce, como su carpeta de rodado y sus accesos viales, cierros, drenaje y otros.

A.6.1.2.3 Norma de Seguridad de EFE (derogada) redactada con criterio similar a la normativa española

Esta norma, si bien fue derogada, es relevante para este estudio debido a que utiliza un criterio similar a la normativa española (para mayor detalle de esta última, su análisis se presenta en el punto A.6.2.3 del presente capítulo).

Se establecen 6 categorías, según el valor creciente del Momento de Circulación en las 12 horas de luz natural, valor castigado en un 15% para estimar y agregar el tráfico nocturno.

A diferencia del Decreto N°38 no incluye las bicicletas u otro móvil de tracción humana y tampoco los peatones. Sí incluyen los vehículos de tracción animal.

Ilustración 27. Categoría y valores MC con Visibilidad

Categoría 1	$MC \leq 5.000$	con visibilidad suficiente
Categoría 2	$MC \leq 5.000$	con visibilidad insuficiente
Categoría 3	$5.000 < MC \leq 50.000$	con visibilidad suficiente
Categoría 4	$5.000 < MC \leq 50.000$	con visibilidad insuficiente
Categoría 5	$50.000 < MC \leq 100.000$	con visibilidad suficiente
Categoría 6	$50.000 < MC \leq 100.000$	con visibilidad insuficiente

Fuente: Norma EFE de seguridad de cruces 2006 (derogada)

Un borrador de Decreto para modificar el Decreto N°38 del MTT agrega las siguientes disposiciones:

- Para la categoría 1 la velocidad máxima permitida es de 100 km/h, además es válida solo para simple vía.
- Para las categorías 2, 3 y 4 la velocidad máxima permitida puede ser mayor que 100 km/h, pero no indica tope superior, además es válida también solo para simple vía.
- Para las categorías 5 y 6 la velocidad máxima permitida puede ser mayor que 100 km/h, pero no indica tope superior, además es válida para doble vía (paso simultáneo de 2 trenes).
- El cruce se debe desnivelar para:
 - o $V > 160$ km/h.
 - o $MC > 100.000$
- No explicita si puede considerarse optativo el disco PARE.
- Acorta de 5,0 a 3,5 m la distancia del vehículo detenido hasta al riel más cercano (punto de visión del conductor vial).
- El tiempo de reacción de un conductor vial lo fija en 3 segundos para vehículo en movimiento y en 2 segundos para vehículo detenido.
- La tasa de desaceleración de los vehículos viales los fija según la siguiente tabla:

Tabla 15. Tasa de desaceleración de los vehículos viales

Velocidad de Aproximación (Km/hr)	Tasa de Desaceleración [f] (m/s^2)	
	Camino pavimentado	Camino sin pavimentar
10	0,73	0,55
20	0,66	0,50
30	0,60	0,45
40	0,56	0,42
50	0,52	0,39
60	0,48	0,36
70	0,45	0,34
80	0,43	0,32
90	0,41	0,31
100	0,39	0,29
110	0,37	0,28

Fuente: Memoria CHENA

- La tasa de aceleración de los vehículos viales los fija según la siguiente tabla:

Tabla 16. Tasa de Aceleración de los Vehículos

Tipo de Vehículo	Tasa de Aceleración a (m/s^2)
Vehículos Livianos	0,50
Semi Trailer	0,26
Trailer	0,22

Fuente: Memoria CHENA

- Los periodos de actualización de los cálculos del Momento de Circulación son los siguientes:

Tabla 17. Periodos de actualización de los cálculos de MC

Caso	Periodo de Medición
Cruces Urbanos (sin demanda crítica)	2 años
Cruces con demanda crítica	1 año
Otros cruces	5 años

Fuente: Memoria CHENA (2011)

En que **demanda crítica**, se entiende por la que se da cuando se alcanza el 90% del MC de la categoría en que dicho cruce ha sido clasificado.

También establece 3 fórmulas para calcular la distancia de visibilidad del conductor vial:

1. d_v = Es la distancia mínima de visibilidad en metros, medida desde la línea de detención (ubicada a 3,5 m. del riel más cercano) hacia atrás, a la cual un conductor (observador a 1,5 m. de altura), debe estar en condiciones de ver un tren para alcanzar a detenerse antes de ingresar al cruce. Esta distancia está definida en el Volumen 3 del Manual de Carreteras del MOP, en su tabla 3.201.301 (1) A, y vale mínimo 400 m para $V = 120$ km/h.
2. d_{T1} = Es la distancia mínima en metros a lo largo de la vía férrea a la cual el conductor detenido antes del cruce, puede franquearlo en forma segura si este está expedito.
3. d_{T2} = Es la distancia mínima en metros requerida a lo largo de la vía férrea a la cual el conductor situado a d_v del cruce, debe ser capaz de ver un tren que se aproxima para pasar sin obligación de detenerse.

Cálculo de las distancias de visibilidad de la norma EFE de seguridad de los cruces de 2006 (derogada):

La norma chilena trabaja con 2 distancias, a diferencia de la normativa española que trabaja con solo 1 distancia. Por otro lado, no se aplica el Rombo de Visibilidad para calcular la visibilidad, solo se aplican 2 formulas básicamente en función de la velocidad y no de la morfología del cruce; la visibilidad en metros se obtiene en forma similar a la normativa española, variando un poco los coeficientes, calculando las distancias R_1 y R_2 , y optando por la mayor como la distancia requerida, las fórmulas son:

$$R_1 = 0,8 * V\sqrt{(n + 5,6)} \quad \text{(Ecuación A.6-7)}$$

Donde:

- ✓ R_1 = Visibilidad Requerida. Es la distancia mínima para un observador (conductor) situado sobre la carretera, en la pista por la que se aproxima al cruce, y a 5 metros del riel más cercano y a 1,5 metros de altura, el tren más rápido debe ser visible desde ambos lados del cruce a nivel y antes de llegar a él.

Por otro lado, en terreno se mide la “**Visibilidad Real**”, tomando la menor de las 4 visibilidades del rombo, distancia necesaria que debe ser mayor comparado con el valor de R_1 o R_2 expresada en metros.

- ✓ V = Es la velocidad máxima de trenes por el sector del cruce.
- ✓ n = Es el número de vías férreas del cruce.

En caso que la velocidad aumente, aumentará el valor de R_1 . Si la distancia R_1 resulta mayor que la visibilidad real, el cruce califica de **visibilidad insuficiente**.

Si la visibilidad requerida resulta mayor que 600 m, el cruce en cualquier caso se calificará también como de **visibilidad insuficiente**.

En la misma norma, se define una segunda distancia llamada R_2 , dada por:

$$R_2 = (3,4 + 0,7n) * V \quad \text{(Ecuación A.6-8)}$$

En que R_2 , n , y V tienen las mismas definiciones que en el caso anterior.

Se usa esta segunda expresión cuando el cruce es muy utilizado por transportes especiales largos y lentos y/o rebaños de animales, que no excedan la velocidad de 10 km/h.

El límite igualmente está dado por la visibilidad real o por 600 m., es decir, en caso que las distancias al cruce, R_1 y R_2 , sean mayores que la visibilidad real o 600 metros, la **visibilidad se calificará siempre como insuficiente**.

Los requisitos de seguridad por categoría son los siguientes:

Tabla 18. Tipo de señalización

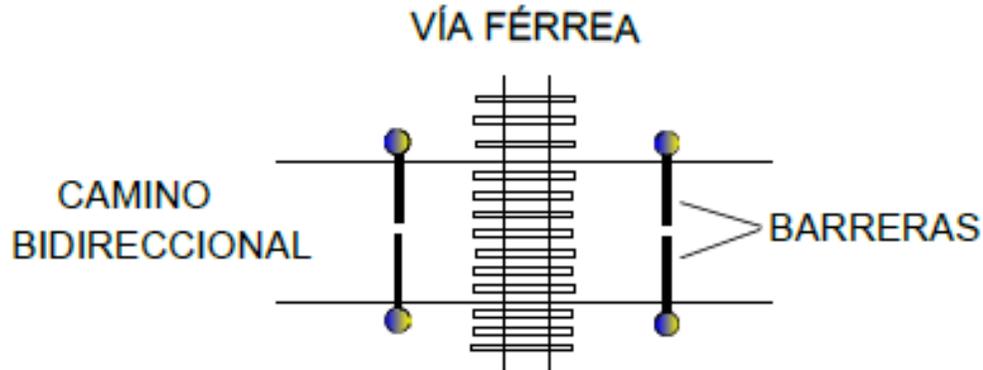
Categoría		Tipo de Protección
1	MC < 5.000	Señalética Fija
2	MC < 5.000	Señalética Fija + Activa (Banderista Automático)
3	MC < 50.000	Señalética Fija + Activa (Banderista) + Pasarela peatonal Obligada
4*	MC < 50.000	Señalética Fija + Activa (Banderista) + 2 semi-barreras + Pasarela
5*	MC < 100.000	Señalética Fija + Activa (Banderista) + 2 semi-barreras + Pasarela
6	MC < 100.000	Señalética Fija + Activa (Banderista) + 4 semi-barreras + Pasarela

Fuente: Norma EFE de seguridad de cruces 2006 (derogada).

(*) Las categorías 4 y 5 que parecen iguales, se diferencian por la visibilidad: en la 4 la visibilidad es suficiente y en la 5 es insuficiente.

Para clarificar el concepto de **4 semi-barreras**, se adjunta el siguiente esquema:

Ilustración 28. Esquema tipo de barrera doble en vía férrea (de entrada y salida).



Fuente: Consultora SENER (2014)

Este nuevo criterio plantea, aunque solo en forma no tácita, la necesidad de **desnivelar** los cruces públicos a nivel, recién pasado un cierto límite ($MC > 100.000$).

La norma no considera la geometría de visibilidad, entonces se omiten en el cálculo sus singularidades negativas, como: el ángulo del cruce y otras singularidades negativas que sí se encuentran indicadas en el Decreto N°38 (factores b_i).

A.6.2 Análisis normativo Internacional

De los 5 casos de países extranjeros estudiados en el capítulo *A.5 Revisión de experiencia comparada*, se consideran para un mayor análisis 3 de ellos, por su significativa implicancia en la futura proposición a la normativa chilena. Estos países son Estados Unidos, Argentina y España, según se indica a continuación.

A.6.2.1 Estados Unidos

En EEUU, para cada cruce en el que se identifique presencia de peligro, una comisión analiza sus singularidades negativas, resolviendo las medidas a tomar. Por lo que a diferencia de Chile, el modo ferroviario en Estados Unidos no usa el Índice de Peligrosidad como un valor que determine la señalización a ocupar o la condición para desnivelar el cruce, más bien mide la potencialidad de que ocurran accidentes.

El Índice de Peligrosidad de EEUU se calcula con una fórmula particular (*Fórmula A.5-1*), considerando ciertos parámetros, como por ejemplo la señalética previamente existente en un cruce. Lo anterior es lo opuesto al cálculo que se realiza en Chile, donde el IP determina la señalización.

A.6.2.1.1 Principales disposiciones

A continuación se presentará un ejemplo aplicando la *Fórmula A.5-1* que permite determinar el IP y sus respectivas variables, expuestas en el punto *A.5.2.1 Estados Unidos*. Esta fórmula y variables serán aplicadas a 3 cruces ficticios, ello para visualizar la tendencia del Índice de Peligrosidad, según las particularidades de cada cruce (para mayor detalle ver **Anexo 2 – Estándares Alternativos** bajo el *2.2 Ejemplos Método EEUU.xlsx*).

Ilustración 29. Ejemplo formulación de variables en 3 cruces ficticios (método EEUU)

Índice de Riesgo = K * EL * MT * DT * HP * MS * HT * HL		Parámetros característicos del cruce		
SÍMBOLO	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CRUCE	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3
c	media anual de vehiculos diarios	10.000	15.000	5.000
t	media anual de trenes diarios	20	10	15
mt	número de vías férreas	1	2	3
d	Nº promedio de trenes diarios por día durante el día	10	10	15
hp	camino pavimentado = 1 / camino de tierra = 2	2	1	1
ms	velocidad máxima del tren en Km/h	160	100	80
hl	número de pistas del camino	1	2	4
ht	factor de carretera de 1 a 6 (vale 1 para autopistas)	2	3	1

Fuente: Elaboración propia, everis 2019.

Se indica a continuación la tabla con los valores numéricos correspondiente a cada celda con su fórmula, son 8 campos de fórmulas, 3 tipos de señalización para 3 cruces distintos:

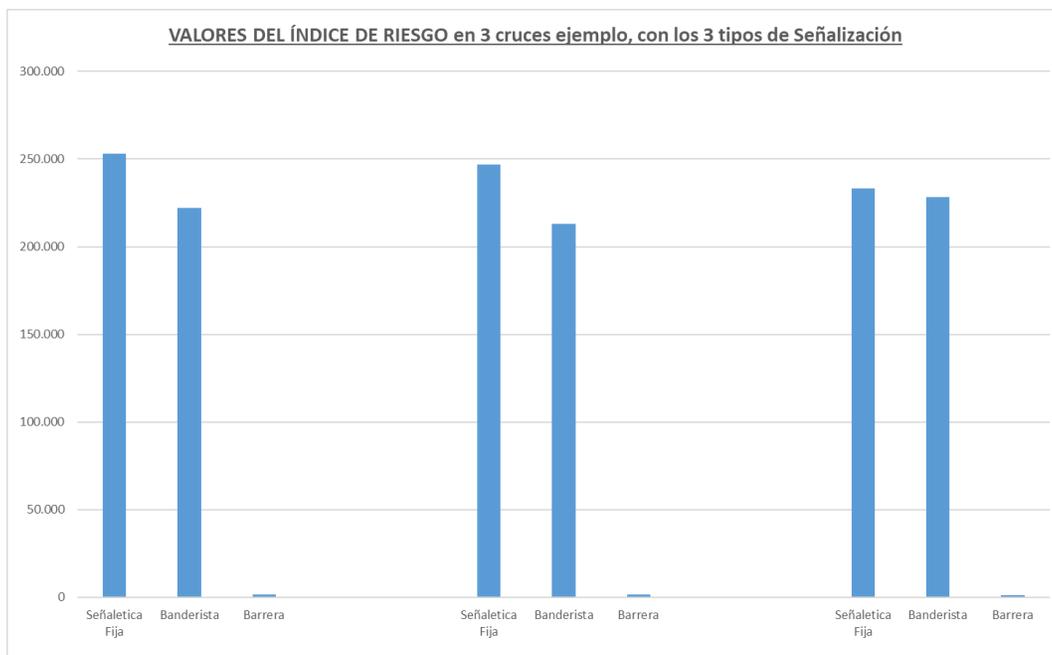
Ilustración 30. Ejemplo formulación de las variables en 3 cruces ficticios

Tipo Señalización (da la categoría del cruce)	K	EL	MT	DT	HP	MS	HT	HL	Índice de Riesgo según el Tipo de Señalización
									Ejemplo 1
Señalética Fija	0,0023	1.000.002,9237	1,2329	54,0326	0,5401	3,4281	0,9048	1,0000	253.126
Banderista	0,0036	1.000.003,1086	1,1149	54,6357	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	222.099
Barrera	0,0011	1.000.003,0281	1,3380	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1.456
									Ejemplo 2
Señalética Fija	0,0023	750.002,9237	1,5201	54,0326	1,0000	2,1598	0,8187	1,0000	247.054
Banderista	0,0036	750.003,1086	1,2431	54,6357	1,0000	1,0000	1,0000	1,1480	213.202
Barrera	0,0011	750.003,0281	1,7903	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,1092	1.620
									Ejemplo 3
Señalética Fija	0,0023	375.002,9237	1,8742	79,0326	1,0000	1,8515	1,0000	1,0000	233.256
Banderista	0,0036	375.003,1086	1,3860	79,6357	1,0000	1,0000	1,0000	1,5129	228.303
Barrera	0,0011	375.003,0281	2,3955	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,3645	1.334

Fuente: Elaboración propia, everis 2019.

Para visualizar el comportamiento del valor matemático del Índice de Peligro en los 3 cruces de ejemplo, se muestra su tendencia en el siguiente gráfico:

Ilustración 31. Valores del Índice de Riesgo



Fuente: Elaboración propia, everis 2019.

Se observa que, con el uso de barreras, se baja considerablemente el Índice de Peligrosidad, por sobre la señalética fija y los banderistas automáticos. Por esta razón las barreras actuales incluyen las acciones de los banderistas, usándose por tanto, solo barreras.

A.6.2.1.2 Conclusiones

- No se usa la visibilidad en los cálculos del Índice de Peligrosidad, lo que hace suponer, que esta se considera siempre “suficiente”, es decir, la visibilidad real o disponible en terreno para el conductor vial debe ser idealmente de 600 m en cualquiera de los 4 sentidos del rombo de visibilidad, que corresponde al máximo alcance del ojo humano (ver A.6.1.1.6 *Visibilidad*). Para $V_{MÁX}$ de tren = 160 km/h se requieren 505,52 m en doble vía y 473,89 m en simple vía. Para $V_{MÁX}$ de tren = 100 km/h se requieren 315,95 m en doble vía y 296,18 m en simple vía.
- Tampoco se usan en los cálculos del Índice de Peligrosidad diversas singularidades negativas que si se usan en Chile para los cálculos del IP (ver A.6.1.1.7 *Factores de condiciones locales del camino*).
- Se infiere que es recomendable el uso de barreras automáticas por sobre los banderistas automáticos.
- En términos generales, no se sugiere generar una metodología de cálculo de la peligrosidad de los cruces públicos a nivel en Chile basada en el criterio estadounidense, básicamente porque no pondera importantemente la visibilidad.

A.6.2.2 Argentina

A.6.2.2.1 Principales Disposiciones

El cálculo del Índice de Riesgo, R , (ver *Ecuación A.5-2*) es un símil al cálculo del Índice de Peligrosidad utilizado en Chile.

Con la formulación del índice de Riesgo expuesta anteriormente en el ítem A.5.2.2.1 *Normas y Criterios Argentina* se pudo observar algunos puntos claves de esta metodología:

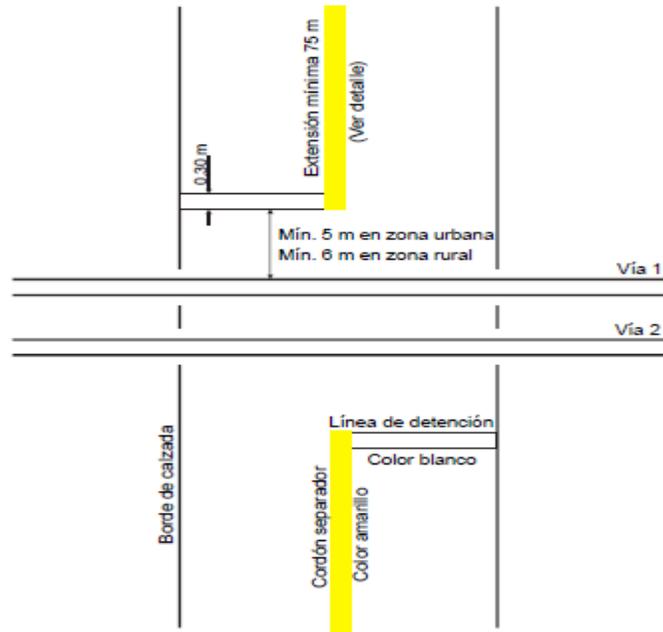
- R es el producto de 6 factores diferentes, pero integrados en una sola fórmula, que no permite visualizar cada factor por separado, como una condición independiente a cumplir según su valor frontera particular de ese factor. Así, un factor muy malo, se neutraliza con otro factor muy bueno, quedando R en el mismo valor. **Este mismo defecto lo tiene la norma chilena de cálculo del Índice de Peligrosidad según el Decreto N°38.**
- R no integra en su cálculo matemático si la visibilidad es suficiente o insuficiente.
- R no considera otros factores si considerados en Chile, particularmente las singularidades negativas del cruce (ver A.6.1.1.7 *Factores de condiciones locales del camino y la vía férrea*).
- R si considera un factor importante no considerado en Chile, $f_3 = 0,2$ cuando el cruce presenta un historial de accidentes elevado.
- No se definen el valor máximo de R para desnivelar el cruce.
- No define un valor máximo para la velocidad de los trenes, que implique desnivelar el cruce.
- Tampoco participa la velocidad máxima de los trenes en la fórmula que calcula el valor del Índice de Riesgo.
- Tampoco define un valor máximo de Momento de Circulación para desnivelar el cruce. Esto es, según el volumen de los flujos ferroviarios y camineros.

A.6.2.2.2 Otras disposiciones

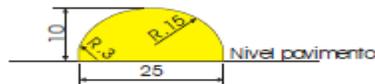
- Define como criterio general para desnivelar un cruce, cuando la visibilidad es insuficiente y la velocidad de los trenes es mayor que **60 km/h**, independiente del valor del Momento de Circulación.
- En los cruces públicos a nivel existentes, en que sea satisfactoria la visibilidad y el Índice de Riesgo sea menor a **12.000** será suficiente colocar **señalización pasiva**, de lo contrario, se deberá proveer señalización activa o efectuar la desnivelación del cruce.

- Las condicionantes constructivas que se establezcan, serán obligatorias para todos los cruces nuevos, y para los cruces antiguos estos cruces serán adecuados a dichas condiciones constructivas nuevas:
 - Los drenajes del cruce deben quedar fuera de la faja ferroviaria.
 - La visibilidad de las señales debe estar despejada de obstáculos arbóreos u otros.
 - Tener calzadas apropiadas (tipo, anchos, pendientes, etc.)
 - Carpeta de rodado apropiada (tipo, ancho, removible, etc.)
 - Las calzadas con doble sentido de circulación, deben llevar una **solera o cordón separador de los sentidos opuestos**, de 75 m de largo medidos a partir del punto de detención vehicular. Esta medida es muy importante, porque **impide que un conductor impaciente franquee el cruce por pista contraria**, esto hace innecesario usar barreras de salida, que se usan para este fin, pero que son de alto riesgo, pues pueden quedar vehículos menores atrapados entre las barreras de entrada y salida.

Ilustración 32. Diagrama de Calzada de Doble Sentido (machones o cordón separador)



Detalle cordón separador. Sección transversal
Medidas en centímetros



Fuente: Normativa Argentina

- Línea de detención vehicular, debe ser a 5 m del riel más cercano en caminos urbanos y 6 m del riel más cercano en caminos rurales.
- En correspondencia con cada cruce, además de la calzada vehicular, habrá una acera peatonal adecuadamente diferenciada de la calzada, esta disposición será una obligación en las zonas urbanas.
- Defensas apropiadas del cruce:

- Se cercará la zona vedada a los peatones en las proximidades del cruce con cierros transparentes (rejas).
- Se asegurará el ingreso guiado de los peatones al cruce peatonal, con dispositivos como laberintos o torniquetes.
- Sistema de Barreras:
 - Al acercarse un tren al cruce, la activación de la luz roja y la campanilla deberá iniciarse como mínimo 5 segundos antes, que comience el descenso de las barreras.
 - Para barreras dobles, la separación entre los extremos de los brazos de las barreras, no será mayor a 1,5 m para impedir que pase algún vehículo vial.
 - Las barreras deberán encontrarse completamente abajo, antes de la llegada del tren al cruce, asegurando que los vehículos carreteros dispongan siempre del tiempo necesario para despejar el cruce. Normalmente es el proveedor del sistema señalizado que define los “tiempos” involucrados y sus holguras de seguridad.
 - Los semáforos viales de calles concurrentes a un cruce, deberán ser subordinados y coordinados en su operación al funcionamiento de las barreras.
- Todos los cruces a nivel nuevos se considerarán habilitados en carácter precario, por el término de 2 años desde la fecha de apertura al uso público.
- La prioridad en el mejoramiento de la señalización ferroviaria de un cruce, debe respetar el siguiente orden de prioridades:
 - Donde ocurran más colisiones.
 - Donde se incrementa significativamente el flujo de trenes.
 - Donde se incrementa significativamente el flujo de vehículos viales.
 - Donde es mayor la velocidad de los trenes.
 - En carreteras principales.

A.6.2.2.3 Conclusiones

- No se explicita el necesario cumplimiento simultáneo de ambos requerimientos básicos: el Momento de Circulación y la visibilidad.
- No se definen indicadores con valores máximos que hagan aconsejable desnivelar el cruce.
- No se refiere a la posibilidad de liberar el cruce de la señal PARE, lo que podría ser en cruces rurales con muy buena visibilidad. En tal caso, el punto de observación del conductor vial, puede ser de: 60 m en caminos de tierra y 120 m en caminos pavimentados.
- De la lectura de la norma argentina, se concluye que la señalización pasiva corresponde a la señalética fija, y que la señalización activa corresponde a banderistas automáticos o barreras. Se observa que la norma está orientada solo al sistema de barreras, ya que no se refiere a los banderistas automáticos.
- En términos generales, no se sugiere generar una metodología de cálculo de la peligrosidad de los cruces públicos a nivel en Chile basada en el criterio argentino, fundamentalmente pues no indica valores para desnivelar, que es uno de los objetivos principales de este informe.

A.6.2.3 España

La normativa española que rige la seguridad de los cruces públicos a nivel, fue promulgada por el BOE (Boletín Oficial del Estado español que emite la legislación ya consolidada) el 02.08.2001, por el que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres del ministerio de fomento español, en materia de supresión y protección de los cruces públicos a nivel.

Esta ley establece un marco normativo más adecuado y moderno, que **permite proceder a la supresión del mayor número posible de pasos a nivel, y mejorar los niveles de protección de los subsistentes, a fin de reducir los riesgos de accidentes en los mismos.**

La norma cuantitativamente está basada en el cálculo del Momento de Circulación (*Ecuación A.5-3*), analizando en forma separada los requerimientos de visibilidad necesarios.

Respecto de la velocidad máxima permitida para los trenes en el cruce, esta no es imperativa, dando solo valores límite como recomendaciones.

Una disposición que parece interesante, es la no obligación de los conductores de vehículos viales de detenerse antes del cruce, lo que hace suponer que dichos conductores reciben información adicional a su visión directa, mediante señalización automática, que informa con seguridad absoluta que la vía férrea en el cruce está totalmente expedita para su franqueo.

A.6.2.3.1 Principales Disposiciones

- De conformidad con lo establecido en el artículo 235.1 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres (ROTT), los cruces de caminos con líneas férreas que se produzcan por el nuevo establecimiento de cruces a nivel, o la modificación de unas u otras, deberán en todo caso realizarse siempre a distinto nivel.
- Únicamente con carácter excepcional, y por causas absolutamente justificadas podrá autorizarse el establecimiento provisional, por el tiempo estrictamente preciso, de nuevos pasos a nivel, los que en todo caso, deberán estar protegidos con arreglo a lo dispuesto en la presente norma.
- Los organismos o entidades que tengan a su cargo las carreteras y caminos y la infraestructura ferroviaria procederán a ejecutar las actuaciones precisas que le corresponden en materia de pasos a nivel, de conformidad con los plazos que las disposiciones presupuestarias de cada uno permitan, y conforme con los convenios que, en su caso, pudieran establecerse a dicho efecto.

- Se indican los siguientes valores frontera para requerir la desnivelación de cualquier cruce.
 - o Velocidad Máxima > 160 km/h.
 - o Momento de Circulación > 1.500
- En aquellos tramos de línea férrea en los que la distancia entre pasos a nivel contiguos sea igual o inferior a 500 m, deberá procederse a su concentración en un solo paso, enlazándolos entre sí, mediante los caminos paralelos a la vía férrea que resulten necesarios. Esta obligación se hace recomendable también para cruces que distan menos de 1.000 m entre ellos.
- En todo proyecto de duplicación de vía férrea o modificación del trazado de las actuales vías férreas, deberá preverse la supresión de los pasos a nivel existentes.
- De conformidad con lo establecido en el artículo 235.8 del ROTT, cuando proceda cualquier actuación para garantizar la seguridad de cualquier cruce, en forma recíproca, cada entidad responsable ya sea de la carretera o vía férrea, podrá exigir a la contraparte el cumplimiento de lo que le corresponda de dicha actuación.
- En aplicación de lo dispuesto en el artículo 287.10 del ROTT, la construcción de nuevas urbanizaciones y centros o establecimientos tales como: hospitales, centros deportivos, docentes, culturales, industriales u otros equipamientos equivalentes, implicará la obligación de construir un cruce a distinto nivel y el confinado (cierros) de la zona adyacente al ferrocarril. En Chile particularmente en Temuco, Coronel y otras ciudades, se han construido grandes barrios residenciales, manteniendo los cruces a nivel que los alimentan y que deben desnivelarse.

A.6.2.3.2 Criterios de señalización según la calificación de riesgo del cruce

- Características de la Protección de Clase A (señales fijas):
 - o Letrero “Cruce Pito” al tren a 500 m a cada lado del cruce.
 - o Letrero “Sin Guarda Cruce” al camino a cada lado del cruce.

- Letrero “Internacional” al camino (señal Cruz de San Andrés).
- Letrero “Velocidad Máxima” al camino.
- Letrero de “Perfil Irregular del Camino”.
- Letrero “No Adelantar” en el Camino.
- Letrero “Cruce sin Barreras”.
- Disco PARE al camino.
- Como Señalización Fija Horizontal al camino:
 - Marcas viales de pintura en la calzada, en líneas continua y/o discontinua.
 - En áreas urbanas y cuando las características de la circulación lo aconsejen y las de la carretera o camino lo permitan, estas marcas se sustituirán por una separación física entre ambos sentidos de circulación (tachos, soleras, islas). Lo que impide franquear el cruce por pista contraria, esto lo hacen los conductores impacientes en presencia de barreras solo de entrada.
- Características de la Protección de Clase B (**banderista automático**):
 - Las mismas de la clase A (vertical y horizontal) más otras.
 - Banderista Automático:
 - Sus luces rojas y campanilla deben entrar en funcionamiento como mínimo 30 segundos antes de la llegada de un tren al cruce.
 - En áreas urbanas con presencia de semáforos viales, estos deberán estar coordinados y subordinados con el banderista o barrera.
- Características de la Protección de Clase C (**barreras**):
 - Las mismas de la clase B (vertical y horizontal) más otras.
 - Letrero “Paso a Nivel con Barreras”.

- Para esta clase de protección con **barreras simples**, sus luces rojas y campanilla deben entrar en funcionamiento como mínimo 50 segundos antes de la llegada de un tren al cruce.
- Para esta clase de protección con **barreras dobles**, sus luces rojas y campanilla deben entrar en funcionamiento como mínimo 60 segundos antes de la llegada de un tren al cruce, independiente de la velocidad máxima de los trenes con un tope de 160 km/h.
- Barreras Automáticas:
 - Podrán ser simples o dobles.
 - Podrán ser de funcionamiento automático o enclavado.
 - Barreras ubicadas a 5 m del riel más cercano.
 - Las pértigas de las barreras (brazos) iniciaran su descenso después de 6 a 8 segundos de la activación de las luces y campanilla. Completarán su descenso entre 7 y 10 segundos. Todas las barreras deben estar perfectamente cerradas antes de 30 segundos del paso del tren. Para el caso de contar con barreras de salida, estas iniciarán su descenso cuando las barreras de entrada estén totalmente abajo (posición horizontal).
- Características de la Protección de Clase D (cruce provisorio):
 - El tren efectuará una parada momentánea antes de cruzar el paso a nivel.
 - Un guarda-cruce humano cortará el tráfico carretero con banderolas o faroles.
 - Se emitirá una señal de atención mediante el silbato de la locomotora.
 - Una vez protegido el paso a nivel provisorio, el tren marchará a paso de hombre (a la vuelta de la rueda) hasta rebasar completamente el mismo.
 - Una vez que el tren rebasó completo el paso, el guarda-cruce liberará el tránsito vehicular.

- **Características de la Protección de Clase E (guarda-cruzada humano):**
 - Para el tren con la misma protección de la clase A.
 - Para el camino la señalización vertical y horizontal, con la misma protección de la clase C.
 - La señalización luminosa y acústica es discrecional, y de haberla debe llevar la misma protección de la clase B.
 - La señalización con barreras también es discrecional, y de haberla debe llevar la misma protección de la clase C, además cuando el cruce esté cercano a una estación, las barreras deben estar en coordinación con la señalización de la estación.
 - El cierre de barreras debe estar completado como mínimo 60 segundos, antes de la llegada de un tren al cruce.
 - Esta clase de protección conllevará además la instalación de un teléfono, a través del cual las estaciones vecinas avisan al guarda-cruzada las circulaciones ferroviarias inmediatas.

- **Características de la Protección de Clase F (pasos peatonales):**
 - Para el tren con la misma protección de la clase A.
 - Letrero “Paso a Nivel sin Barreras”.
 - Letrero “Paso a Nivel sin Barreras con más de una vía férrea”, cuando sea el caso.
 - Letrero “Uso exclusivo para Peatones”.
 - Letrero “Atención al Tren”.
 - Se deben instalar cierros.
 - Se deben instalar laberintos.

- Letrero “Atención al Semáforo Ferroviario” cuando lo haya, el que se colocará en cruces de mucho flujo de peatones. Este semáforo no necesita estar en coordinación con los semáforos viales cercanos.

A.6.2.3.3 Conclusiones

- Respecto de los siguientes valores frontera para desnivelar un cruce:
 - La Velocidad Máxima de los trenes inferior a 160 km/h, parece un valor excesivo y peligroso para el contexto chileno, toda vez que se entiende que el conductor vial es el que en definitiva mediante su visión humana, define cuando franquear el cruce, para lo cual debe disponer del tiempo suficiente que le permita franquearlo sin riesgo; esta condición está limitada por la visibilidad real, donde **para** $V=160$ km/h es levemente superior **a los 500 m de distancia**. Este valor se puede observar en la referencia de España “*Borrador de Proyecto de Real Decreto sobre Seguridad Operacional e Interoperabilidad Ferroviaria, Anexo VII. Protección de Pasos a Nivel, 1. Conceptos Generales*”. Así mismo, los tiempos de anuncio mínimo requeridos son de 25 segundos, fijándose así la velocidad máxima de los trenes en 72 km/h (teniendo en cuenta dichos 25 segundos y 500 m de visibilidad).
 - El Momento de Circulación > 1.500 para disponer la desnivelación de los cruces, parece un valor bajo, ya que en Chile la mayoría de los cruces superan ese valor, incluso los cruces rurales en vías férreas con poco tráfico.
- Respecto de la instrucción que en todo proyecto que se considere cambiar de simple vía a doble vía o la modificación del trazado de las actuales vías férreas, deberá preverse la supresión de los pasos a nivel existentes, esta instrucción está asimilada en Chile, en los sectores de doble vía con tráfico de trenes de pasajeros tipo metro de superficie y trenes de carga:

- Metro Valparaíso no tiene cruces a nivel, exceptuando el cruce Portales que es usado solo para el paso a la zona de restaurantes, y el cruce público Simón Bolívar hoy de carácter privado y cerrado, con acceso solo de emergencia para vehículos portuarios.
 - Circuito NOS-EXPRESS no tiene cruces a nivel, los tuvo hasta hace poco y fueron desnivelados.
 - Circuito RANCAGUA-EXPRESS con programa vigente de desnivelación de todos sus cruces a nivel.
 - FESUR tiene pendiente desnivelar los cruces de la doble vía Concepción-Coronel.
- Respecto de los resultados de aplicar la fórmula española (*Ecuación A.5.4*) para la distancia de visibilidad técnica del paso a nivel en metros, D_t , para varias velocidades de tren, se obtuvieron algunas conclusiones interesantes. Analizados cada uno de todos los cruces entre Santiago y Chillán (tramo analizado en detalle en este informe) según información actualizada al año 2016, se observa una visibilidad real promedio de 300 m (ver capítulo *A.8.1.3 Situación de los cruces en Chile*), es decir, la mitad de la visibilidad ideal para el ojo humano de 600 m. Se indican en la siguiente tabla los cálculos para 3 velocidades y 2 distancias D_t :

Ilustración 33. Velocidad y Distancia de Visibilidad

Calculo de Dt para 3 Veloc		
	Simple Vía n=1	Doble Vía n=2
Velocidades	distancia Dt	distancia Dt
v 50	148,09	157,98
v 100	296,18	315,95
v 160	473,89	505,52
norma	600,00	600,00
promedio	300,00	300,00
Calculo de V para Distancia 600 m		
	Simple Vía n=1	Doble Vía n=2
Distancias	velocidad	velocidad
Dt 600	202,58	189,90
Calculo de V para Distancia 300 m		
	Simple Vía n=1	Doble Vía n=2
Distancias	velocidad	velocidad
Dt 300	101,29	94,95

Fuente: Elaboración Propia a partir de la normativa española

Se aprecia que para velocidad de 160 km/h como la máxima para los trenes, la D_t es mayor que 300 m distancia de visibilidad promedio real de los cruces en Chile.

También se aprecia que para la $D_t = 300$ m distancia de visibilidad promedio real para los cruces en Chile, la velocidad máxima permitida para los trenes, no debería sobrepasar $94,95 \approx 100$ km/h.

- En Chile, no se recomienda aumentar la velocidad de los trenes en cruces por sobre 100 km/h, pues en la práctica en la mayoría de los cruces no se puede aumentar la visibilidad real por sobre los 300 m.
- Finalmente, para la realidad chilena, **la normativa española es la más indicada para ser adoptada**, con valores límite adaptado al contexto de los ferrocarriles chilenos.

A.6.3 Análisis de antecedentes de accidentabilidad

Para la realización de este análisis se dispone de la información suministrada por el mandante, la cual detalla el tipo de accidente, lugar, fecha, consecuencias en personas, operador ferroviario, empresa responsable, entre otros datos.

A.6.3.1 Análisis de datos

Se dispone de datos referentes a colisiones en cruces públicos a nivel de la red de la empresa **EFE para el periodo 2018-2019**. A continuación, se agrega un análisis previo de esta información.

- Colisiones por tramos en la Red de EFE

Se indican las colisiones totales en los cruces públicos a nivel en la red de EFE (26 tramos) durante el bienio 2018-2019, donde se vieron afectados los siguientes 20 tramos:

Tabla 19. Colisiones Bienio 2018-2019 EFE

2018-2019	
Tramo	Nº Colisiones
Alameda – San Antonio	19
Concepción – Coronel	15
Victoria – Temuco	14
San Rosendo – Talcahuano	8
Coronel – Horcones	7
San Pedro – Ventanas	6
Llay Llay – San Pedro	6
Alameda – Llay Llay	5
Talca – Chillán	4
San Fernando – Talca	4
Lirquén – Concepción	3
Chillán – San Rosendo	3

2018-2019	
Tramo	Nº Colisiones
Rancagua – San Fernando	3
Talca – Constitución	2
Rucapequén – Nueva Aldea	2
Llay Llay – Los Andes	2
San Rosendo – Victoria	1
Los Andes – Río Blanco	1
Paine – Talagante	1
Nos – Rancagua	1
TOTAL (20 tramos)	107

Fuente: EFE

Los tramos que no tuvieron accidentes, son los siguientes:

- a. San Pedro – Limache (solo carga, con muy poco tráfico).
- b. Limache – Valparaíso (pasajeros y carga, con servicio de Metro Valparaíso).
- c. Santiago – Nos (pasajeros y carga, con servicio de NOS-XPRESS).
- d. Temuco – Antilhue.
- e. Antilhue – Valdivia.
- f. Antilhue – Puerto Montt.

Cabe mencionar que, actualmente no hay servicio ferroviario al sur de Temuco, por la socavación de una de las cepas del puente mayor Cautín de 423 m. de largo, ubicado al sur de la estación Temuco en PK 692,031. Hecho ocurrido el 28.06.2018 por una crecida mayor del río, se socavo y tumbo una de las cepas centrales haciendo caer los tramos metálicos adyacentes. EFE espera terminar su rehabilitación durante el primer semestre del presente año 2020.

Para el tramo Santiago – Chillán, con servicios de pasajeros y carga, y que se ha usado como tramo de muestreo, hubo 12 colisiones en el bienio 2018-2019.

Además, se identifican los tres tramos con más accidentabilidad y el detalle de accidentabilidad por kilómetro:

Tabla 20. Accidentabilidad de los tres tramos con más colisiones en EFE

Tramos con más colisiones (2018-2019)					
Alameda –San Antonio		Concepción – Coronel		Victoria - Temuco	
Ubicación	Nº Colisiones	Ubicación	Nº Colisiones	Ubicación	Nº Colisiones
13,350	3	5,700	2	681,170	3
3,166	2	7,285	2	674,750	2
60,400	2	27,900	1	685,000	2
15,580	2	22,700	1	681,000	1
18,950	2	6,680	1	664,000	1
68,200	1	23,890	1	653,560	1
39,600	1	7,000	1	687,492	1
40,200	1	25,900	1	664,560	1
68,000	1	26,150	1	642,000	1
19,640	1	10,600	1	670,000	1
86,400	1	28,151	1	n/a	
26,450	1	12,240	1	n/a	
29,040	1	19,000	1	n/a	
Total	19	Total	15	Total	14

Fuente: EFE

De lo anterior, se puede deducir que los cruces con mayor accidentabilidad son:

- Cruce Km 13,35 del ramal de Santiago a San Antonio, con 3 colisiones. Sector urbano lado poniente de Santiago. Con servicio solo de trenes de carga.
- Cruce Km 681,170 de la LCS, con 3 colisiones. Sector urbano lado norte de Temuco. Con servicio de trenes de pasajeros y carga.
- Colisiones con Resultado de Fallecidos en la Red de EFE

Se indican a continuación las colisiones con resultado de muerte en los cruces públicos a nivel en la red de EFE (cinco tramos), durante el bienio 2018-2019. Se indican los tramos afectados:

Tabla 21. Accidentabilidad con resultado de fallecimiento en los cinco tramos de análisis

N° de Fallecidos por Tramo y km de ubicación del Cruce Vehicular										
Tramo	PK 13,350	PK 15,580	PK 25,900	PK 68,00	PK 126,250	PK 128,000	PK 146,129	PK 148,450	PK 251,230	TOTAL
Alameda – San Antonio	1	1		1						3
San Fernando – Talca							1	1		2
Llay Llay – San Pedro					2	1				3
Talca – Chillán									1	1
Concepción – Coronel			2							2
TOTAL FALLECIDOS	1	1	2	1	2	1	1	1	1	11

Fuente: EFE

De lo anterior se observa que no necesariamente los tramos con servicios de pasajeros presentan el mayor número y gravedad en los accidentes. En este caso, es el ramal de Alameda al puerto de San Antonio el que presenta mayor número de colisiones (19), y tres de ellas con resultado de fallecidos (16% de los accidentes), siendo un tramo donde solo circulan trenes de carga. Sin embargo, el tramo Llay Llay – San Pedro, presenta seis colisiones y el 50% tienen como resultado de fallecidos (3 fallecidos), siendo también un ramal con transporte ferroviario solo de carga.

- Pormenorización de las Colisiones en los Cruces de la Red de EFE (Bienio 2018-2019)

A continuación, se indica cada una de las 107 colisiones totales de los cruces públicos a nivel en la red de EFE durante el bienio 2018-2019. Son 56 accidentes en 2018 y 51 accidentes en 2019, sin considerar en este último caso, el mes de diciembre.

Además, el nivel de gravedad de accidentes se desglosa en 85 víctimas sin lesiones, 44 leves, 8 graves y 11 fallecidos, teniendo un total de 148 víctimas.

Tabla 22. Total de colisiones bienio 2018-2019 EFE

ACCIDENTABILIDAD BIENIO 2018-2019																
Nº	FECHA	KM	SD	RAMAL	ART del D500	ACCIDENTE	LUGAR	SIN LESIONES	LEVE	GRAVE	FALLECIDO	TOTAL	NOMBRE del CRUCE	IP (2.015)	TIPO TREN	OPERADOR
1	5/1/18	15,580	10	San Antonio	No Regulado	Colisión	Cruce				1	1	EL BOSQUE	29.953	CARGA	FEPASA
2	8/1/18	674,750	LCS7	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	PILLANLEBÚN	81.733	CARGA	FEPASA
3	12/1/18	15,580	10	San Antonio	No Regulado	Colisión	Cruce		1			1	EL BOSQUE	29.953	CARGA	FEPASA
4	15/1/18	456,980	LCS5	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	ESTACIÓN CABREIRO	64.373	CARGA	FEPASA
5	20/1/18	18,095	7	Ventanas	2	Colisión	Cruce		3			3	COLMO	87.401	CARGA	FEPASA
6	31/1/18	44,980	8	Los Andes	2	Colisión	Cruce			1		1	LA JUNTA	2.740	CARGA	FEPASA
7	24/2/18	375,310	LCS4	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	5				5	SEBASTIAN VILLARROEL	2.097	PASAJEROS	TREN CENTRAL
8	4/3/18	130,400	5	Puerto	2	Colisión	Cruce	1				1	ARIZTIA	1.161.714	CARGA	FEPASA
9	5/3/18	148,450	LCS3	LCS	1	Colisión	Cruce				1	1	PISAGUA	832.369	PASAJEROS	TREN CENTRAL
10	6/3/18	3,166	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce						MANUEL CHACÓN	90.348	CARGA	FEPASA
11	8/3/18	83,390	RST	Talcahuano	1	Colisión	Cruce	1				1	BILBAO	6.200.713	PASAJEROS	FESUR
12	13/3/18	5,700	RCC	Coronel	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	DIAGONAL BIO BIO	823.676	PASAJEROS	FESUR
13	13/3/18	146,129	LCS3	LCS	1	Colisión	Cruce				1	1	EL PORVENIR	112.461	PASAJEROS	TREN CENTRAL
14	30/3/18	251,230	LCS4	LCS	1	Colisión	Cruce				1	1	LOS MOLINOS	162.196	PASAJEROS	TREN CENTRAL
15	2/4/18	681,170	LCS7	LCS	1	Colisión	Cruce	2	1			3	CAJÓN NORTE	736.678	PASAJEROS	FESUR
16	4/4/18	70,230	LCS1	LCS	1	Colisión	Cruce						MIRAFLORES	2.849.615	CARGA	TRANSAP
17	6/4/18	28,151	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1				1	RAMÓN FREIRE	89.615	CARGA	FEPASA
18	13/4/18	86,200	LCS2	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	HUMBERTO URZUA	854	PASAJEROS	TREN CENTRAL
19	24/4/18	117,180	5	Puerto	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	LAS CABRITAS	67.047	CARGA	FEPASA
20	6/5/18	126,250	5	Puerto	1	Colisión	Cruce				2	2	POCOCHAY	26.533	CARGA	FEPASA
21	9/6/18	19,640	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce		4			4	SANTA CRUZ	62.136	CARGA	FEPASA
22	12/6/18	23,678	7	Ventanas	2	Colisión	Cruce	1	1			2	CON CON	1.081.412	CARGA	FEPASA
23	13/6/18	681,170	LCS7	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	CAJÓN NORTE	736.678	PASAJEROS	FESUR
24	16/6/18	551,560	LCS6	LCS	1	Colisión	Cruce		1			1	RENAICO	14.638	CARGA	TRANSAP
25	19/6/18	115,450	19	Lirquén	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	PENCO		CARGA	TRANSAP
26	26/6/18	83,000	RST	Talcahuano	Particular	Colisión	Cruce		11	4		15	MALAQUIAS CONCHA		CARGA	FEPASA
27	13/7/18	27,900	RCC	Coronel	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	S/N	365.354	CARGA	FEPASA
28	17/7/18	93,350	5	Puerto	1	Colisión	Cruce	1				1	O'HIGGINS	106.208	CARGA	FEPASA
29	7/8/18	6,680	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1				1	BOCA SUR	1.023.967	PASAJEROS	FESUR
30	9/8/18	84,000	RST	Talcahuano	Particular	Colisión	Cruce		4			4	S/N		CARGA	FEPASA
31	21/8/18	37,695	21	Horcones	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	S/N		CARGA	FEPASA
32	24/8/18	83,000	RST	Talcahuano	Particular	Colisión	Cruce	1				1	S/N		CARGA	FEPASA
33	25/8/18	6,730	4	Puerto	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	PUERTO MONTT	659.789	CARGA	FEPASA
34	30/8/18	653,560	LCS7	LCS	2	Colisión	Cruce			1		1	QUILLEN SUR	32.382	PASAJEROS	FESUR
35	30/8/18	27,265	4	Puerto	2	Colisión	Cruce	2				2	BATUCO	738.499	CARGA	FEPASA
36	5/9/18	49,200	RST	Talcahuano	1	Colisión	Cruce	1				1	PERIQUILLO	4.098.567	PASAJEROS	FESUR
37	11/9/18	681,170	LCS7	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	CAJÓN NORTE	736.678	PASAJEROS	FESUR
38	21/9/18	407,860	LCS5	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	NEBUCO	13.552	CARGA	FEPASA
39	28/9/18	60,400	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce			2		2	LA FERIA	152.294	CARGA	FEPASA
40	2/10/18	30,100	21	Horcones	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	S/N	36.766	CARGA	FEPASA

41	4/10/18	9,790	40	Nueva Aldea	2	Colisión	Cruce	1			1	COLLIGUAY	174	CARGA	FEPASA
42	5/10/18	7,285	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	S/N	3.184.346	PASAJEROS	FESUR
43	16/10/18	23,900	7	Ventanas	2	Colisión	Cruce	1			1	CON CON	1.081.412	CARGA	FEPASA
44	17/10/18	68,000	4	Puerto	2	Colisión	Cruce		1		1	LA POSADA	N/A	CARGA	FEPASA
45	18/10/18	687,492	LCS7	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce		1		1	MARAÑON	322.000	PASAJEROS	FESUR
46	18/10/18	13,350	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce	1			1	TRES PONIENTE	69.842	CARGA	TRANSAP
47	20/10/18	114,800	5	Puerto	2	Colisión	Cruce	1			1	PACHACAMITA	39.498	CARGA	FEPASA
48	21/10/18	26,690	13	Constitución	Particular	Colisión	Cruce	1			1	S/N	N/A	PASAJEROS	TREN CENTRAL
49	22/10/18	23,637	7	Ventanas	2	Colisión	Cruce	2			2	CON CON	1.081.412	CARGA	FEPASA
50	24/10/18	30,100	21	Horcones	No Regulado	Colisión	Cruce	1			1	PATIO SUR CORONEL	36.766	CARGA	FEPASA
51	9/11/18	664,560	LCS7	LCS	2	Colisión	Cruce	1			1	PILLANLEBÚN	12.051	PASAJEROS	FESUR
52	12/11/18		21	Horcones	Particular	Colisión	Cruce	1			1	S/N	N/A	CARGA	TRANSAP
53	19/11/18	10,600	RCC	Coronel	Particular	Colisión	Cruce	1			1	S/N	SIN IP	PASAJEROS	FESUR
54	23/11/18	12,240	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	PORTAL SAN PEDRO	N/A	PASAJEROS	FESUR
55	28/11/18	15,780	4	Puerto	1	Colisión	Cruce	1			1	VALLE GRANDE	1.236.946	CARGA	FEPASA
56	29/11/18	674,750	LCS7	LCS	2	Colisión	Cruce	1			1	PILLANLEBÚN	81.733	PASAJEROS	FESUR
57	18/1/19	271,700	LCS4	LCS	1	Colisión	Cruce	1			1	PANGAL	195.099	PASAJEROS	TREN CENTRAL
58	24/1/19	39,600	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce	1			1	LOS CARRERAS	407.014	CARGA	TRANSAP
59	30/1/19	127,910	19	Lirquén	2	Colisión	Cruce	1			1	OROMPELLO	10.717	CARGA	TRANSAP
60	6/2/19	26,460	10	San Antonio	No Regulado	Colisión	Cruce					S/N	111.922	CARGA	FEPASA
61	13/2/19	319,495	LCS4	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce		1		1	S/N	87.620	PASAJEROS	TREN CENTRAL
62	18/2/19	2,000	9	Río Blanco	No Regulado	Colisión	Cruce					S/N	46.430	CARGA	FEPASA
63	1/3/19	49,250	4	Puerto	1	Colisión	Cruce	1			1	TIL TIL	25.301	CARGA	FEPASA
64	2/3/19	86,400	10	San Antonio	No Regulado	Colisión	Cruce	1			1	ARIZTIA	S/I	CARGA	FEPASA
65	2/3/19	87,950	13	Constitución	2	Colisión	Cruce	1			1	MATADERO	244.780	PASAJEROS	TREN CENTRAL
66	8/3/19		RST	Talcahuano	Particular	Colisión	Cruce	1			1	OXY	S/I	CARGA	FEPASA
67	12/3/19	18,950	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce		6		6	VALPARAÍSO	723.849	CARGA	FEPASA
68	17/3/19	110,426	LCS2	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	1			1	BISQUET	2.222.258	CARGA	FEPASA
69	21/3/19	1,040	7	Ventanas	1	Colisión	Cruce	1			1	TRONCAL	129.334	CARGA	FEPASA
70	27/3/19	171,765	LCS3	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	1			1	JOSE PONS	6.676	PASAJEROS	TREN CENTRAL
71	30/3/19	18,640	RST	Talcahuano	1	Colisión	Cruce	1			1	PARQUE INDUSTRIAL 2	39.319	CARGA	FEPASA
72	30/3/19	23,678	7	Ventanas	2	Colisión	Cruce	1			1	CON CON	1.081.412	CARGA	FEPASA
73	30/3/19	26,756	8	Los Andes	1	Colisión	Cruce	1			1	NUEVA PALOMAR	114.823	CARGA	FEPASA
74	3/4/19	60,400	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce	1			1	LA FERIA	152.294	CARGA	TRANSAP
75	18/4/19	26,150	RCC	Coronel	No Regulado	Colisión	Cruce	2			2	YOBILO	60.797	PASAJEROS	FESUR
76	19/4/19	13,350	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce		1		1	TRES PONIENTE	69.842	CARGA	FEPASA
77	24/4/19	3,166	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce		1	1	2	MANUEL CHACON	90.348	CARGA	FEPASA
78	25/4/19	13,350	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce			1	1	TRES PONIENTE	69.842	CARGA	FEPASA
79	1/5/19	456,980	LCS5	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce		1		1	S/N	64.373	CARGA	FEPASA
80	9/5/19	22,700	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	SAN FRANCISCO	31.428	PASAJEROS	FESUR
81	16/5/19	29,040	10	San Antonio	No Regulado	Colisión	Cruce		1		1	S/N	252.735	CARGA	TRANSAP
82	18/5/19	29,580	21	Horcones	Particular	Colisión	Cruce	1			1	S/N	S/I	CARGA	FEPASA
83	31/5/19	23,890	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	LOS MOLINEROS	57.289	PASAJEROS	FESUR
84	13/6/19	18,950	10	San Antonio	1	Colisión	Cruce	1			1	VALPARAÍSO	723.849	CARGA	TRANSAP
85	15/6/19	199,890	LCS3	LCS	1	Colisión	Cruce	1			1	MOLINA	561.323	PASAJEROS	FESUR
86	28/6/19	40,200	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce	1			1		446.820	CARGA	TRANSAP
87	5/7/19	1,000	21	Horcones	Particular	Colisión	Cruce		1		1	S/N	S/I	CARGA	TRANSAP
88	19/7/19	68,200	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce	1			1	SANTA ROSA	41.254	CARGA	TRANSAP
89	27/7/19	7,000	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	MICHAIHUE	3.184.346	CARGA	TRANSAP
90	1/8/19	128,000	5	Puerto	2	Colisión	Cruce			1	1	LORCA PRIETO	502.733	CARGA	TREN DE EFE

91	2/8/19	7,285	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce	1			1	S/N	3.184.346	PASAJEROS	FESUR	
92	8/8/19	25,900	RCC	Coronel	2	Colisión	Cruce		2		2	4	HÉROES DE LA CONCEP	109.373	PASAJEROS	FESUR
93	22/8/19	685,000	LCS7	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	CAJÓN NORTE	736.678	CARGA	FEPASA
94	30/8/19	642,000	LCS7	LCS	Particular	Colisión	Cruce	1				1	MÉXICO	S/I	PASAJEROS	FESUR
95	8/9/19	685,000	LCS7	LCS	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	S/N		PASAJEROS	FESUR
96	9/9/19	37,000	21	Horcones	Particular	Colisión	Cruce	1				1	S/N	S/I	CARGA	FEPASA
97	27/9/19	5,700	RCC	Coronel	No Regulado	Colisión	Cruce	2				2	S/N	823.676	PASAJEROS	FESUR
98	7/10/19	19,000	RCC	Coronel	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	PARQUE INDUSTRIAL 1	61.133	PASAJEROS	FESUR
99	10/10/19	664,000	LCS7	LCS	2	Colisión	Cruce	1				1	S/N	12.025	PASAJEROS	FESUR
100	30/10/19	97,750	LCS2	LCS	1	Colisión	Cruce	1				1	LOS BOLDOS	462.306	PASAJEROS	TREN CENTRAL
101	3/11/19	16,950	40	Nueva Aldea	Particular	Colisión	Cruce	1				1	CONFLUENCIA	6.844	CARGA	FEPASA
102	12/11/19	670,000	LCS7	LCS	Particular	Colisión	Cruce	1				1	JOSÉ MESSEN	S/I	PASAJEROS	FESUR
103	27/11/19	129,000	19	Lirquén	No Regulado	Colisión	Cruce	1				1	SALAS	105.585	CARGA	FEPASA
104	28/11/19	83,000	RST	Talcahuano	Particular	Colisión	Cruce	1				1	S/N	S/I	CARGA	FEPASA
105	28/11/19	68,000	10	San Antonio	2	Colisión	Cruce				1	1	ESMERALDA	41.000	CARGA	TRANSAP
106	29/11/19	15,860	11	Lonquen	2	Colisión	Cruce	1				1	LONQUEN	676.574	CARGA	TRANSAP
107	30/11/19	681,000	LCS7	LCS		Colisión	Cruce	1	1			2			PASAJEROS	FESUR

Fuente: EFE

- Conclusiones

a) Detalle de los 8 cruces con más de un accidente en el bienio 2018-2019

Se requiere su exhaustivo análisis individual. En todos ellos y por encontrarse en sectores urbanos, la desnivelación resulta ser un proyecto complejo, se debe partir mejorando su visibilidad.

Como en la mayoría de los ramales de la red de EFE, la velocidad máxima de los trenes de carga es de 65 km/h en vía Clase C, o 40 km/h en Clase B (excepto en Coronel donde hay doble vía y servicios de pasajeros), y aplicando la fórmula de cálculo de D_t resulta 205,37 m como visibilidad requerida para calificar como cruce con visibilidad suficiente. En doble vía con $V = 65$ km/h y de 126,38 m con $V = 40$ km/h y de 315,95 m con $V = 100$ km/h (velocidad de los trenes de carga en clase D).

Con los criterios propuestos en este informe, se deberían desnivelar los cruces con **IP** > **1.000.000**, es decir, los cruces: Concón ubicado en la comuna de Concón en el PK 23,678 del ramal a Ventanas, y el cruce S/N del block entre estaciones San Pedro de

La Paz – Lomas Coloradas en PK 7,285 sector urbano de la comuna de San Pedro de la Paz del ramal Concepción a Coronel.

Tabla 23. Cruces con más de 1 accidente en bienio 2018-2019

CRUCES CON MÁS DE 1 ACCIDENTE EN EL BIENIO 2018-2019				
NºdeAcc	KM	RAMAL	NOMBRE	IP (2.015)
2	15,580	S.Antonio	El Bosque	29.953
2	3,166	S.Antonio	M.Chacón	90.348
4	681,170	LCS	Cajón N	736.678
4	23,678	Ventanas	Con Con	1.081.412
2	7,285	Coronel	S/N	3.184.346
3	13,350	S.Antonio	3 Poniente	69.842
2	664,560	LCS	Pillanlelbun	81.733
2	18,950	S.Antonio	Valparaíso	723.849
21				

Fuente: EFE

Por su parte, de acuerdo a los antecedentes proporcionados por EFE a través del MTT, en el bienio 2018-2019 los 2 cruces de mayor accidentabilidad en la red de EFE fueron:

- Cruce Cajón Norte en PK 681,170 de la LCS con 4 accidentes, ninguno de ellos con resultado de muertes.
 - Sus índices (año 2015): $IP = 736.678 < 1.000.000$; $A = 192$; $T = 16$; $MC = A \times T = 3.072 < 50.000$; $K = IP / MC = 239,80 \gg 20$.
 - Por los valores del IP y del MC que no traspasan los valores límites, el cruce no requiere desnivelación. Sin embargo, por su alto valor de K, el cruce tiene muy mala visibilidad, siendo esta la condición negativa del cruce que favorece su mayor accidentabilidad.
- Cruce Con-Con en PK 23,678 del ramal a Ventanas con 4 accidentes, ninguno de ellos con resultado de muertes.
 - Sus índices (año 2015): $IP = 1.081.412 > 1.000.000$; $A = 9.928$; $T = 7$; $MC = A \times T = 69.496 > 50.000$; $K = IP / MC = 15,56 < 20$.

- Tanto los valores del IP y del MC traspasan los valores límites, particularmente el valor de A es elevado en verano haciendo subir el valor del MC, el cruce requiere desnivelación. Sin embargo, el valor de K indica que el cruce tiene buena visibilidad, no siendo esta la condición negativa del cruce que favorezca la mayor accidentabilidad. El cruce debe desnivelarse.

b) Detalle de los cruces con colisiones y alto Índice de Peligrosidad (**IP**) > **1.000.000**

Se requiere también su exhaustivo análisis individual. Al igual que en el caso anterior, la desnivelación resulta ser un proyecto complejo, se debe partir mejorando su visibilidad.

Para los tramos con trenes de carga y pasajeros, entre Santiago y Chillán la velocidad máxima de los trenes de carga es de 130 km/h (vía clase E en doble vía), y aplicando la fórmula de cálculo de D_t resulta 410,74 m como visibilidad requerida para calificar como cruce con visibilidad suficiente para los trenes de carga y de 505,52 m para trenes de pasajeros ($V=160$ km/h).

Para los tramos con trenes de pasajeros y carga, se debe considerar un solo D_t al menos el correspondiente a una velocidad máxima de 100 km/h para doble vía, el que resulta ser de $D_t = 315,95$ m, como visibilidad requerida para calificar como cruce con visibilidad suficiente.

Tabla 24. Cruces con Accidentes y Alto IP en Bienio 2018-2019

CRUCES CON ACCIDENTES Y ALTO (IP) EN EL BIENIO 2018-2019				
NºdeAcc	KM	RAMAL	NOMBRE	IP (2.015)
1	130,400	Puerto	Aritzia	1.161.714
1	83,390	Thno	Bilbao	6.200.713
1	70,230	LCS	Miraflores	2.849.615
4	23,678	Ventanas	Con Con	1.081.412
1	6,680	Coronel	Boca Sur	1.023.967
1	49,200	Thno	Periquillo	4.098.567
2	7,285	Coronel	S/N	3.184.346
1	15,780	Puerto	Valle Grande	1.236.946
1	110,426	LCS	Bisquet	2.222.258
1	7,000	Coronel	Michaihue	3.184.346
14				

Fuente: EFE

- c) Accidentes en cruces ubicados en tramos con servicios de trenes tipo metro de superficie

Tabla 25. Accidentes en cruces en tramos con servicios de trenes tipo metro

ACCIDENTES EN TRAMOS DE DOBLE VÍA CON SERVICIOS TIPO METRO (2018-2019)	
MERVAL	0
NOS-EXPRESS	0
FESUR	15

Fuente: EFE

- En **Metro Valparaíso** con servicio de pasajeros y carga, sector de doble vía de Puerto Valparaíso a Limache, se puede considerar que no hay cruces públicos a nivel, históricamente así se definió desde su fundación en 1986, después del choque de trenes frente al sector de Queronque entre Limache y Peñablanca. Existen solo dos cruces: el Cruce Portales en PK 182,700 por donde no circulan ni buses ni camiones, solo autos que se dirigen a los restaurantes de la costanera. El cruce está muy

protegido, cuenta con banderista automático, barreras automáticas y guarda-cruzada humano de refuerzo, además está adyacente al paradero Portales, con lo cual el tren circula a no más de 20 km/h por el cruce. El otro cruce es el cruce Simón Bolívar en PK 185,080, cruce que permanece cerrado y que se utiliza solo en situaciones de emergencia para el ingreso de camiones al recinto portuario.

- En sector del servicio corredor nuevo **NOS-XPRESS** entre Santiago y Nos, con servicios de pasajeros y carga, existen 4 vías férreas de circulación, allí se desnivelaron todos los cruces públicos a nivel y también las pasarelas peatonales.
- En el sector de **FESUR** existen dos tramos diferenciados:
 - o Un tramo antiguo de doble vía desde la estación La Leonera en Chiguayante a la estación El Arenal en Talcahuano, con servicios de carga y pasajeros, más otros tramos de simple vía de Hualqui a La Leonera y de El Arenal a Plaza El Ancla. Se registraron seis accidentes, tres de ellos en el cruce Bilbao en PK 83,390 ubicado en simple vía en sector urbano de Talcahuano al costado poniente de la estación El Arenal (Talcahuano), con solo servicios de pasajeros.
 - o Un tramo antiguo de simple vía de Concepción a Coronel, transformado a doble vía recientemente, el cual registra **15 accidentes** en un tramo corto de 28 km tiene servicios de pasajeros y carga. La norma española indica que para sectores de simple vía a los que se les construye una segunda vía, es obligatorio la desnivelación de todos sus cruces públicos a nivel (criterio incorporado en la propuesta de este informe). Todos los cruces están en sectores urbanos con: colegios, condominios, parques industriales, etc., que hacen muy recomendable que EFE estudie con detalle esta situación, más aún por tratarse de sectores con neblina por la cercanía de la costa. Se trata de un total de 25 cruces, dando un promedio de 1 cruce/km, el doble del promedio general de EFE. Cuatro de ellos cuentan con $IP > 1.000.000$.

Además del documento anterior, se analizan los datos proporcionados por Carabineros de Chile sobre los **siniestros ferroviarios desde el año 2009 hasta el año 2018**. A continuación, se agrega una exposición previa de esta información.

- Siniestros ferroviarios en la Red nacional (datos proporcionados por Carabineros de Chile)

Se indican los accidentes totales en la red pública durante el periodo comprendido entre el año 2009 y 2018. Si bien, no se dispone de la información desglosada por tramos, se puede analizar por región, donde se vieron afectadas 14 regiones y 123 comunas:

Tabla 26. Colisiones 2009-2018 por región

Región	N° Accidentes										TOTAL
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Región de Arica y Parinacota	0	0	0	1	2	0	1	1	1	0	6
Región de Tarapacá	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Región de Antofagasta	9	11	15	3	2	3	4	13	6	3	69
Región de Atacama	6	7	6	4	4	1	0	1	2	1	32
Región de Coquimbo	1	2	6	2	3	2	0	3	5	0	24
Región de Valparaíso	9	6	8	5	9	7	11	8	7	11	81
Región Metropolitana	22	13	28	17	20	19	10	16	18	27	190
Región Libertador Bernardo O'Higgins	24	15	12	7	10	9	8	5	8	11	109
Región del Maule	20	7	13	8	13	12	5	9	7	11	105
Región de Ñuble	4	0	1	3	2	4	1	3	1	2	21

Región	N° Accidentes										TOTAL
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Región del Bío Bío	21	18	17	24	26	14	11	18	21	19	189
Región de La Araucanía	10	7	12	7	8	7	7	12	8	9	87
Región de Los Ríos	2	0	2	2	2	1	2	1	0	1	13
Región de Los Lagos	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4
TOTAL (14 regiones)	128	86	123	84	102	79	60	90	84	95	931

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

Las regiones que presentaron menor número de accidentes, son las siguientes:

- Región de Tarapacá (1 accidente en 10 años, 0,1% del total).
- Región de Los Lagos (4 accidentes en 10 años, 0,4% del total).
- Región de Arica y Parinacota (6 accidentes en 10 años, 0,6% del total).

En cambio, se identifican las regiones con más accidentabilidad, siendo las siguientes:

- Región Metropolitana (190 accidentes, representando el 20,6 % del total).
- Región del Bío Bío (189 accidentes, representando el 18,8 % del total).
- Región Libertador Bernardo O´Higgins (109 accidentes, representando el 13,1 % del total).

- Colisiones con resultado de fallecidos en la red nacional (datos proporcionados por Carabineros de Chile)

Se indican a continuación las colisiones con resultado de muerte en los cruces públicos a nivel en la red nacional, durante los años 2009 a 2018. Se indican las regiones afectadas:

Tabla 27. Accidentabilidad con resultado de fallecimiento por región

Región	N° de Fallecidos por región										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Región de Arica y Parinacota	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Región de Tarapacá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Región de Antofagasta	1	2	2	1	0	2	0	3	0	1	12
Región de Atacama	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	4
Región de Coquimbo	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	4
Región de Valparaíso	2	0	4	0	3	2	1	5	1	5	23
Región Metropolitana	13	6	18	9	9	4	2	5	7	15	88
Región Libertador Bernardo O'Higgins	21	7	8	6	7	6	7	4	11	7	84
Región del Maule	15	3	6	4	9	8	2	9	6	10	72
Región de Ñuble	2	0	4	0	3	2	1	5	1	5	23
Región del Bío Bío	9	5	9	6	11	4	4	7	7	4	66
Región de La Araucanía	2	3	6	1	2	2	3	1	2	0	22
Región de Los Ríos	2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	6
Región de Los Lagos	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL	68	26	57	31	42	30	21	35	36	44	390

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

De lo anterior se observa que las regiones con mayor número de víctimas fatales son la Región Metropolitana, la Región Libertador Bernardo O'Higgins y la Región del Maule. Sin embargo, comparándolo con el número de accidentes, destaca una región que no estaba considerada anteriormente, la Región de los Ríos, donde el 46% de sus siniestros son de carácter fatal. Las regiones anteriores también presentan un alto porcentaje de víctimas fatales sobre el total (Región Libertador Bernardo O'Higgins, con un 77%; la Región del Maule, con un 69%; y la Región Metropolitana, con un 46%). Además se destaca la Región del Bío Bío, ya que a pesar de ser la tercera región con el número más alto de víctimas, solamente el 35% de ellas son de carácter fatal.

De lo anterior se deduce que aunque la Región Metropolitana presenta el mayor número de víctimas fatales entre sus accidentados, éstos no cuentan con el grado más alto de gravedad; por lo que se puede presuponer que los cruces de esta región cuentan con elementos que aumentan la seguridad ferroviaria. Lo mismo sucede con la Región del Bío Bío, que cuenta con un alto número de víctimas pero presentan un bajo grado de gravedad.

- Pormenorización de los siniestros ferroviarios en la Red nacional (Datos proporcionados por Carabineros de Chile)

A continuación, se indica en detalle el nivel de gravedad de los 931 accidentes totales de la red a nivel nacional durante el periodo comprendido entre 2009 y 2018.

Estos cuentan con un total de 364 víctimas sin lesiones, 49 leves, 211 graves y 390 fallecidos, teniendo un total de 1.014 víctimas.

Tabla 28. Nivel de gravedad de las víctimas de los siniestros ferroviarios 2009-2018

Nivel de gravedad por región de las víctimas de los siniestros ferroviarios 2009-2018						
Región	Leves	Menos graves	Graves	Fatal o fallecidos	Accidentes sin clasificación ⁸	Víctimas totales
Región de Arica y Parinacota	3	1	0	0	3	4
Región de Tarapacá	0	0	0	0	1	0
Región de Antofagasta	35	2	10	12	28	59
Región de Atacama	17	3	9	4	4	33
Región de Coquimbo	10	0	2	4	9	16
Región de Valparaíso	29	3	19	23	17	74

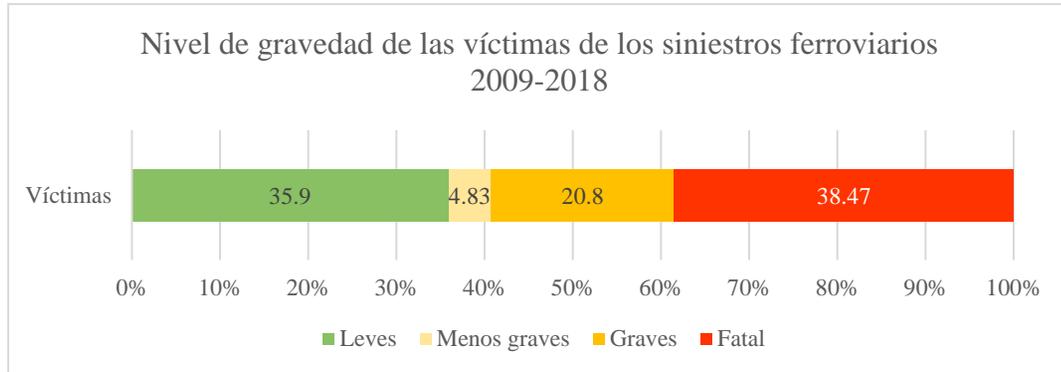
⁸ En los datos proporcionados por Carabineros de Chile, algunos de los siniestros no presentan clasificación en cuanto a nivel de gravedad. Otros, en cambio, presentan varios niveles de gravedad en sus víctimas. De esta manera, se dispone de un total de 931 accidentes de los cuales 160 no cuentan con clasificación, 771 cuentan con clasificación y algunos cuentan con varios niveles de gravedad, dando un total de 831 accidentes.

Nivel de gravedad por región de las víctimas de los siniestros ferroviarios 2009-2018						
Región	Leves	Menos graves	Graves	Fatal o fallecidos	Accidentes sin clasificación ⁸	Víctimas totales
Región Metropolitana	52	12	44	88	23	196
Región Libertador Bernardo O'Higgins	28	3	13	84	8	128
Región del Maule	34	7	17	72	14	130
Región de Ñuble	8	3	4	8	5	23
Región del Bío Bío	86	9	55	66	33	216
Región de La Araucanía	25	4	31	22	12	82
Región de Los Ríos	36	2	6	6	2	50
Región de Los Lagos	1	0	1	1	1	3
TOTAL	364	49	211	390	160	1.014

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

Se destaca que más de la mitad de las víctimas de siniestros ferroviarios presentan un elevado nivel de gravedad, siendo el 38,47% de carácter fatal y 20,8% graves. Mientras, el 35,9% son de nivel leve y el 4,83% de carácter menos grave. Se puede deducir entonces que los cruces ferroviarios no presentan los suficientes elementos para garantizar la seguridad vial de las personas.

Gráfica 1. Nivel de gravedad de las víctimas de los siniestros ferroviarios en la década 2009-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

- Conclusiones

- a) Causa de accidentes de las regiones con más siniestros en la década de 2009-2018.

Anteriormente, se identificaron las regiones que presentaban el mayor número de siniestros durante la década de 2009-2018. Estas fueron la Región Metropolitana (190 accidentes, representando el 20,6 % del total), la Región del Bío Bío (189 accidentes, representando el 18,8 % del total) y la Región Libertador Bernardo O'Higgins (109 accidentes, representando el 13,1 % del total). De cada una de ellas, se requiere un exhaustivo análisis individual, por lo que se revisan las causas responsables del siniestro.

Tabla 29. Causas de los siniestros en las regiones con mayor número de accidentes durante la década 2009-2018

Causa accidentes	Región Bío Bío	Región Lib.B. O'Higgins	Región Metropolitana	Total
Alcohol en conductor	2	1	2	5
Alcohol en pasajero	1	1	0	2
Alcohol en peatón	15	6	19	40
Causas no determinadas	20	22	20	62

Causa accidentes	Región Bío Bío	Región Lib.B. O'Higgins	Región Metropolitana	Total
Desobediencia a señalización	29	7	18	54
Drogas y/o fatiga en conductor	20	0	1	1
Fallas mecánicas	3	2	2	7
Imprudencia del conductor	24	13	21	58
Imprudencia del pasajero	0	0	3	3
Imprudencia del peatón	72	28	67	167
Otras causas	20	29	37	86
Pérdida de control vehicular	2	0	0	2
Velocidad imprudente	1	0	0	1
TOTAL	189	109	190	488

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

La principal causa de los accidentes se debe a la imprudencia del peatón, seguido de “otras causas” o “causas no determinadas”. De manera global, contemplando las 14 regiones, la siguiente causa de accidente con mayor número de siniestros es la desobediencia a la señalización.

Se debe realizar un análisis exhaustivo, pero se podría afirmar que se podría reducir el número de siniestros debidos a las causas anteriores. Gracias a la instalación de elementos de seguridad vial y peatonal (como instalar cámaras de video que generen partes empadronados por no respetar la señalización del cruce), mejorando la visibilidad, todo ello, para no tener que efectuar la desnivelación del cruce ferroviario, entre otros.

b) Tipo de accidente de los siniestros ferroviarios entre los años 2009-2018

A continuación, se describe la tipología de los accidentes por región durante la década de 2009-2018 con el objetivo de revisar la seguridad vial ferroviaria de la red.

Tabla 30. Tipo de accidente en los siniestros en la década 2009-2018

Tipo de accidente por región de los siniestros ferroviarios 2009-2018						
Región	Atropello	Caída	Choque	Colisión	Descarrilamiento	Otro
Región de Arica y Parinacota	0	0	1	5	0	0
Región de Tarapacá	0	0	0	1	0	0
Región de Antofagasta	24	0	5	37	1	2
Región de Atacama	11	0	5	15	0	1
Región de Coquimbo	12	1	2	7	1	1
Región de Valparaíso	44	1	8	23	3	2
Región Metropolitana	129	2	10	42	0	7
Región Libertador Bernardo O'Higgins	66	2	4	23	1	13
Región del Maule	61	2	10	29	0	3
Región de Ñuble	6	0	2	11	0	2
Región del Bío Bío	106	2	11	64	3	3
Región de La Araucanía	47	0	4	31	3	2
Región de Los Ríos	8	0	1	3	1	0
Región de Los Lagos	1	0	1	1	1	0
TOTAL	515	10	64	292	14	36

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Carabineros de Chile

En cuanto a la tipología del siniestro, destacan por sobre la mayoría, la tipología atropellos (55%), seguido de la tipología colisiones (31%). Revisando los datos anteriores, se puede ver que la Región Metropolitana y la Región del Bío Bío son aquellas que manifiestan el mayor número de atropellos y colisiones. La tipología con el menor número de siniestros son la caída y el descarrilamiento, por lo que se puede deducir que la seguridad vial ferroviaria presenta riesgos bajos o escasos. Si bien, como el número de atropellos y colisiones es alto, se puede pensar que los espacios en los que el ferrocarril interactúa con otros modos (vehículos, peatones, etc.), presentan una baja seguridad, por lo que se recomienda realizar un análisis exhaustivo individual en estos elementos para concretar la causa del accidente.

A.6.3.2 Análisis comparativo de accidentabilidad con otros países

Entre los antecedentes de accidentabilidad que permiten comparar a Chile con otros países, se tienen los destacados en la Referencia 19:

Tabla 31. Comparación Tasas de Accidentes

Tipo	Chile 2005-2007 Tipo/MTK	USA Tipo/MTK	UK Tipo/MTK	Australia Tipo/MTK
Accidentes	17,8	3,4	3,2	1,0
Colisiones	6,4	2,7	1,8	0,5
Atropellos	11,2	0,8	1,0	0,3
Fallecidos	7,8	0,4	0,8	0,2
Lesionados	11,0	-	0,4	2,4

Fuente: Análisis de la seguridad en el transporte Ferroviario (Libra, 2008)

En cuanto a valores más actuales, se tienen los siguientes valores relacionados con número de accidentes, número de fatalidades y TKM.

Tabla 32. Análisis de accidentes y fatalidades por tren kilometro/año (millones)

País	Año	Total Número de Accidentes	Total Número de Fatalidades	Total Número de Tren Kilometro/Año (Millones)
Estados Unidos	2017	2108	273	830
España	2017	12	14	199.3
Reino Unido (Translink Ni Railways)	2017	0	0	5
Reino Unido (Network Rail)	2017	0	8	577.4
Francia	2017	109	42	480

Argentina	2017	447	158	10000
Chile	2017	48	0	8.63

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en <http://www.ilcad.org/Participants-2019.html>

Con los datos obtenidos en la introducción de cada uno de los países en el punto 5.1.1, se puede observar que Chile y Estados Unidos tienen un mayor índice de accidentes anuales respecto a los otros países (España, Reino Unido, Francia y Argentina).

Chile tiene un índice de 5.5 anual en accidentes/100.000 Tren kilómetro, mientras que Estados Unidos tiene un índice 1.6 anual en accidentes/millón de tren kilómetro. Por otro lado, Reino Unido es el país con un índice de 0 anual en accidentes/millón de tren kilómetro.

Así mismo Chile cuenta con un índice mayor en fatalidades, llegando a 9.3 anual en fallecidos/100.000 Tren kilómetro. Lo contrario sucede con Reino Unido, donde el país cuenta con un índice de 0 anual en fallecidos/millón de tren kilómetro.

Cabe mencionar que los datos del “Total Número de Tren Kilómetro/Año (Millones)” para Estados Unidos fueron adquiridos por el “Departamento de Transporte de Estados Unidos”, sin embargo al no contar con los datos del año 2017 se realizó un promedio.

Tabla 33. Índice de accidentes y fatalidades por tren kilómetro/año (millones)

País	Índice de Accidentes	Índice de Fatalidades
Estados Unidos	1,622	0,219
España	0,060	0,070
Reino Unido (Translink Ni Railways)	0	0

Reino Unido (Network Rail)	0	0,014
Francia	0,227	0,088
Argentina	0,045	0,016
Chile	7,184	0

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en <http://www.ilcad.org/Participants-2019.html>

A.6.3.3 *Aplicación de la Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Transporte Ferroviario*

El análisis de accidentabilidad se basa en lo descrito en la “**Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Transporte Ferroviario 2016**” de SECTRA, en la que se describe que, mediante la estadística de incidentes discriminados por tipo de accidente, gravedad del accidente, tipo de vehículo (liviano – pesado) y flujos vehiculares en los puntos de interés (donde ocurren los accidentes), que para el caso de estudio viene dado por la ubicación del **cruce vehicular** donde ocurre el accidente, se puede estimar el **costo-beneficio** que acarrea el aumento o la disminución de los accidentes en términos de **beneficio social**.

A continuación, se procede a explicar la metodología utilizada:

- Identificación de los puntos de interés (cruce vehicular donde se han registrado accidentes):

Utilizando una base de datos de accidentes ocurridos en las intersecciones vehiculares con vías férreas, se obtiene el **Índice de Accidentabilidad** de los trenes, discriminando este dato por región, comuna, tipo de accidente, flujo vehicular del punto de interés (cruce vehicular), dando como resultado los puntos donde ocurren con mayor frecuencia estos accidentes.

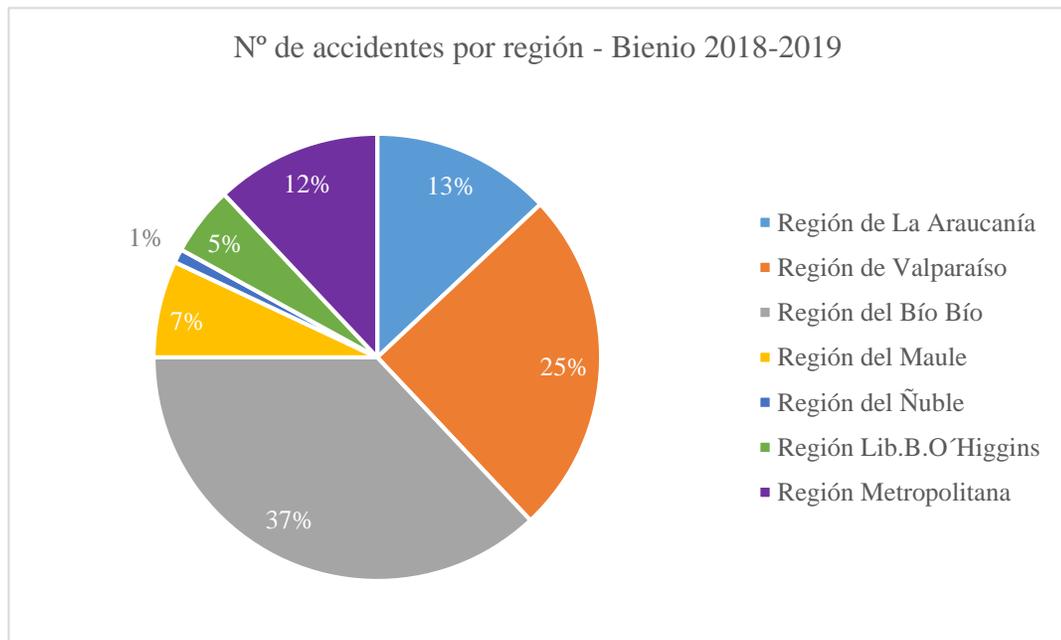
Para determinar este índice, se sigue la siguiente fórmula $\frac{ACC}{TKM} * 100.000$, donde *ACC* es el número total de accidentes por año y *TKM* son los trenes kilómetro al año⁹. Así mismo, este ítem es necesario para determinar la tasa de mortalidad, según se indica en la siguiente fórmula $\frac{Víctimas}{TKM} * 100.000$, donde *Víctimas* son los fallecidos al año.

⁹ En la documentación enviada por el mandate no se dispone de valores para este último ítem (TKM), por lo que no se puede determinar el índice de accidentabilidad.

- Flujo vehicular de los puntos de interés:

Basándonos en información de flujos medios diarios anuales vehiculares TMDA extraídos de las páginas oficiales del **Plan Nacional de Censos (PNC)**, la dificultad de esta tarea recae en la identificación del cruce vehicular mediante coordenadas **KMZ o KML**, ya que la información suministrada no precisa la ubicación o coordenadas de este. Es por eso, que se analizan los datos de accidentabilidad y de lesionados, según la región y el año, obteniendo las siguientes gráficas:

Gráfica 2. Accidentes por región (Empresa EFE)

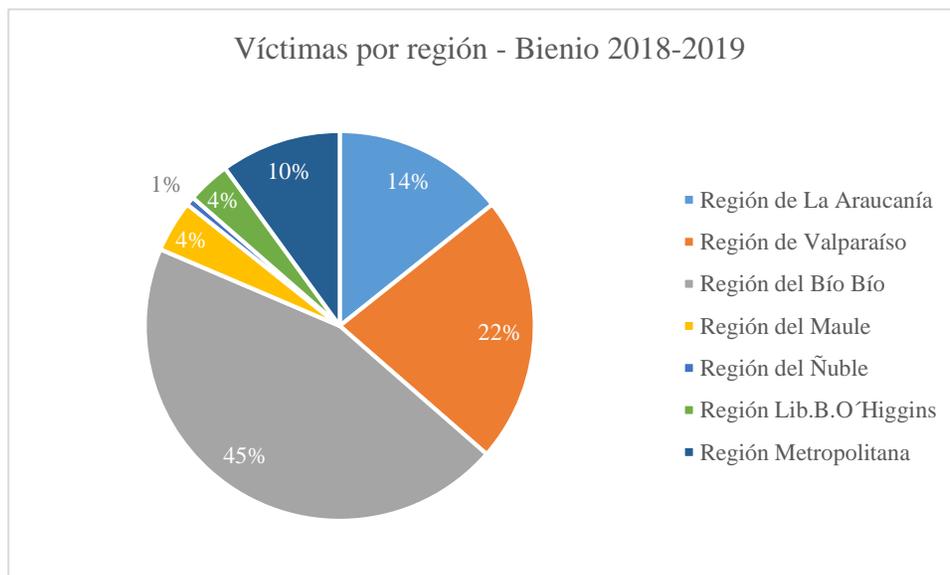


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el mandate – Colisiones EFE

De la anterior gráfica, se puede ver que la región que registra el mayor porcentaje de accidentes en los últimos dos años es la Región del Biobío, seguida de la Región de Valparaíso y la Región de La Araucanía. Así mismo, las regiones que cuentan con el menor

número de accidentes son la Región Libertador Bernardo O'Higgins y la Región de Ñuble. Si se tienen en cuenta el número de tramos de cada región, se mantienen las regiones que cuentan con el mayor y el menor porcentaje relativo de accidentes.

Gráfica 3. Víctimas de accidentes por región (Empresa EFE)



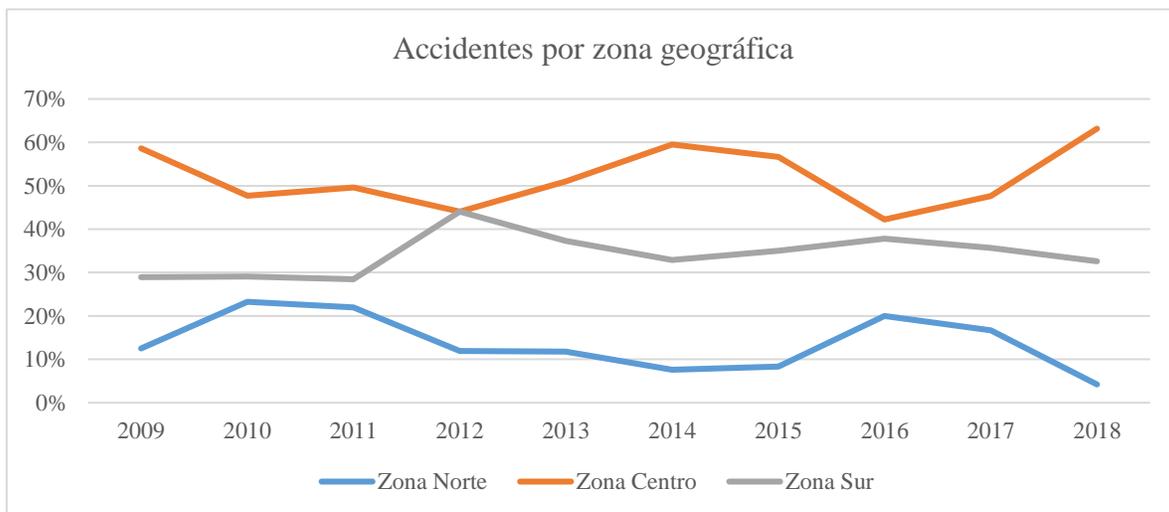
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el mandate – Colisiones EFE

En la gráfica anterior, destacan la Región del Biobío, la Región de Valparaíso y la Región de La Araucanía con el mayor número de víctimas, englobando a lesionados y fallecidos. Si se compara con la gráfica anterior, que mostraba el número total de accidentes, se puede afirmar que las regiones con el número más alto de accidentes tienen el mayor número de víctimas.

Se recomienda revisar en detalle la tipología de los cruces y de los accidentes, e investigar qué medidas de mitigación se utilizan en ellos para que puedan ser mejorados.

Además de lo anterior, se dispone de datos entregados por Carabineros de Chile sobre los siniestros ferroviarios desde el año 2009 hasta el año 2018. A partir de esta información, se obtienen las gráficas de accidentabilidad y de lesionados, según la región y el año.

Gráfica 4. Accidentes por región (Siniestros ferroviarios 2009-2018)

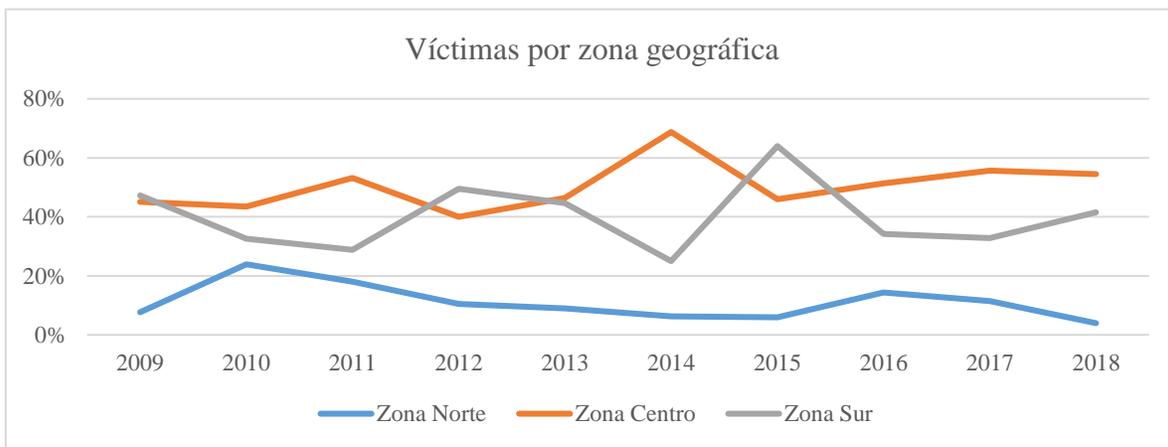


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el Mandate – Siniestros ferroviarios 2009 – 2018

Mediante el análisis de accidentes acontecidos en los últimos diez años, se destaca la zona Centro (Región Metropolitana, Región de Valparaíso, Región Libertador Bernardo O'Higgins y Región del Maule), que supera los valores promedio de accidentabilidad en todos los años durante este periodo de análisis. Seguidamente, se encuentra la zona Sur (Región de La Araucanía, Región del Bío Bío, Región de Los Ríos, Región de Los Lagos y la Región de Ñuble). Además, si se analizan los datos de accidentabilidad acontecidos en cada región, los años con el mayor número de accidentes fueron 2009 y 2011. A partir de este último año, la tendencia de accidentes fue disminuyendo, manteniendo valores promedio en torno a 85 accidentes. La región con menor número de accidentes durante este periodo, es la Región de Arica y Parinacota, seguida de la Región de Los Ríos, Coquimbo y Ñuble.

Las conclusiones que se puedan sacar a partir de estos valores podrían estar distorsionadas, porque en los últimos años ha habido importantes obras nuevas, que han obligado a suspender el tráfico ferroviario, especialmente por la construcción del corredor NosExpress, la nueva doble vía a Coronel, y también la caída de algunos puentes mayores (Tolten y Cautín).

Gráfica 5. Víctimas por región (Siniestros ferroviarios 2009-2018)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el Mandate – Siniestros ferroviarios 2009 – 2018

Las regiones con el mayor número de víctimas durante este periodo de análisis son la Región del Bío Bío, seguida de la Región Metropolitana y de la Región del Maule. Y las regiones con el menor número de víctimas son Arica y Parinacota y Coquimbo. Sin embargo, comparando las víctimas según el número de accidentes, la región con el índice de siniestralidad mayor es la de Bío Bío (3,56 vic/acc), Los Lagos (1,43 vic/acc) y Antofagasta (1,31 vic/acc), no coincidiendo necesariamente con las regiones con mayor número de accidentes y/o víctimas.

Además, si se analizan los datos totales de víctimas durante este periodo, los años con el mayor número de víctimas fueron 2009 (182 vic), 2013 (112 vic), 2011 (111 vic) y 2016 (111 vic). El año que presenta el menor número de víctimas fue el año 2015 (50 vic). Si estos

valores se comparan con el número de accidentes, se puede ver que el año con mayor índice de siniestralidad es el 2009 (1,46 vic/acc), seguido del 2016 (1,44 vic/acc) y el año 2012 (1,25 vic/acc).

Adicional a lo anterior, se dispone de otra fuente de datos que proporciona el registro de accidentabilidad durante el periodo 2011-2019¹⁰ de la empresa EFE. Gracias a este documento, se obtiene la tasa de accidentabilidad, que se refleja en la siguiente gráfica. Este índice refleja una disminución de los accidentes hasta el año 2014 y a partir de ese periodo, la tendencia de accidentes fue en aumento hasta que en el año 2018 volvió a disminuir.

Gráfica 6. Tasa de Accidentabilidad Ferroviaria 2011-2019 - EFE



Fuente: Registro Accidentabilidad periodo 2011 al 2019, Subgerencia de Seguridad Ferroviaria, EFE

Estas estadísticas que incluyen los Trenes-Km en los cálculos, sufren distorsiones en los sectores con trenes tipo metro, ya que en Metro Valparaíso y NOSEXRESS no hay cruces

¹⁰ Registro Accidentabilidad periodo 2011 al 2019, Subgerencia de Seguridad Ferroviaria, EFE

y muchas frecuencias de trenes, en cambio, en FESUR hay servicios tipo metro con frecuencias mayores de automotores y donde si hay cruces.

Como no se dispone de información suficiente para determinar el índice y la gráfica de accidentabilidad ni de mortalidad ferroviaria, se revisan otros ítems de interés, con el fin de obtener resultados que permitan determinar aquellos puntos y años, a nivel nacional, que presenten mayor frecuencia de accidentes, lo que servirá de base para realizar el análisis de costos y beneficios que acarrea disminuir la tasa de accidentabilidad.

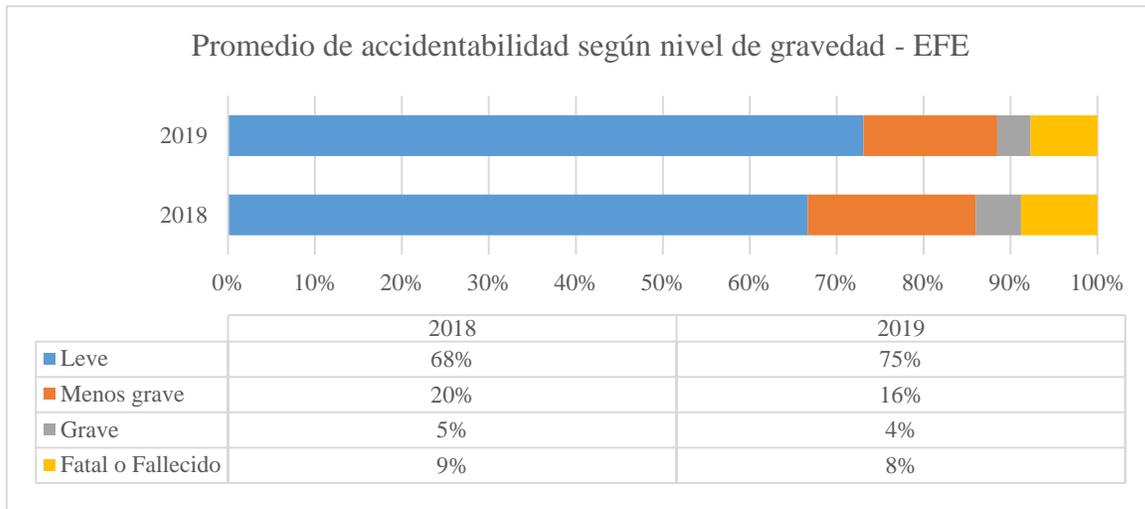
Para ello, se analizan en detalle los dos documentos proporcionados por el mandante que contienen datos de accidentabilidad, uno de ellos perteneciente a las colisiones de la empresa EFE para los años 2018 y 2019; y el otro, refleja los siniestros ferroviarios de los últimos diez años (2009-2018) elaborado por Carabineros de Chile.

A partir de lo anterior, se determinan las **tasas de participación de vehículos por accidente**, siguiendo la siguiente fórmula:

$$NVeh = \frac{\sum Veh}{NA}$$
, donde $NVeh$ es la cantidad promedio de vehículos por accidente, Veh es el cómputo total de vehículos livianos y pesados, y NA es el número de accidentes.

Como no se dispone del número total de vehículos participantes por accidente, se determina el **promedio de accidentabilidad** por año según el nivel de gravedad.

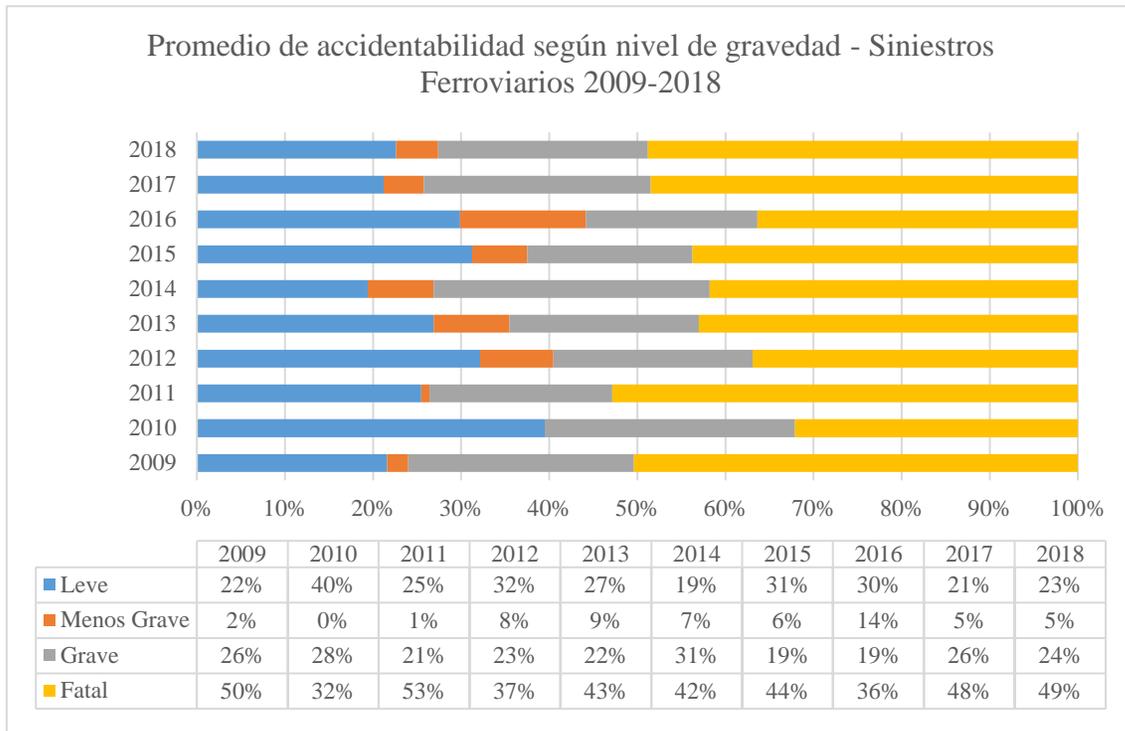
Gráfica 7. Promedio de accidentabilidad por región según nivel de gravedad 2018-2019, EFE



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el Mandate – Colisiones EFE (2019)

Se analizan los accidentes registrados por EFE durante los años 2018 y 2019 según su nivel de gravedad. A través de la gráfica anterior, se aprecia que más de la mitad de los accidentes son leves y que estos aumentaron un 7% en el año 2019, posicionándose en el 75% de los accidentes, por lo que apenas se registran lesionados. Le siguen los de carácter menos grave, representando un promedio del 18% de los accidentes totales. Los que presentan menos representatividad son los accidentes graves y fallecidos, con un promedio del 13% sobre el total de accidentes.

Gráfica 8. Promedio de accidentabilidad según nivel de gravedad – Siniestros Ferroviarios 2009-2018



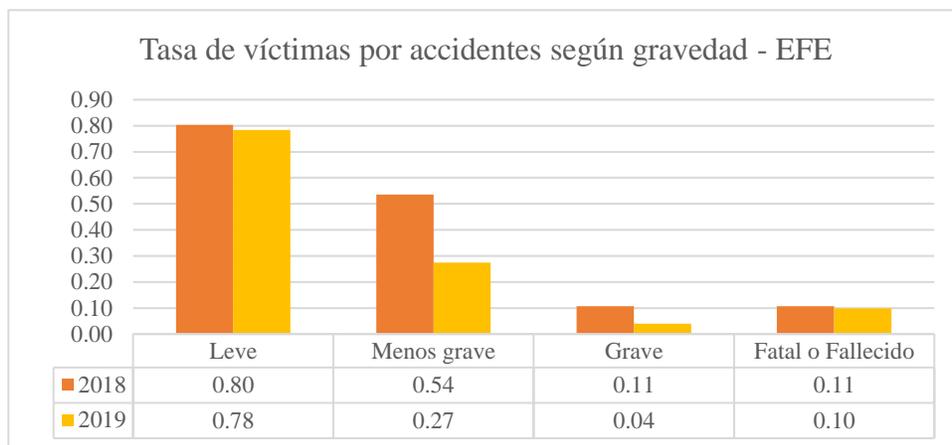
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el Mandate – Siniestros Ferroviarios 2009-2018

Además se revisan los datos de siniestros ferroviarios de los últimos años, de donde se obtiene, que el mayor porcentaje de accidentes son de tipología “Fatal”, representando en promedio el 43% de la totalidad. Esta situación difiere mucho de los datos obtenidos anteriormente en el análisis de los siniestros de EFE, donde esta tipología de accidentes representa en torno al 9% del total. Le siguen los accidentes “Leves”, con un promedio del 27 %, y los “Graves”, con un 24 %. Los de menor representatividad son los calificados como menos grave, con un 6%.

Otro factor importante a considerar es la **tasa de víctimas por accidente según gravedad** (leve, menos grave, grave, fallecidos) estableciéndose a partir de la siguiente fórmula:

$NVic = \frac{\sum Vic}{NA}$, donde $NVic$ es la cantidad promedio de víctimas por accidente, Vic es el cómputo total de lesionados leves, menos graves, graves y fallecidos, y NA es el número de accidentes.

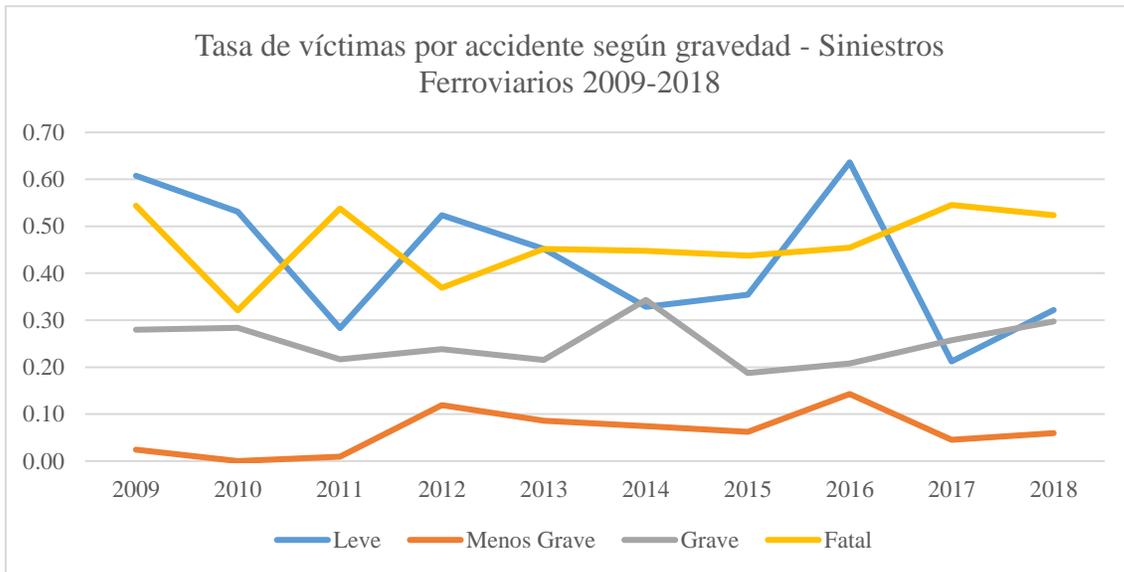
Gráfica 9. Tasa de víctimas por accidentes según gravedad 2018-2019, EFE



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el mandate – Colisiones EFE

La tasa de víctimas por accidentes según gravedad elaborada gracias a los datos de colisiones proporcionados por EFE de los años 2018 y 2019, muestra que la tasa de víctimas más alta es de accidentes “Leves”, seguida de los “Menos Grave”. Los accidentes con mayor nivel de gravedad representan tasas de víctimas más bajas.

Gráfica 10. Tasa de víctimas por accidentes según gravedad – Siniestros Ferroviarios 2009-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el Mandate – Siniestros Ferroviarios 2009-2018

Adicionalmente, se analizan las tasas de víctimas por accidente según el nivel de gravedad de los datos de siniestros ferroviarios de los últimos diez años suministrados por Carabineros de Chile, mediante el cual, se elabora la gráfica anterior que muestra que las tasas de víctimas más altas está en accidentes “Leves” (promedio de 0,42) y “Fatal” (promedio de 0,45), mientras que las más bajas están en accidentes “Menos Graves” (promedio de 0,06) y “Grave” (promedio de 0,25).

Se aclara que no se dispone de mayores datos de accidentabilidad de los ferrocarriles de la ex Red Norte de EFE hoy FERRONOR (troncal La Calera a Iquique y sus ramales).

A modo informativo se indican los accidentes del FCAB durante el año 2009:

Tabla 34. Accidentes ferroviarios zona norte 2008-2009.

Accidentes ferroviarios zona norte 2008-2009						
Comuna	año	Nombre	Km+metros	Ubicación	Tipo	Causa
Antofagasta	2009	RMEJIL	11+600	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2009	PPAL	1+500	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2009	RMEJIL	8+900	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2009	RMEJIL	5+200	Plena vía	Colisión	Detención de vehículo en plena vía
Antofagasta	2009	CRUCE		Balmaced	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2009	RMEJIL	2+500	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2009	RMEJIL	2+500	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial, vehículo se da a la fuga
Antofagasta	2009	PUERTO		Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial, vehículo se da a la fuga
Antofagasta	2008	L.P.	4+800	Cruce vial	Colisión	Trafico sobre la vía sin autorización
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	3+030	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	1+605	Cruce vial	Colisión	Detención de vehículo en plena vía
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	6+200	Cruce vial	Colisión	No respeta señalización y se da a la fuga
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	42+700	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2008	L.P.	6+280	Cruce vial	Colisión	No respetaron el cruce, ocupantes ebrios
Antofagasta	2008	L.P.	11+600	Plena vía	Colisión	Detención de vehículo cerca de la vía
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	2+800	Cruce vial	Colisión	No respeto cruce vial
Antofagasta	2008	L.P.	2+645	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2008	RAMAL MEJ.	32+500	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Antofagasta	2008	L.P.	2+040	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Mejillones	2009	Linea	42+00	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Mejillones	2008	Desvio CPM	10+500	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial
Sierra Gorda	2009	Baquadano		Baqued	Colisión	No respeto señalización vial
Sierra Gorda	2008	L.P.	Est. Sierra Gorda	Plena vía	Colisión	No respeto señalización vial

Accidentes ferroviarios zona norte 2008-2009						
Comuna	año	Nombre	Km+metros	Ubicación	Tipo	Causa
Calama	2009	Linea	239+000	PPAL	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2009	Linea	238+900	PPAL	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2009	Calama		Calama	Colisión	Detención de vehículo en plena vía
Calama	2009	Linea	241+000	PPAL	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2009	Linea	240+000	PPAL	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2009	Linea	242+000	PPAL	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	240+940	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	239+974	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	238+503	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	239+436	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	241+393	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	239+436	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	238+503	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial
Calama	2008	L.P.	239+436	Cruce vial	Colisión	No respeto señalización vial

Fuente: FCAB, 2008-2009.

Los accidentes ferroviarios en cruces a nivel ocurridos en la zona norte del país son más de tipo colisión y en su mayoría causados por no respetar las señales de tránsito.

Solo se tiene registro de accidentes de 2 años, en el año 2008 en las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Calama de la provincia de Antofagasta, donde se registraron 21 colisiones entre trenes y vehículos, así mismo para el año 2009 hubo 16 colisiones, por lo que hubo una reducción en las colisiones del 24% respecto al año anterior. Por otro lado, dentro de estas 37 colisiones ocurridas tanto en el año 2008 como 2009, hubo 15 personas con lesiones leves.

En la siguiente tabla podremos apreciar en detalle el registro entregado por la empresa de Ferrocarril Antofagasta a Bolivia (FCAB).

A.6.4 Análisis de costos y beneficios

Al obtener los costos y beneficios que consideran la desnivelación de un cruce, tanto con un paso inferior o un paso superior será posible evaluar económicamente el proyecto con el objetivo de entregar indicadores que sirvan de apoyo al proceso de decisión final en caso de existir alternativas o bien, si es rentable la implementación del proyecto. Lo anterior, desde un punto de vista social.

A.6.4.1 Costos

A.6.4.1.1 Costos de desnivelación

Para estimar los costos de inversión del proyecto se consideran las principales partidas, estas fueron obtenidas de varias fuentes de presupuestos elaborados, como lo es el caso de los presupuestos APIA XXI y FERROVIAL para los cruces de los pasos desnivelados en el **Corredor Santiago – Rancagua**, pudiendo tomar de éstos las bases necesarias para el desglose de las partidas involucradas para el desarrollo de éstos tipos de cruce.

Como resultado se obtienen dos tipos de presupuestos:

- ✓ Pasos desnivelados inferiores.
- ✓ Pasos desnivelados superiores.

Para el caso del **sistema de costos de cada partida de los cruces desnivelados**, se determinaron las siguientes partidas como base para dicha inversión:

Tabla 35. Principales partidas consideradas en costos de inversión

Ítem	Designación
1.0	Condicionamiento Faena
1.1	Obras complementarias
1.2	Preparación de la faja
1.3	Movimiento de tierras
2.0	Firmes y pavimentos
2.1	Bases y sub-bases
2.2	Pavimentos de hormigón
2.3	Pavimentos de asfálticos
2.4	Aceras
2.5	Soleras
3.0	Saneamiento y drenaje
3.1	Preparación del área de trabajo
3.2	Estructuras
3.3	Drenaje y protección de plataforma
3.4	Preparación Equipos y Materiales
4.0	Reposición de servicios
4.1	Consideraciones Generales
4.2	Agua potable
4.3	Aguas lluvias y aguas servidas
5.0	Estructuras
5.1	Infraestructura
5.2	Superestructura
5.3	Muros de contención
5.4	Muros Pared Moldeada Trinchera (con anclajes)
5.5	Muros Pared Moldeada Trinchera (sin anclajes)
5.6	Losa Supresión
6.0	Señalización y demarcación
6.1	Señalizaciones
6.2	Demarcaciones
6.3	Líneas, flechas, símbolos, leyendas y achurados
7.0	Semaforización y sincronismo
7.1	Unidades de comunicación
7.2	Controladores
7.3	Suministro elementos semaforización
7.4	Instalaciones de equipos y sistemas
7.5	Ejecución obras semaforización
7.6	Estudio de programaciones
7.7	Barreras ferroviarias

Ítem	Designación
8.0	Modificación de servicios (Eléctricos)
8.1	Postes baja tensión
8.2	Postes media tensión
8.3	Postes alta tensión
8.4	Transformadores
9.0	Iluminación Pública
9.1	Obras Civiles
9.2	Suministro e instalación de insumos eléctricos
9.3	Puesta en servicio
10.0	Desvíos de Tránsito
10.1	Elementos provisorios de seguridad
11.0	Diseño Urbano
12.0	Cruce ferroviario peatonal

Fuente: Elaboración propia en base a revisión de proyectos realizados en EFE.

Considerando las partidas anteriores, se evaluaron los costos de cruces de proyectos de paso inferior y paso superior, obteniendo un valor promedio para cada uno (ver *Anexo 2 – Estándares alternativos*, bajo el nombre de *2.4 Partida- Costos cruces desnivelados.xlsx*) y por consiguiente valores de referencia para cada tipo de desnivel. Es importante mencionar que los costes de desnivelar un cruce tienen una alta varianza, debido a que las cantidades unitarias cambiarán según las dimensiones que tenga el cruce a desnivelar.

De las partidas obtenidas se desprende que el costo privado para desnivelar un cruce ferroviario, construyendo un **paso inferior** asciende a los **UF 240.213 para aquellos de doble vía** y **UF 180.160 para los de simple vía** lo que equivale a un costo de inversión social es aproximadamente **UF 216.192** y **UF 162.144 para aquellos de doble y simple vía respectivamente.**

En el caso siguiente, para implementar un **paso superior**, el costo privado es aproximadamente **UF 202.104 para aquellos de doble vía** y **UF 151.578 para los de simple**

vía mientras que el costo de inversión social es aproximadamente **UF 181.894 y UF 136.420 para aquellos de doble y simple vía respectivamente.**

Además de lo anterior, a estas cifras se le debe agregar los **Gastos Generales y Utilidades además del costo de Expropiaciones**, el que resulta extremadamente variable, dependiendo del área donde esté ubicado el cruce.

A.6.4.1.2 Costos de mantención de señalización

De acuerdo a los antecedentes proporcionados por las empresas SEC, ENYSE y TRAIN-SERVICES (para la señalización de cruces a nivel) y la empresa TECDRA (para la carpeta de rodado de cruces a nivel), el costo de suministro e instalación de los respectivos sistemas y de su respectivo costo anual de mantenimiento son los siguientes:

- El costo de Suministro e Instalación de la señalización de un cruce a nivel en base a barreras automáticas es de 5.564 UF, valor valido para simple vía férrea.
 - Incluye señalización al tren.
 - Incluye pasarela peatonal.
 - No incluye detector de obstáculos.
 - Ni detector de la velocidad del tren.
- El costo de Mantenimiento Anual de la señalización de un cruce a nivel en base a barreras automáticas es de 278 UF.
- El costo de Suministro e Instalación de la carpeta de rodado de un cruce a nivel en base a losetas prefabricadas de hormigón armado es de 420 UF, valor valido para simple vía férrea y para calzada de 7,0 m.
 - Incluye viga solera separadora de la carpeta y los accesos viales.
 - Incluye mecanismo de levante de las losetas para nivelación vía.
 - Para carpeta de emparrillado de rieles considerar 75% del valor.
 - Para carpeta de paneles de durmientes de madera considerar 50% del valor.
- El costo de Mantenimiento Anual de la carpeta de rodado de un cruce a nivel en base a losetas prefabricadas de hormigón armado es de 21 UF.

Los valores son válidos para cualquier cruce de la red sur de EFE, con o sin señalización y con o sin electrificación.

Para doble vía, los costos de señalización se deben aumentar un 25% y los costos de carpeta de rodado se deben aumentar un 75%.

A.6.4.1.3 Costos de medición del Índice de Peligrosidad

Según la información proporcionada por EFE, en base a mediciones de 2014-2015, el costo asociado a la medición de Índice de Peligrosidad se muestra en la tabla siguiente:

Total Zona Norte	\$ 98.814.000
Total Zona Centro 1	\$101.152.000
Total Zona Centro 2	\$108.486.000
Total Zona Sur	\$95.000.000
Total 575 cruces	\$403.452.000
Promedio unitario	\$701.656

Es decir, en la RED Ferroviaria de EFE completa, se catastraron 575 cruces, con un valor total neto de \$ 403.452.000, lo que da un valor unitario por catastrar 1 cruce de \$ 701.656.- valor neto.

Actualizando estos valores a la fecha del presente Estudio, y considerando partidas generales que a criterio del Consultor son las requeridas, se indica en la tabla siguiente los valores estimados, válidos para cualquier zona:

Tabla 36. Costo para medir el IP de un cruce

Nº	DESIGNACIÓN	UNID	CANT	PU (\$)	VT (\$)
1	2 Operarios para tomar el censo durante 3 días	HH	72	3.500	252.000
2	1 Topógrafo con Taquimetro	HH	6	14.000	84.000
3	2 Operarios Alarifes con Miras	HH	12	3.500	42.000
4	1 Chofer con Camioneta doble cabina	HH	6	10.000	60.000
5	Combustible	Lts	30	1.000	30.000
6	Peajes	Nº	2	3.000	6.000
7	1 Técnico para procesar la información con PC	HH	3	10.000	30.000
8	1 Dibujante en CAD	HH	3	7.000	21.000
9	1 Administrativo	HH	3	5.000	15.000
10	Articulos de Oficina	GL	1	10.000	10.000
11	Alimentación para personal de ítems 2, 3 y 4	GL	1	20.000	20.000
12	Alojamiento para personal de ítems 2, 3 y 4	GL	1	40.000	40.000
	COSTO DIRECTO				610.000
	GASTOS GENERALES 10%				61.000
	IMPREVISTOS 5%				30.500
	UTILIDAD 30%				183.000
	COSTO NETO				884.500
	IVA 19%				168.055
	COSTO BRUTO				1.052.555

Fuente: Elaboración propia.

A.6.4.2 Beneficios

Para permitir la evaluación social de un proyecto ferroviario, se deberán obtener beneficios sociales, los que estarán basados en la cuantificación de ahorros asociados a los siguientes consumos de recursos:

A.6.4.2.1 Costos de Tiempo de Viaje de los vehículos y trenes en la situación base y proyecto

Para determinar los costos de tiempo de viaje de cada modo de transporte se debe considerar una modelación de la operación de transporte de la situación “Con Proyecto” y “Sin Proyecto” asociados a los usuarios que se movilizan en la red. Para determinar los beneficios del proyecto, es necesario valorar el tiempo de viaje consumido por los usuarios de la red considerando el modo de transporte en el que viajan según lo establecido en el Sistema Nacional de Inversiones (*ver Tabla 37. Valor Social del tiempo Urbano e Interurbano*).

Existen dos casos posibles en la valoración del tiempo: un valor por pasajero diferenciado por modo de transporte (correspondiente al caso actual) y un valor por pasajero único e igual para todos los modos de transporte.

Asumiendo que en el caso de una desnivelación de un cruce ferroviario no se producirán cambios en la partición modal, el ahorro de tiempo de viaje se verá reflejado cuando los distintos modos de transporte como trenes, vehículos livianos y pesados no tengan la obligación de disminuir la velocidad o detenerse.

Los **Valores Sociales del Tiempo** se presentan a continuación:

Tabla 37. Valor Social del tiempo Urbano e Interurbano

Viaje	Tipo	VST	Unidad
D	Viaje	1.765	\$/hora-pasajero

Viaje	Tipo	VST	Unidad
	Espera	3.529	
	Caminata	5.294	
Interurbano	Automóvil	19.647	\$/hora por vehículo
	Camioneta	18.027	
	Bus Rural	166.535	
	Bus Interurbano	141.463	
	Tren	5.684	\$/hora-pasajero
	Avión	15.899	
	Camión	8.738	\$/hora por vehículo

Fuente: Precios Sociales 2018, Ministerio de Desarrollo Social.

El costo total por tiempo de viaje asociado a pasajeros se determina de la siguiente expresión:

$$CTV(S) = \sum_p \sum_m \sum_j P_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p * VST_m * f^p$$

(Ecuación A.6-9)

Dónde:

$CTV(S)$: Costo total por tiempo de viaje, en \$/año, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto (P)

$P_{mj}^p(S)$: Flujo de pasajeros en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el arco j, en el modo m, en el período p, en pax/unidad temporal del período p.

TV_{mj}^p : Tiempo de viaje en la situación S: SP y CP; Alternativa de Proyecto, para el arco j, en el modo m, en el período p, en horas/pax.

VST_m : Valor social del tiempo para el pasajero en el modo m (en el caso de que el valor del tiempo esté determinado asociado al vehículo, el modo m siempre debe corresponder a aquel

que utiliza en la situación SP, de manera tal de no cambiar su valor del tiempo debido al cambio de modo en la situación CP, aunque evidentemente sí cambia su tiempo de viaje).

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

En el caso de transporte de carga, el costo del transporte de carga se calculará según la siguiente expresión:

$$CTV(S) = \sum_p \sum_m \sum_j F_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p * VST_m * f^p + \sum_p \sum_m \sum_j C_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p * VST_c * f^p$$

(Ecuación A.6-10)

Donde, la primera componente corresponde al tiempo de viaje asociado a los vehículos (tripulación) y la segunda componente corresponde al tiempo de viaje asociado a la carga, con:

$CTV(S)$: Costo total por tiempo de viaje en la Situación SP (SP) o CP (P), en \$/año.

$F_{mj}^p(S)$: Flujo vehicular del modo m, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el período p, en veh/unidad temporal del período p.

TV_{mj}^p : Tiempo de viaje en la situación S: SP y CP; Alternativa de Proyecto, para el arco j, en el modo m, en el período p, en horas.

VST_m : Valor social del tiempo para el vehículo en el modo m.

$C_{mj}^p(S)$: Flujo de carga del modo m, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el período p, en ton/unidad temporal del período p.

VST_c : Valor social del tiempo de carga (\$/ton-h). Nótese que si no se define un valor social del tiempo para la carga, este parámetro es igual a cero, anulando con ello la segunda componente de la expresión.

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

Luego, los beneficios anuales por tiempo de viaje del proyecto quedan dados por:

$$B_{TV} = [CTV(Base)_{Pax} + CTV(Base)_{carga}] - [CTV(Proy)_{Pax} + CTV(Proy)_{carga}]$$

(Ecuación A.6-11)

A.6.4.2.2 Otros Costos de operación en la situación base y proyecto

Estos costos están asociados a la operación de los vehículos (incluidos sus costos fijos). Los beneficios se obtienen de la diferencia entre la situación Sin Proyecto (SP) y Con Proyecto (CP)

Se debe separar el cálculo de los costos de operación asociados al proyecto ferroviario de los correspondientes a la red multimodal (cuando ella exista). Esto dado que los costos asociados directamente al proyecto poseen un proceso de estimación diferenciado y específico, a diferencia de los costos de la red multimodal que se determinan a partir de funciones analíticas y valores unitarios por arco o par O-D.

Para determinar los costos de operación totales en la red en la Situación SP y CP, se utiliza la siguiente expresión:

$$COT(S) = \sum_p \sum_v \sum_j F_{vj}^p(S) * CO_{vj}^p(S) * L_j(S) * f^p$$

(Ecuación A.6-12)

Dónde:

$COT(S)$: Costo total de operación en la red multimodal, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en \$/año.

$F_{vj}^p(S)$: Flujo vehicular del vehículo v, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el período p, en veh/unidad temporal del período p.

$CO_{vj}^p(S)$: Costo de operación unitario del vehículo v, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en \$/veh-km.

$L_j(S)$: Longitud del arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto en km.

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

Los costos unitarios por veh-km para cada modo considerado en la red multimodal, se determinan de acuerdo a lo expuesto anteriormente para los modos ferroviario y vial.

Lo mismo, en relación a los costos operacionales asociados directamente al proyecto ferroviario.

Luego, los beneficios anuales por costos de operación del proyecto quedan dados por:

$$B_{CO} = [COT(Base)_{Pax} + COT(Base)_{Carga}] - [COT(Proy)_{Pax} + COT(Proy)_{Carga}]$$

(Ecuación A.6-13)

A.6.4.2.3 Eliminación de riesgo de colisiones con el tren

Se recomienda además incluir en la evaluación económica los costos sociales que producen los accidentes ferroviarios, considerando que al implementar un paso a desnivel en un cruce ferroviario, la cantidad de accidentes se podría reducir en un 100%¹¹ generando beneficios sociales por ahorros de costos sociales por accidentes.

Gracias al análisis realizado en el apartado **A.6.3 Análisis de antecedentes de accidentabilidad**, se dispone de los datos suficientes para determinar el **costo del accidente promedio** a partir de un vector de precios sociales actualizado, tal como se puede ver en las siguientes tablas (para mayor desglose ver **Anexo 2 – Estándares Alternativos**, archivo bajo el nombre de **2.3 Análisis de accidentabilidad**)

Tabla 38. Vector de costo social por lesionado según nivel de gravedad del accidente

Nivel de Gravedad	Costo Total Lesionado (UF/lesionado)
Leve	27,86
Menos Grave	36,35
Grave	133,52
Fatal	81841,34 ¹²

Fuente: MIDESO – Costo Social de los Siniestros de Tránsito en Chile, 2018¹³

Los costos medios sociales considerados globalmente son los siguientes:

¹¹ Según lo mencionado en Cuadro N°10 Factores Reducción de Accidentes de “METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES POR DISMINUCIÓN DE ACCIDENTES EN PROYECTOS DE VIALIDAD INTERURBANA”.

¹² Valor obtenido con la suma de costos por tratamiento, administrativos y costo humano

¹³ <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2019/07/Costos-accidentes-2018.pdf>

Tabla 39. Vector de costo social por daños a vehículo según tipo de accidente

Tipo de accidente	Costo Total Vehículo (UF/lesionado)	
	Vehículos Livianos	Vehículos pesados
Atropello	19,64	1,39
Caídas	0	0
Choque	131,28	42,99
Colisión	147,33	75,28
Volcadura	206,07	62,59
Otros	0	0

Fuente: MIDESO - Metodología Transporte Ferroviario 2018

Sin embargo, en el caso de los accidentes ferroviarios, los accidentes de mayor relevancia son los de tipo atropello y colisiones con vehículos livianos en cruces a nivel. Se presentan a continuación los valores unitarios requeridos.

Tabla 40. Costos sociales unitarios accidentes ferroviarios (UF)

Ítem	Atropellos	Colisiones en Cruce a Nivel
Daño Vehículo Liviano (UF/veh)	-	228,77
Daño Vehículo Pesado (UF/veh)	-	459,26
Daño Equipo Ferroviario (UF/tren)	S/I	1724,67
Infraestructura y despeje de la vía (UF/acc)	165,72	231,26

Fuente: MIDESO - Metodología Transporte Ferroviario 2016

Para estimar los costos medios de accidentes según la información entregada por EFE y utilizando los factores de las tablas anteriores, es necesario disponer de la cantidad de vehículos involucrados en cada accidente y por lo tanto, a recomendación de la contraparte se considerará un vehículo por colisión o atropello. Con respecto a la tipología de vehículos involucrado en cada accidente, se considerará que para cada año solo un vehículo pesado fue partícipe, mientras que para la cantidad restante se considera la participación de vehículos

livianos, esto con un criterio conservador, con el objetivo de no sobreestimar los beneficios sociales por disminución de accidentes.

En base a lo anterior, se obtiene el costo social medio de accidentes con información entregada por EFE de colisiones en cruces para los años 2018 y 2019, que se presenta a continuación.

Tabla 41. Costo social medio de accidentes - EFE

Costo social	Año		Costo Promedio
	2018	2019	
Costo de víctimas (UF/año)	318.101,47	343.704,08	330.902,78
Costo de vehículos livianos ¹⁴ (UF/año)	12.582,35	982	6.782,175
Costo de vehículos pesados (UF/año)	25718,56	23422,26	24570,41
Costo de ferrocarriles (UF/año)	96581,52	87958,17	92269,85
Costo social total del accidente (UF/acc año)	452.983,90	456.066,51	454.525,21

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el mandate – Colisiones EFE

En este caso, se obtiene un costo social medio de accidente de 454.525,21 UF/acc año. Es necesario destacar que estos datos **no se pueden considerar vinculantes debido a que la base de datos de accidentes solo considera dos años.**

Por lo anterior, considerando la base de datos con información de Carabineros de Chile que contiene accidentes según nivel de gravedad y tipo de accidente, para este caso los costos sociales medios fueron calculados con los vectores de precios sociales que incluyen todos los

¹⁴ Tal como se indica antes de la tabla, se considera que la gran mayoría de vehículos involucrados son de tipo liviano (solo se considera un vehículo pesado en el total de accidentes por año).

tipos de accidente (atropello, caída, choque, colisión, descarrilamiento y otros) según se dispuso.

Tabla 42. Costo social medio de accidente – Siniestros Ferroviarios 2009-2018

Año	Costos		
	Costo de víctimas (UF/año)	Costo de vehículos (UF/año)	Costo social medio del accidente (UF/acc año)
2009	3.030.073,32	8.097,95	3.038.171
2010	684.529,52	6.214,5	690.744
2011	2.509.417,51	7.465,94	2.516.883
2012	937.625,09	4.819,76	942.445
2013	1.553.473,15	7.977,56	1.561.451
2014	1.100.630,31	5.561,78	1.106.192
2015	752.317,18	4.455,67	756.773
2016	1.303.391,08	7.582,69	1.310.974
2017	1.607.738,66	5.704,72	1.613.443
2018	1.887.494,08	6.016,17	1.893.510
Total Promedio	1.536.669	6.389,67	1.543.059

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos enviados por el mandate – “Siniestros Ferroviarios 2009-2018”

Para el caso de los siniestros ferroviarios presentados en la base de datos de Carabineros de Chile en los últimos diez años, se obtiene un costo social medio por accidente de 1.543.059 UF/acc año.

Si se repite el ejercicio anterior **considerando únicamente los accidentes de tipo Choques y Colisiones, el costo social medio por accidente es de 1.229.128 UF/acc año**, para ello, se consideró la disminución de aproximadamente un 20% en las víctimas, relación obtenida entre la cantidad de accidentes de tipo colisión y choques versus el total de accidentes.

Como análisis, se repitió el ejercicio anterior utilizando los valores definidos en *Tabla 40. Costos sociales unitarios accidentes ferroviarios (UF)* obteniendo un costo social medio por accidente de 1.231.863 UF/año acc. Lo anterior permite concluir que el tipo de accidente más frecuente es el de colisión o choque, y por lo tanto, si se eliminan los otros tipos de accidentes, el costo social medio por accidente anual no sufre cambios drásticos.

Para determinar el **costo social total de una red** de transporte se aplica la siguiente fórmula para escenario base y proyecto:

$$CS = CVL * NVL + CVP * NVP + CLL * NLL + CLM * NLM + CLG * NLG + CF * NF$$

(Ecuación A.6-14)

Donde:

CS: es el costo social medio del accidente (UF/acc).

CVL: es el costo por daños materiales de un vehículo liviano (UF/veh).

CVP: es el costo por daños materiales de un vehículo pesado en un accidente (UF/veh).

CLL: es el costo de un lesionado leve (UF/lesionado).

CLM: es el costo de un lesionado menos grave (UF/lesionado).

CLG: es el costo de un lesionado grave (UF/lesionado).

CF: es el costo de un fallecido (UF/fallecido).

NVL: es la cantidad de vehículos livianos involucrados en el accidente (veh/acc).

NVP: es la cantidad de vehículos pesados involucrados en el accidente (veh/acc).

NLL: es la cantidad de lesionados leves involucrados en el accidente (les/acc).

NLM: es la cantidad de lesionados menos graves involucrados en el accidente (les/acc).

NLG: es la cantidad de lesionados graves involucrados en el accidente (les/acc).

NF: es la cantidad de fallecidos involucrados en el accidente (fall/acc).

Con lo anterior será posible obtener indicadores de rentabilidad social y evaluar la conveniencia de implementación de un proyecto de desnivelación de cruce ferroviario.

A.6.5 Análisis red ferroviaria privada

De acuerdo a la información recopilada y analizada en el capítulo *A.4 Recolección y análisis de antecedentes*, se procedió a realizar un análisis general de la **red ferroviaria privada nacional**.

Cabe aclarar que la información de cruces públicos (valores, estimaciones de inversión total, fuente de inversión, calendario de inversión y plazo de ejecución) puede ser utilizada de igual forma para la red ferroviaria privada.

Para el año 2014 la infraestructura ferroviaria de Chile abarca unos 6.216 kilómetros de vía férrea, extendiéndose de Iquique a Puerto Montt y desde Arica a Visviri.

La **red ferroviaria en la zona norte** del país se encuentra privatizada por 4 empresas Ferrocarril de Antofagasta (FCAB), Empresa de Transporte Ferroviario S.A (FERRONOR), Compañía Minera del Pacífico S.A (CMP) y Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), esta última empresa actualmente no cuenta con operación comercial. Así mismo en la zona norte del país existe operación ferroviaria estatal, esta es operada por Ferrocarril Arica-La Paz, filial de EFE.

Por otro lado, la **red ferroviaria de la zona sur** es propiedad pública, esta es administrada por la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (EFE), y sobre ella operan los porteadores privados de carga: Ferrocarriles del Pacífico S.A (FEPASA) y Transporte Ferroviario Andrés Pirazzoli S.A (TRANSAP).

Las empresas ferroviarias son las que tienen la facultad para otorgar autorización para la construcción de cruces particulares en sus vías férreas. Los interesados deben presentar una solicitud al Administrador de la Empresa, tratándose de Ferrocarriles Particulares, y al Jefe del Departamento de Transporte, si se trata de ferrocarriles del Estado.

A continuación se hará un breve resumen de las empresas operadoras de la red ferroviaria privada.

A.6.5.1 Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia (FCAB).

El Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia es una compañía inglesa de propiedad de inversionistas chilenos.

La red del FCAB consta básicamente de dos líneas, ambas de trocha métrica: la principal, de Antofagasta a Ollagüe, en la frontera con Bolivia (441 km) y el ramal de O'Higgins a Augusta Victoria, que conecta a través de la línea Augusta Victoria-Socompa de Ferronor, con la línea a Salta del Ferrocarril General Belgrano de igual trocha. Cuenta con una longitud total de 799 Km.

La red del FCAB tiene una flota de aproximadamente 50 locomotoras diésel de diversos tamaños y potencias, de las cuales las locomotoras de línea son General Motors modelo GR12 de considerable antigüedad (45+ años), algunas de las cuales provenían del ferrocarril de Terranova, en Canadá.

Los tráficos más importantes del FCAB son el comercio exterior de Bolivia y los productos e insumos de las industrias cupríferas localizadas en Chuquicamata, Zaldívar y Mantos Blancos. También el FCAB opera un tren de pasajeros que une Calama con Ollagüe y La Paz semanalmente.

A.6.5.2 Ferrocarril del Norte (FERRONOR).

El Ferrocarril del Norte (Ferronor), se constituyó a partir de la antigua Red Norte de EFE.

La línea central del Ferrocarril del Norte va desde La Calera Km 0,0 hasta Iquique Km 1.880, aunque está interrumpida en un tramo de 13 km entre Coquimbo y La Serena (Km 492), tramo que pertenece a CMP. Cuenta con una longitud total desde La Calera a Iquique de 1.867 Km.

Las actividades se concentran principalmente en el transporte de alto tonelaje: Los Colorados, Minsal, tráfico internacional por Socompa, peajes y la operación del ferrocarril de Codelco Salvador. La longitud total de vías férreas es de 2.217 km.

El equipo rodante de Ferronor está compuesto en su mayoría por locomotoras de línea con más de 1400 HP, así como algunas locomotoras de maniobras.

En la zona norte la actividad principal es la minería metálica (Codelco, CMP) y no metálica (SQM) y en ambas Ferronor tiene contratos de importancia. Sin considerar los transportes de minerales de hierro, donde Ferronor tiene prácticamente el 100%, puede estimarse una tasa de participación del orden del 30%. Sin embargo, el 70% restante es poco susceptible de transporte ferroviario.

A.6.5.3 Ferrocarril de Algarrobo a Huasco (FAH) de la empresa CMP.

El ferrocarril de la mina El Algarrobo a la Planta de Pellets de Huasco tiene tres secciones diferentes y cuenta con una longitud total de 86 km.

El primer tramo (50 km), desde la mina, ubicada al suroeste de Vallenar, hasta Maitencillo, en el valle del río Huasco. El segundo tramo (28 km) corresponde al sector del ramal entre Maitencillo y Empalme, poco antes de la localidad de Huasco. El tercer tramo (8 km), corresponde al acceso a la Planta de Pellets, ubicada frente al puerto Guacolda, en la localidad de Huasco.

Los trenes de CMP estaban compuestos de 24 carros de 60 [t] de capacidad, remolcados por una locomotora General Motors de 1.400 HP modelo GR12. Actualmente la mayor parte del equipo (carros y locomotoras) fue traspasada al contrato de Los Colorados, quedando al servicio de Algarrobo dos locomotoras (de 5) y 30 carros (de 122). Este tren tiene una capacidad de 2.900 [t/día] equivalente a un millón de toneladas anuales.

La explotación de El Algarrobo –y de otras minas cercanas, como Domeyko continuará mientras se mantenga el precio del hierro y CMP no tiene planes para levantar el primer tramo de esta línea. Los otros tres tramos se utilizan para el transporte de Los Colorados, mina que se encuentra en plena producción.

A.6.5.4 Ferrocarril de Romeral (FRG) de la empresa CMP.

El ferrocarril de la mina El Romeral al Puerto de Guayacán tiene tres secciones diferentes y cuenta con una longitud total de 38 km.

El primer tramo (22 km), desde la mina, ubicada al norte de La Serena, hasta el Empalme Km 492 en la línea central norte, en el valle del río Elqui. El segundo tramo (13 km), corresponde a un sector de la línea central, entre La Serena (Km 492) y Coquimbo. El tercer tramo (3 km), corresponde al desvío de acceso al puerto mecanizado de Guayacán.

Los trenes de Romeral están compuestos normalmente de 22 carros de 55 [t] de capacidad, remolcados por una locomotora General Motors de 1.400 HP modelo GR12.

La mina El Romeral produce anualmente unos 2 millones de toneladas de mineral, el que se transporta en trenes propios, inicialmente pagando peajes a EFE en el sector de su propiedad, actualmente en una operación integral.

A.6.5.5 Ferrocarril de Tocopilla (FCTT) de la empresa SQM.

El ferrocarril pertenece a la empresa SQM y forma parte de una de sus filiales, SIT. Actualmente está dedicado solamente al transporte de insumos y productos de las explotaciones de salitre de SQM en María Elena, Pedro de Valdivia y Coya Sur. Cuenta con una longitud total de 127 Km entre Tocopilla y Pedro de Valdivia.

El equipo rodante de SQM está compuesto entre locomotoras eléctricas (7) y a diésel (3), así como algunas locomotoras de maniobras (9).

Actualmente el ferrocarril transporta sólo los insumos y productos de las plantas de SQM, por lo que los volúmenes transportados dependen de la producción y ventas de SQM. El transporte del ferrocarril puede ser menor debido a que demandas puntuales que exceden su capacidad se movilizan por camiones.

Por tratarse de un ferrocarril de servicio propio, su mercado potencial está dado solamente por el transporte de insumos y productos de SQM. El ferrocarril debería transportar el 100% de este mercado, pero no tiene capacidad para atender demandas puntuales más altas.

A.7 Auditoría de seguridad vial

En este punto se analizará la seguridad relativa a los viales que forman parte de cinco (5) cruces públicos ferroviarios a nivel, de la red de EFE, elegidos para análisis.

La seguridad vial se levanta como un pilar fundamental para garantizar un sistema eficiente. Mejorar la seguridad vial no solamente ayudará a mejorar el estándar de circulación y tiempos, sino que permitirá bajar la tasa de siniestralidad, y evitar con ello posibles cortes operacionales y los consiguientes costos humanos y materiales asociados al incidente.

El desarrollo de la auditoría incluye las siguientes actividades:

- Revisión de la documentación:
 - Recopilación de fotografías y planos entregados por parte del Mandante.
- Identificación de problemas de seguridad vial:
 - Identificación de elementos y deficiencias de la infraestructura que supongan un peligro potencial para la seguridad viaria.
 - Identificación de riesgos y peligros que puedan preverse a la luz de comportamiento de los usuarios.

Los aspectos a considerar dentro de la auditoría son:

- Visibilidad de la señalización vertical y horizontal requerida.
- Adecuación y legibilidad de la señalización vertical y horizontal.
- Adecuación del balizamiento.
- Adecuación del estado del firme y del sistema de drenaje.
- Condiciones de seguridad de las márgenes.
- Adecuación del tipo y disposición de las protecciones.

Para realizar una auditoría con mayor detalle se recomienda organizar una lista de chequeo y aplicarla en los cruces ferroviarios a los cuales se les requiera auditar. Entre los principales ítems a chequear se encuentran los indicados en la siguiente ilustración:

Ilustración 34. Resumen de ítems lista de chequeo para Auditoría de Seguridad Vial en cruces públicos a nivel

ITEM	
I	Alcances generales
	Nivel de protección del cruce
	Distancias de visibilidad
	Actividad del ferrocarril
	Operación del ferrocarril
	Accesos de emergencia
	Trabajos temporales
II	Alineamiento y sección transversal
	Localización
	Visibilidad, distancia de visibilidad
	Velocidad de diseño
	Legibilidad del cruce
	Anchos
	Distribución
III	Drenaje
	Drenaje
IV	Tránsito no motorizado
	Trayectorias
	Barreras y defensas
	Superficie
	Movilidad reducida
	Ciclistas
V	Señalización vertical e iluminación

ITEM	
	Iluminación de la vía
	Conflictos de señalización
	Señalización vertical
VI	Demarcación y delineación
	Demarcaciones
	Delineación
	Tachas
VII	Señales y barreras
	Operación
	Visibilidad
VIII	Pavimentos
	Defectos del pavimento
	Resistencia al deslizamiento
	Material suelto
	Acumulación de aguas

Fuente: Elaboración propia everis (2019)

En el **Anexo 3 – Auditoría Seguridad Vial**, se encuentra un formato de lista de chequeo con mayor desglose, bajo el nombre de *3.1 Formato Lista de Chequeo.doxs*.

Dentro del alcance de este Estudio está contemplada la realización de una Auditoría de Seguridad (con alcance solo de gabinete), a 5 cruces ferroviarios a nivel, desarrollada a partir de antecedentes proporcionados por la Contraparte Técnica. Estos cruces seleccionados son:

1. Pablo Neruda-Angamos (San Antonio, Valparaíso).
2. San Pedro (San Pedro, Valparaíso).
3. Peñaflores (Peñaflores, RM).

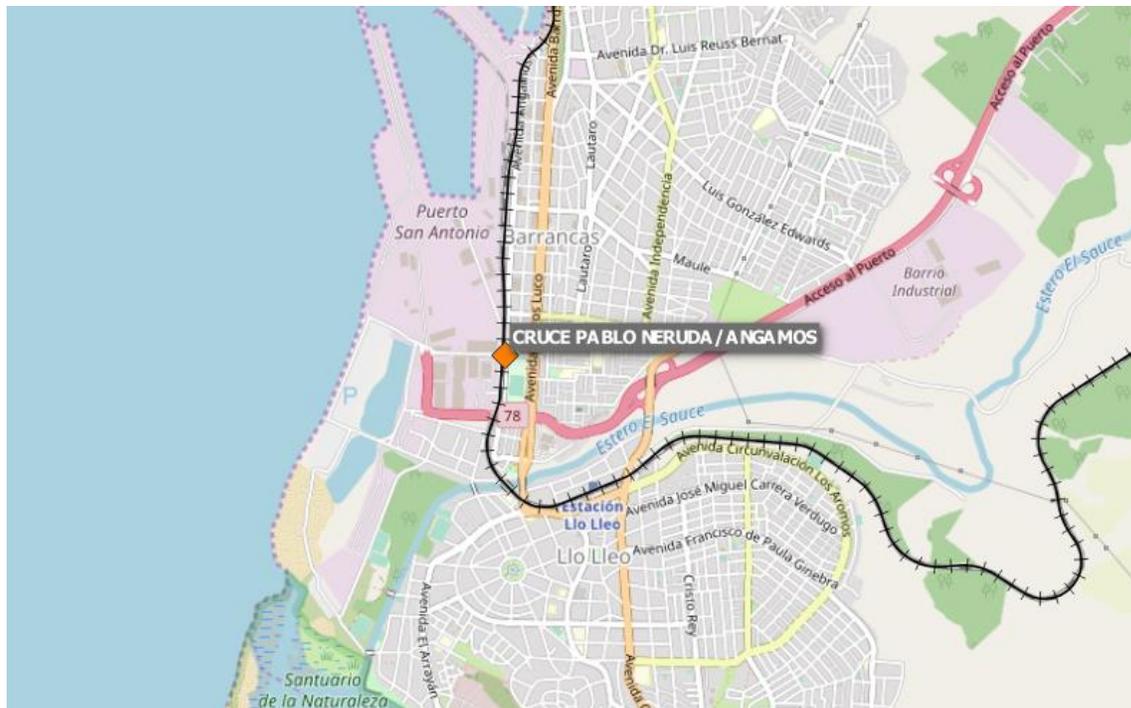
4. Desiderio Sanhueza (Concepción, Biobío).
5. La Capilla (Maipú, RM).

A continuación se presentan los resultados de la Auditoría de Seguridad Vial, indicando descripción de los cruces, la identificación de deficiencias y recomendaciones.

A.7.1 Cruce Ferroviario N°1: Pablo Neruda-Angamos (San Antonio, Valparaíso)

- ✓ **Ubicación:** Km 110,000 Ramal Santiago-San Antonio.

Ilustración 35. Esquema de ubicación del cruce



Fuente: Elaboración propia sobre mapa de OpenStreetMap.

- ✓ **Coordenadas:** Latitud: -33.602882°; Longitud: -71.615442°

Ilustración 36. Ubicación georreferencial del cruce



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

- ✓ **Viales:** Calle Pablo Neruda/Siete Sur en sentido perpendicular a la vía; calle Angamos y calle Bernardo O'Higgins paralelas a la línea férrea (una por cada lado).
- ✓ **IP:** 635.036
- ✓ **V:** 4.368
- ✓ **T:** 25
- ✓ **MC:** 109.200
- ✓ **K= IP/MC:** 5,82 (aceptable visibilidad). Las calles paralelas a la vía férrea permiten una faja de visibilidad de la vía suficiente del cruce, siempre que no se estacionen vehículos.
- ✓ **Planta:** Vía férrea simple y calles sin curvas, y cruce perpendicular.
- ✓ **Cruce:** No regularizado, debe ser regularizado en Art 1° del DS 252.
- ✓ **Descripción:**

- Se trata de un cruce en zona industrial al que acceden vehículos del propio vial perpendicular a la vía férrea y de las calles paralelas a la línea férrea.
- El cruce se encuentra regulado por señal de PARE y barreras manuales.
- Se dispone de alumbrado público en la zona.

✓ **Deficiencias:**

- De acuerdo a la información de la que se dispone, se observan deficiencias en la señalización horizontal y vertical, así como en la semaforización del cruce, por lo que no se advierte adecuadamente al conductor de la presencia del cruce ferroviario.
- En cuanto a la señalización de advertencia, hay señales de advertencia de cruce ferroviario a nivel con barreras manuales, en las aproximaciones al cruce ferroviario en las calles Pablo Neruda y Siete Sur, pero no en los accesos paralelos de calles Angamos y O'Higgins.
- La señalización de la señal PARE se encuentra demasiado próxima a la vía, siendo lo ideal una separación de 4 m. tal como se indica en el Decreto N° 38 de 1986 "Señalización de cruces ferroviarios públicos a nivel". Sin embargo, debe considerarse que la norma de seguridad vía de EFE establece un galibo de seguridad de 2,1 m. medidos del eje vía, El Manual de Carreteras de MOP en la tabla 3.404.208(1). A la línea de detención vial debe ser a 1,5 m. del riel más próximo.
- En cuanto a la señalización horizontal, el cruce carece de cualquier tipo de demarcación, tanto en la aproximación al cruce ferroviario como en los cruces adyacentes con las calles paralelas, faltando las demarcaciones relativas a separación de pistas, flechas de indicación de movimientos, símbolo de cruce de ferrocarril, símbolo de PARE pintado en la calzada que refuerce la señal vertical y línea de parada.

- Por otra parte, el cruce no cuenta con pasarela peatonal que permita a los peatones un paso seguro a través del cruce, tampoco se observa una zona de espera ni torniquetes o laberintos.
 - De acuerdo a la IP del cruce y al MC se considera que además el cruce debe contar con señalización activa automática y no barrera manual.
 - Para contar con una buena visibilidad de la vía desde los viales de cruce, se considera que debe existir una zona con prohibición de aparcamiento en las calles paralelas a la vía en la zona de aproximación al cruce.
 - La caseta del guarda-cruzada afecta la visibilidad del cruce.
 - La carpeta de rodado es solo tierra, debería al menos ser de asfalto con guardarrieles.
 - Los cierros de la faja vía en los accesos al cruce afectan la visibilidad, la faja vía debe tener un ancho de 14 m., 7 a cada lado.
 - Las calles paralelas a la vía férrea no tienen pistas de desaceleración.
- ✓ **Recomendaciones:**
- Colocar losetas de HA en la carpeta.
 - Usar garita transparente (muros de reja).
 - Ensanchar los cierros de la faja vía.
 - Colocar machones separadores de pistas viales.
 - Colocar banderista con barreras automáticas.
 - Prohibir el estacionamiento en las calles paralelas a la vía férrea.
 - Dotar al cruce de pasadas peatonales.
 - Dotar a las calles paralelas de pista de desaceleración.

✓ **Inventario fotográfico:**

Ilustración 37. Fotografías cruce



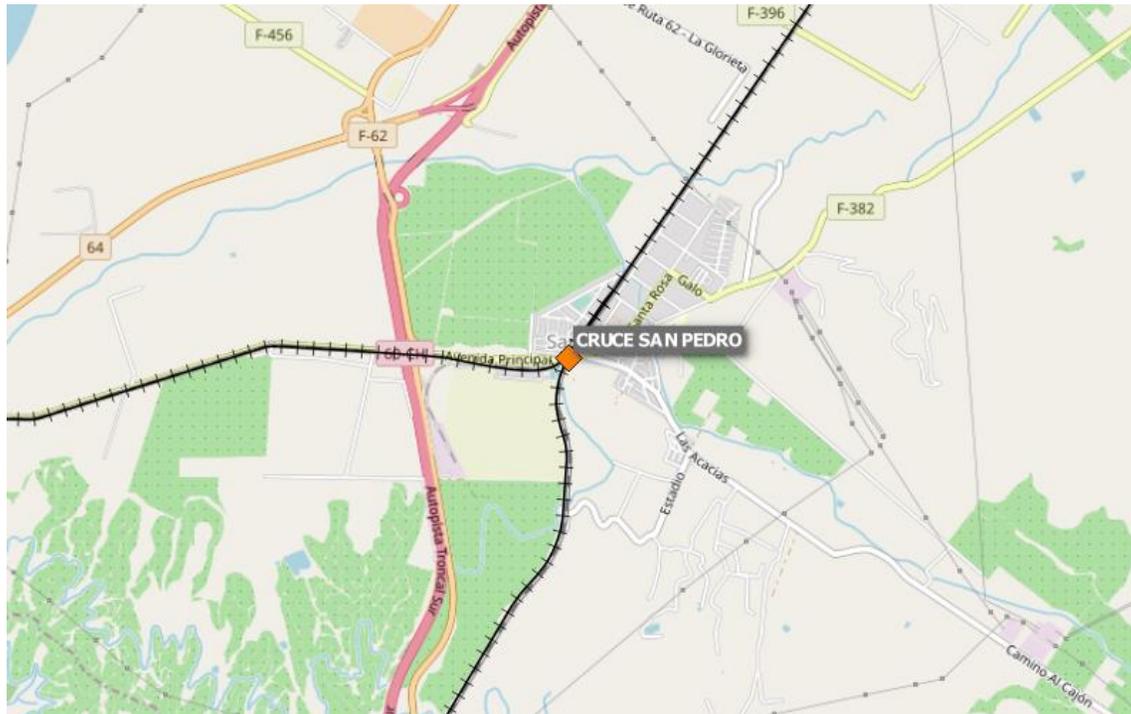


Fuente: MTT

A.7.2 Cruce Ferroviario N°2: San Pedro (San Pedro, Valparaíso)

- ✓ **Ubicación:** Km 138,345 Ramal Santiago – Valparaíso.

Ilustración 38. Esquema de ubicación del cruce



Fuente: Elaboración propia sobre mapa de OpenStreetMap.

- ✓ **Coordenadas:** Latitud: -32.939343°; Longitud: -71.277820°

Ilustración 39. Ubicación georreferencial del cruce



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

- ✓ **IP:** 259.635
- ✓ **V:** 3.170
- ✓ **T:** 6 (cantidad menor de trenes, todos de carga).
- ✓ **MC:** 19.020
- ✓ **K= IP/MC:** 13, 65 (visibilidad aceptable).
- ✓ **Planta:** Vía férrea doble en curva cerrada. Cruce en ángulo.
- ✓ **Señales:** Cruce con banderista y barrera automática.
- ✓ **Cruce:** No regularizado, debe ser regularizado en Art 1°
- ✓ **Descripción:**
 - Se trata de un cruce ferroviario de 2 vías férreas, situado en zona periurbana formado por dos cruces consecutivos de sendas vías ferroviarias; (una a Valparaíso y la otra a Ventanas), una con trazado curvo y otra con trazado en

recta, y un vial de doble sentido de circulación, el cruce se encuentra semaforizado y cuenta con banderista y barrera automática.

- También se dispone de alumbrado público en la zona.

✓ **Deficiencias:**

- De acuerdo a la información de la que se dispone, se observan deficiencias en el pavimento, de acceso al cruce, y en la señalización horizontal y vertical, así como en la protección de los elementos de control del cruce.
- En cuanto a la señalización de advertencia, hay señales de advertencia de cruce ferroviario a nivel en las aproximaciones al doble cruce ferroviario, solo falta indicar que hay barreras automáticas.
- La señalización de señal PARE se encuentra en mal estado con rayados y papeles adheridos; advierte sí que son 2 vía férreas.
- En cuanto a la señalización horizontal, el cruce carece de cualquier tipo de demarcación, faltando las demarcaciones relativas a separación de pistas, símbolo de cruce de ferrocarril, símbolo de PARE en la calzada que refuerce la señal vertical y línea de parada.
- Además, dado el espacio existente entre las dos vías férreas, se considera adecuada la existencia de demarcación de “no bloquear el cruce”, para evitar la posibilidad que un vehículo quede detenido entre los dos cruces.
- Por otra parte, el cruce no cuenta con pasarela peatonal con losetas que permita a los peatones un paso seguro a través del cruce, ni una zona de espera, ni torniquete o laberinto.
- Es posible que puedan quedar atrapados vehículos entre los 2 cruces.
- Debería contar con un letrero que les advierta a los conductores, que se trata de 2 cruces seguidos “peligro 2 vías férreas separadas”.

✓ **Recomendaciones:**

- Colocar machones o soleras separadores de pistas viales.

- Dotar al cruce de pasadas peatonales con carpeta adecuada (losetas prefabricadas).
 - Un banderista con su barrera está al lado izquierdo, debe ser el derecho.
 - Falta letrero “Cruce ferroviario de 2 vías férreas separadas”.
 - Se debe dotar al cruce de señal informativa automática al maquinista, por la mala visibilidad.
 - Conveniente talar los árboles cercanos, para mejorar la visibilidad.
- ✓ **Inventario fotográfico:**

Ilustración 40. Fotografías del cruce





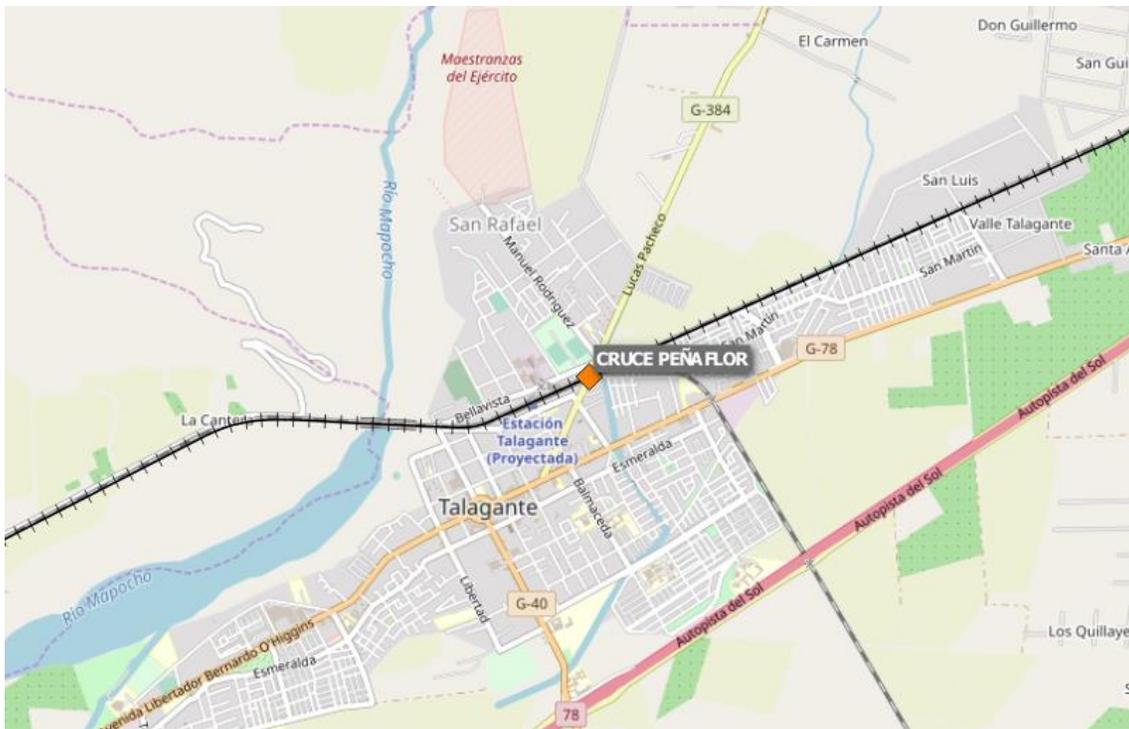


Fuente: MTT

A.7.3 Cruce Ferroviario N°3: Peñaflor (Peñaflor, RM)

- ✓ **Ubicación:** Km 33,300 Ramal Santiago – San Antonio.

Ilustración 41. Esquema de ubicación del cruce



Fuente: Elaboración propia sobre mapa de OpenStreetMap.

- ✓ **Coordenadas:** Latitud: -33.657990°; Longitud: -70.923901°

Ilustración 42. Ubicación geográfica del cruce



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

- ✓ **IP:** 742.878
- ✓ **Viales:** Calle Lucas Pacheco cruza la vía férrea en orientación oblicua a la vía férrea. Calle Camilo Henríquez no cruza la vía férrea, pero si cruza a la calle Lucas Pacheco.
- ✓ **V:** 11.321 (alto tráfico vehicular).
- ✓ **T:** 9 (solo trenes de carga)
- ✓ **MC:** 101.889
- ✓ **K= IP/MC:** 7,29 (buena visibilidad).
- ✓ **Planta:** Cruce en ángulo, cruce tiene 2 vías férreas, está dentro de la estación Peñaflores.
- ✓ **Cruce:** del Art 1° del DS 252, cuenta con su señalización correspondiente (banderista y barrera automática).
- ✓ **Descripción:**

- Se trata de un cruce ferroviario en zona urbana. La calle Lucas Pacheco, con dos pistas de circulación, una por cada sentido de circulación, cruza las vías férreas en sentido oblicuo. En el lado sureste de la vía, justo antes de producirse el cruce, se encuentra la salida y la entrada desde la calle Camilo Henríquez, también de doble sentido de circulación.
- El paso peatonal por la vereda también implica el cruce de la vía.
- El cruce se encuentra semaforizado (banderista automático) y cuenta con barreras automáticas.
- También se dispone de alumbrado público en la zona.

✓ **Deficiencias:**

- De acuerdo a la información de la que se dispone, se observan importantes deficiencias en el pavimento de acceso y especialmente en la entrevía férrea, incluido el del paso específico para peatones, así como en las demarcaciones. También se observan deficiencias en la señalización vertical y en las protecciones de los elementos de control del cruce ferroviario.
- En cuanto a la señalización de advertencia, hay señales de advertencia de cruce ferroviario a nivel con barreras en las aproximaciones al cruce ferroviario en la calle Lucas Pacheco, pero no en la calle camilo Henríquez que también accede al cruce.
- En cuanto a la señalización horizontal, el cruce carece de cualquier tipo de demarcación, tanto en la aproximación al cruce ferroviario como en el cruce adyacente con la calle Camilo Henríquez, faltando las demarcaciones (machones o soleras) relativas a separación de pistas viales, flechas de indicación de movimientos, símbolo de cruce de ferrocarril, símbolo de PARE en el pavimento que refuerce la señal vertical y línea de parada.
- Por otra parte, el paso destinado a los peatones tiene un pavimento muy deteriorado que puede provocar caídas de estos a su paso, tampoco cuenta con

una separación adecuada del tráfico de rodado vial por la confluencia de las calles Lucas Pacheco y Camilo Henríquez.

- Por estar el cruce dentro de la estación Peñaflor, debería contar con un letrero que les advierta a los conductores, que se trata de “cruce de 2 vías férreas contiguas” o bien letrero que advierta “zona de maniobras de trenes”.
- Se observa letreros de propaganda en los postes adyacentes al cruce, se deberían prohibir pues distraen a los conductores.
- Cruce afectado por el reflejo solar.

✓ **Recomendaciones:**

- Colocar machones o soleras separadores de pistas viales.
- Colocar laberintos a las pasadas peatonales del cruce.
- Falta letrero “Cruce de 2 vías férreas separadas”.
- Reparar las calzadas viales de acceso al cruce.
- Retirar letreros no inherentes al cruce, distraen a los conductores.

✓ **Inventario fotográfico:**

Ilustración 43. Fotografías del cruce







Fuente: MTT

A.7.4 Cruce Ferroviario N°4: Desiderio Sanhueza (Concepción, Biobío)

- ✓ **Ubicación:** calle Desiderio Sanhueza Km 70,637 Ramal San Rosendo – Talcahuano.

Ilustración 44. Esquema de ubicación del cruce



Fuente: Elaboración propia sobre mapa de OpenStreetMap.

- ✓ **Coordenadas:** Latitud: -36.826754°; Longitud: -73.063328°

Ilustración 45. Ubicación geográfica del cruce



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

- ✓ **Viales:** Calle Desiderio Sanhueza en sentido perpendicular a la vía. Calle Pascual Binimelis/Manuel Montt y Av. Padre Alberto Hurtado en sentido paralelo a las vías férreas, todas de alto tráfico vial urbano.
- ✓ **IP:** 9.165.580 (cruce catalogado por EFE que debe ser desnivelado, proyecto muy difícil, pues requiere importantes expropiaciones de instalaciones definitivas). Favorece el estar dentro de la zona de influencia de la estación de Concepción-Chepe, en que los trenes circulan a baja velocidad app 40 km/h por presencia de desviadores y travesías.
- ✓ **V:** 5.750
- ✓ **T:** 62
- ✓ **MC:** 256.500
- ✓ **K = IP/MC:** 35,73 (mala visibilidad).

- ✓ **Planta:** Cruce de triple vía, todas de circulación permanente (2 a Talcahuano y 1 a Coronel).
- ✓ **Señalética completa:** Señalética Fija, más Banderista y Barrera automática, más guarda-cruzada humano de refuerzo con banderolas o farol, en las horas diurnas con servicio de trenes automotores de pasajeros.
- ✓ **Cruce:** No regularizado, candidato a desnivelarse. Se sugiere no innovar por el momento, pues está vigente el proyecto de soterramiento de la estación Concepción.
- ✓ **Descripción:**
 - Se trata de un cruce en zona urbana. La vía es cruzada por la calle Desiderio Sanhueza que tiene dos pistas, una por cada sentido de circulación.
 - El itinerario peatonal por la vereda también implica el cruce de la vía.
 - El cruce se encuentra semaforizado.
 - Se dispone de alumbrado público en la zona.
 - Las 3 vías férreas tienen peralte en el cruce, pues las vías férreas se desarrollan en curva, quedando el cruce vial con desniveles.
- ✓ **Deficiencias:**
 - El alcance de las fotografías es escaso para una adecuada auditoría de seguridad.
 - En cuanto a la señalización de advertencia hay señales de advertencia de cruce ferroviario a nivel con barreras en las aproximaciones al cruce ferroviario en las calles paralelas al ferrocarril, Pascual Binimelis y Manuel Montt.
 - También se desconoce la situación de la señalización de PARE en la calzada.
 - En cuanto a la señalización horizontal, el cruce carece de cualquier tipo de demarcación, tanto en la aproximación al cruce ferroviario como en los cruces adyacentes con las calles paralelas, faltando las demarcaciones relativas a separación de pistas viales, por el alto tráfico vial y ferroviario, hay tendencia de los conductores impacientes a cruzar por pista contraria, faltan flechas de

indicación de movimientos, símbolo de cruce de ferrocarril, símbolo de PARE en la calzada que refuerce la señal vertical y línea de parada.

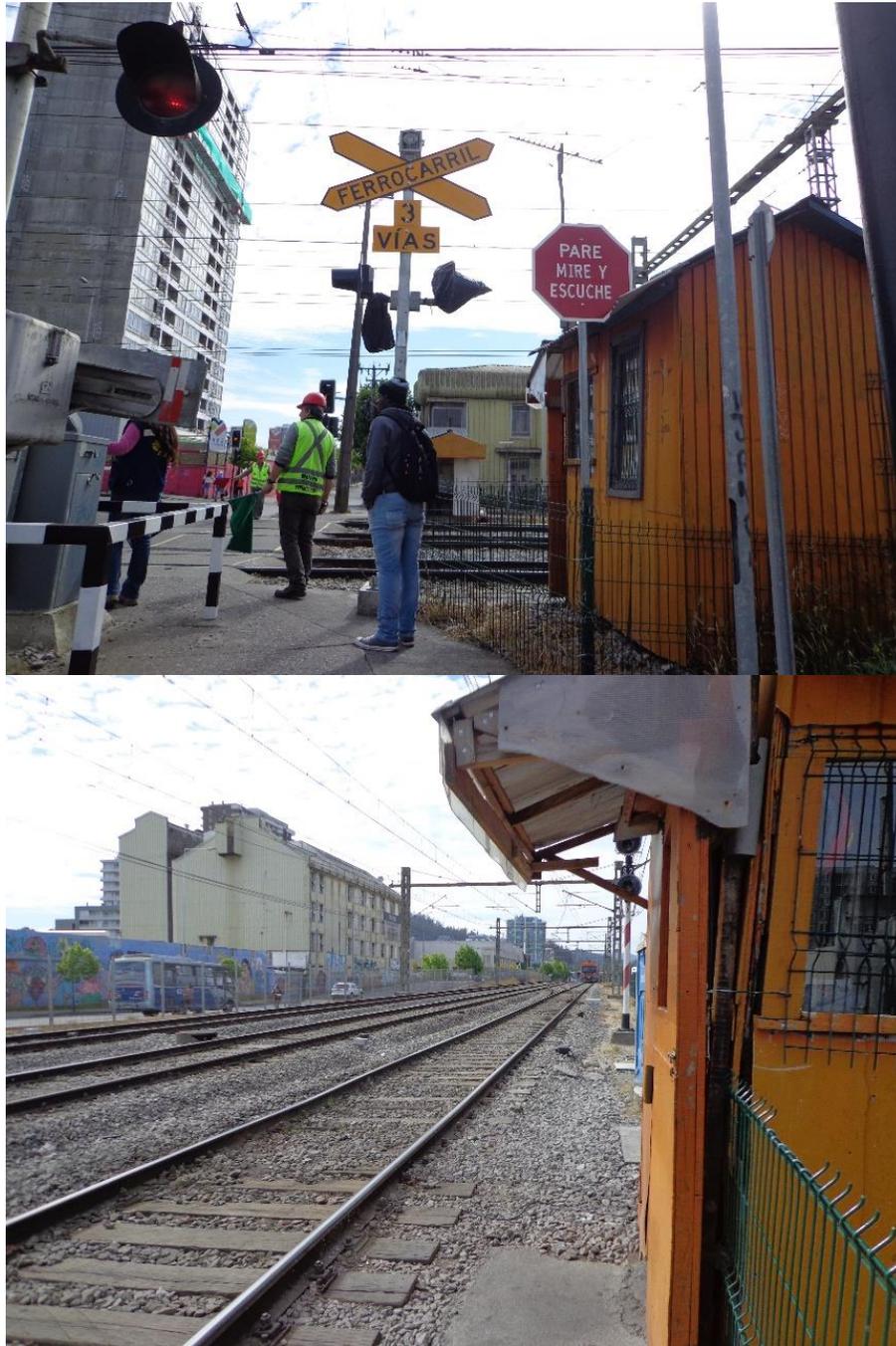
- Para contar con una buena visibilidad de la vía desde los viales del cruce, se considera que debe existir una zona con prohibición de aparcamiento en las calles paralelas a la vía en la zona de aproximación al cruce.
- La caseta del guarda-cruzada afecta mucho a la visibilidad. Se sugiere usar una caseta techada (para la lluvia y el sol), pero con muros transparentes (malla o reja).
- Por su alto Índice de Peligrosidad, se recomienda colocar señales automáticas al tren (blanca destellante) que le adviertan al maquinista, que el cruce está despejado y con sus barreras abajo.

✓ **Recomendaciones:**

- Usas garita transparente (muros de reja).
- Colocar machones o losetas separadores de pistas viales.
- Dotar de laberintos a las pasadas peatonales del cruce.
- Falta letrero “Cruce de 3 vías férreas separadas”.
- Se debe dotar al cruce de señal automática informativa al maquinista, por la mala visibilidad.
- A pesar de su alto Índice de Peligrosidad, se recomienda mantener el paso con la condición de cruce público a nivel sin desnivelarse, ya que los trenes circulan a baja velocidad.

✓ **Inventario fotográfico:**

Ilustración 46. Fotografías del cruce



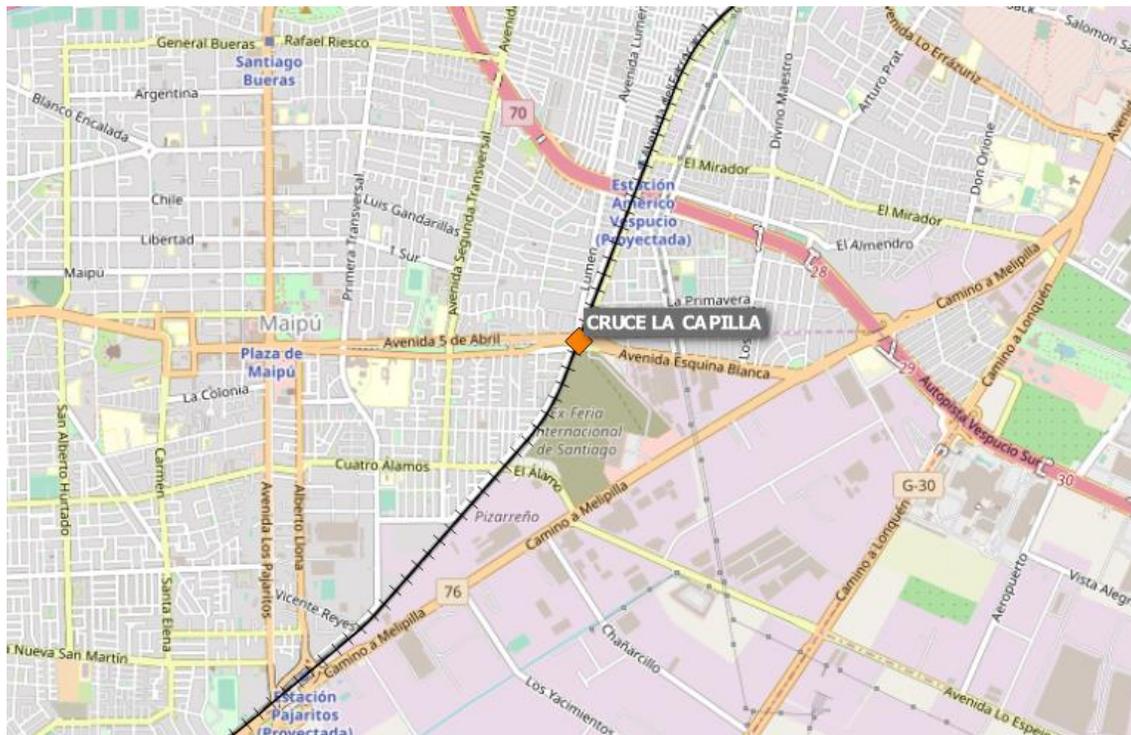


Fuente: MTT

A.7.5 Cruce Ferroviario N°5: La Capilla (Maipú, RM)

- ✓ **Ubicación:** Km 9,390 ramal Santiago – San Antonio.

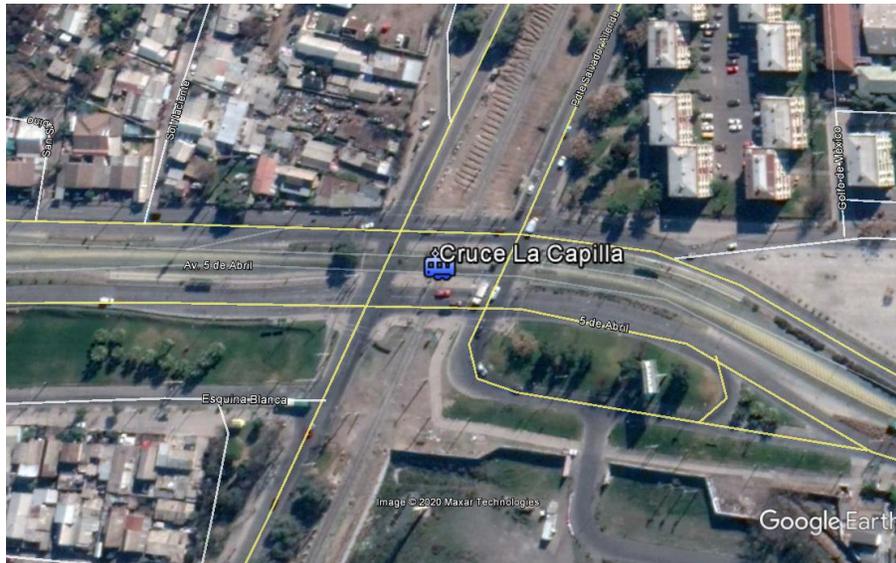
Ilustración 47. Esquema de ubicación del cruce



Fuente: Elaboración propia sobre mapa de OpenStreetMap.

✓ **Coordenadas:** Latitud: -33.510254°; Longitud: -70.739922°

Ilustración 48. Ubicación geográfica del cruce



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

- ✓ **Viales:** Avda. 5 de Abril y Esquina Blanca en sentido perpendicular a la vía. Avda. Presidente Salvador Allende y calle del Ferrocarril en sentido paralelo a la vía.
- ✓ **IP:** 513.652
- ✓ **V:** 1.899
- ✓ **T:** 3 (solo trenes de carga)
- ✓ **MC:** 5.697
- ✓ **K= IP/MC:** 90,16 (por el valor debería ser la visibilidad muy mala, pero por las fotografías en planta se observa que la faja vía está bien despejada de obstáculos y en las calles paralelas no se permiten estacionamientos, lo que abre la visibilidad hacia el cruce).

- ✓ **Planta:** Cruce de 1 vía férrea, con 8 pistas de circulación separadas de islotes: Al poniente 3 pistas en un solo sentido, Al centro 2 pistas una en cada sentido, y Al oriente 3 pistas en un solo sentido. El cruce es en ángulo.
- ✓ **Señalización:** El cruce cuenta con banderistas automáticos y barreras automáticas dobles (pero solo de entrada, no de salida) para poder cubrir todas las pistas viales adyacentes.
- ✓ **Cruce:** Cruce del Art 1º, DS 252 puede permanecer en el Art 1º a pesar de tener tantas pistas viales.
- ✓ **Descripción:**
 - La vía es cruzada por dos calles de 3 pistas de circulación cada una, además de una calzada central de 2 pistas exclusiva para buses de doble sentido de circulación. También acceden al cruce los vehículos que transitan por las calles paralelas a la vía férrea.
 - El itinerario peatonal por la vereda también implica el cruce de la vía.
 - Los cruces se encuentran semaforizados y cuentan con banderista y barreras automáticas.
 - También se dispone de alumbrado público en la zona.
- ✓ **Deficiencias:**
 - De acuerdo a la información de la que se dispone, se observan deficiencias en la señalización horizontal y vertical, y en las protecciones de la vía férrea respecto de los peatones.
 - En cuanto a la señalización de advertencia, hay señales de advertencia de cruce ferroviario a nivel con barreras en las aproximaciones al cruce ferroviario, solo verticales en postes, pero las horizontales en el pavimento están borradas.
 - En cuanto a la señalización horizontal los cruces cuentan con demarcaciones de línea de parada, leyenda de PARE en la calzada y símbolo de cruce de

ferrocarril, no obstante, se encuentran muy desgastados, por lo que su visibilidad es muy deficiente.

- Una característica inherente al cruce, es que un vehículo detenido antes de cruzar, obstaculiza la visión de otro conductor detenido en una pista adyacente.
- Faltaría colocarle machones o soleras separadoras de pistas solo a la calzada central, que tiene ambos sentidos de circulación (para evitar los adelantamientos por pista contraria).
- La vía férrea no está confinada, los peatones la pueden cruzar en cualquier punto.

✓ **Recomendaciones:**

- Las calles paralelas a la vía férrea deberían tener pistas de desaceleración, para los vehículos que van a franquear el cruce.
- Falta colocarle machones o soleras separadoras de pistas a la calzada central.
- La vía férrea no está confinada, los peatones la pueden cruzar en cualquier punto.
- Los semáforos viales aguas abajo del cruce, siempre deben alumbrar a verde cuando están accionadas las barreras.
- Colocar señal a los peatones “no transitar por los islotes centrales”.

✓ **Inventario fotográfico:**

Ilustración 49. Fotografías del cruce





Fuente: MTT

A.7.6 Resumen

- Los 5 cruces son de ramales, no de la troncal LCS con trenes a mayor velocidad (clase de vía E a $V = 160$ km/h).
- Por solo 1 cruce de los 5 analizados, circulan trenes de pasajeros. Corresponde al cruce con calle Desiderio Sanhueza en la estación de Concepción, pero donde los trenes circulan a baja velocidad (40 Km/h). Por lo tanto, en **ninguno de los analizados se justifica suprimir el cruce (o reemplazarlo o desnivelarlo)**.
- Con la materialización del proyecto MELITREN, se deberá re-analizar la situación de los cruces: La Capilla y Peñaflo.
- Con la materialización del proyecto de Metro Valparaíso extensión a La Calera, se deberá re-analizar la situación del cruce San Pedro.
- Siempre será altamente conveniente señalar al tren con una señal alfanumérica, que le indique al maquinista el estado expedito del cruce antes de franquearlo.
- Según el Índice de Peligrosidad creciente de los 5 cruces, estos se pueden categorizar de la siguiente manera:
 - Desiderio Sanhueza IP = 9.165.580.
 - Peñaflo IP = 742.878.
 - Pablo Neruda IP = 635.036.
 - La Capilla IP = 513.652.
 - San Pedro IP = 259.635.
- El siguiente cruce debe mejorar su visibilidad, lo que es posible, lo que bajaría bastante su IP, pues su MC es también alto, el cual no se puede reducir:
 - Desiderio Sanhueza K = 35,73 siendo un valor aceptable máximo de 20.
- A la mayoría de los cruces se les observa que existen obstáculos retirables, para mejorar la visibilidad, como: roce o tala de árboles, corrimiento de cercos y muros.
- Se sugiere colocar video-cámaras, para generar partes empadronados a los conductores que no respeten la señalización, particularmente la señal PARE.

A.8 Proposición final

A.8.1 Documento técnico

A.8.1.1 *Introducción*

Este capítulo contiene el “**Documento técnico**”, cuyo principal objetivo es **proponer una nueva metodología de cálculo de un índice cuantitativo de la peligrosidad de cada cruce público a nivel en las vías ferroviarias chilenas**, para reemplazar al aparente obsoleto del actual método legal del Decreto N° 38 promulgado en 1986 en Chile, esto, debido a los importantes cambios producidos, como: el aumento del volumen del tráfico carretero y el aumento de las velocidades y las frecuencias de los trenes de pasajeros, principalmente en los corredores con servicio actual con trenes de tipo metro de superficie para cercanías, en las tradicionales rutas de la red de EFE en las ciudades importantes (Santiago, Valparaíso y Concepción, que cuentan ya con doble vía, requisito indispensable para trenes de alta frecuencia).

Este nuevo método a proponer en este apartado, debe ser de preferencia compatible con el método al que reemplazará, incluso analizando paralelamente la alternativa de mantener el Decreto N° 38, proponiendo ajustes normativos y faltantes en él, que mejoren la operación y seguridad de los pasos públicos a nivel. Todo esto, respetando en el modo ferroviario, el contexto de la tecnología de los ferrocarriles nacionales chilenos, en comparación a las normas usadas como referencia, de países con ferrocarriles técnicamente más desarrollados.

Para respaldar este estudio, se considerarán los análisis técnicos ya revisados en capítulos anteriores de la experiencia comparada internacional, para poder definir una normativa similar aplicable para Chile, que recoja lo mejor de ellas, adaptando sus valores normativos a la realidad chilena, más otros nuevos estudios a desarrollar en este capítulo (señalizaciones

especiales, alcance de los costos que generará la propuesta, soluciones alternativas o de emergencia, entre otros), los que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Realizar el análisis de la situación actual general de los cruces ferroviarios en Chile, respecto de las exigencias del Decreto N° 38 de 1986 vigente, único documento legal en el país. Se analizarán los 127 cruces públicos a nivel del tramo Santiago-Chillán como tramo de muestreo, midiendo cuantitativamente los casos de los cruces que no están cumpliendo la normativa vigente. A continuación, y una vez realizado el análisis de la situación actual general de los cruces ferroviarios en Chile en dicho tramo, se analizarán las ventajas y desventajas del método en aplicación actual en Chile, de cálculo del Índice de Peligrosidad según el Decreto en vigencia.
- Revisión de los parámetros o indicadores de la seguridad de los cruces usados en Chile en dicho tramo, y en conjunto revisar los parámetros usados en el extranjero, rescatando los diseños que sean apropiados para la realidad chilena. En capítulos anteriores se analizaron las ventajas y desventajas de los métodos usados en países con ferrocarriles desarrollados y también otros países con nivel de desarrollo similar al de Chile, esto permitirá definir el criterio final de cálculo de la peligrosidad de cada cruce, con los parámetros nuevos propuestos que correspondan.
- Finalmente proponer la metodología detallada, precisando el cálculo de la peligrosidad de cada cruce público a nivel en Chile, que defina la señalización requerida en cada caso, incluso cuando se requiera desnivelación (o supresión o reemplazo del cruce). De medición de peligrosidad y establecimiento de señalización, modificando y completando la anterior del Decreto N° 38, o reemplazarla íntegramente por una nueva (propuesta final técnica y normativa).

A.8.1.2 *Parámetros*

Este apartado contiene una descripción de los parámetros relevantes a considerar en la metodología propuesta.

Se realizará una descripción de estos parámetros, mencionando cuando sea el caso, como se relacionan entre sí, para poder definir los niveles de señalización creciente de la seguridad requerida a cada cruce, indicando en forma adicional también las condiciones que obligarían a suprimir el cruce, y reemplazarlo por otro, o sustituirlo por un paso desnivelado, dentro de un plazo previamente establecido, por las autoridades involucradas, y que debería estar entre 3 a 5 años según lo indicado en la normativa internacional y los estudios de referencia analizados¹⁵, limitados normalmente por razones presupuestarias.

Los parámetros a considerar son los siguientes:

1. Señales pasivas: PARE, Cruz de San Andrés, con o sin Guarda Cruce y Cruce Pito.
2. Señalización “No viene tren”.
3. Alcance de la visión humana.
4. Distancia mínima de anuncio del tren.
5. Calificación de la visibilidad.
6. Tiempo de activación del sistema de señalización activa del cruce.
7. Tiempo de franqueo del vehículo vial por el cruce.
8. Tiempo de anuncio del tren.
9. Velocidad máxima del tren.
10. Singularidades negativas.

¹⁵ Ver A.4 *Recolección y análisis de antecedentes*

11. Índice de Peligrosidad.
12. Momento de Circulación.

A continuación se entrega una descripción general de estos parámetros.

A.8.1.2.1 Señales pasivas: PARE, Cruz de San Andrés, con o sin Guarda Cruce y Cruce Pito.

La obligatoriedad de la detención vehicular antes del cruce mediante la señal PARE¹⁶ es condición indispensable para que el conductor verifique por el mismo que la vía férrea esta despejada en ambos sentidos, antes de franquear el cruce.

Esta señal se instala por el lado derecho del camino, a una distancia mínima que respete el galibo ferroviario (4 o 5 m) y máxima de 10 m del riel más próximo. La señalización en cuestión obliga al “pare, mire y escuche” necesario para una adecuada visión del conductor vial hacia la vía férrea, comprobando que en ambos sentidos esta despejada.

A pesar de la obligatoriedad de detenerse que implica la señal PARE, existen conductores impacientes que cruzan el paso sin detenerse, lo que constituye una causal de accidentes. Por lo anterior, se sugiere dotar además a los cruces de video-grabadoras, para emitir partes de tránsito empadronados a los infractores.

Por otro lado, la obligatoriedad de detenerse antes del cruce ferroviario a nivel también implica una desventaja: puede producir congestión vehicular en el cruce, cuando el flujo es significativo. Para evitar dicha congestión, en algunos cruces existe la posibilidad de implementar señalización automática de “no viene tren”, como se analizará en el ítem A.8.1.2.2 *Señalización “No viene tren”*. En dicho caso, técnicamente no es necesaria la

¹⁶ Ver A.6.1.1.8 *Señalización de los cruces públicos a nivel*.

utilización de señal PARE, pese a ello, no se recomienda suprimirlas a corto plazo, sino hasta que se generalice su uso. De este modo, al igual que en países europeos, a mediano plazo la señal PARE sería discrecional, existiendo una señalización automática que garantice seguridad intrínseca total (Fail Safe) que “no viene tren”.

La señal PARE se complementa con la siguiente señalización pasiva o fija¹⁷:

- “Cruz de San Andrés” señal que informa al conductor vial de la proximidad del cruce ferroviario. Esta debe ubicarse a una distancia entre 100 a 300 m. del cruce en zona rural y a una distancia entre 10 y 30 m. en zona urbana.
- Letrero “SIN GUARDACRUCES” a ubicarse a conveniencia entre la señal PARE y la Cruz de San Andrés, y que informa al conductor vial que el cruce no está protegido por dispositivos manuales o automáticos.
- Cruceta CRUCE PITO se coloca en la faja ferroviaria a unos 500 m. del cruce a ambos lados de este, advierte a los maquinistas la proximidad del cruce.

A.8.1.2.2 Señalización “no viene tren”

La posible libertad del conductor para no detenerse antes del cruce mientras que en movimiento visualiza la vía férrea en sus ambos sentidos, permite que no se genere la congestión vial en el cruce que suele producir la señal PARE. Para poner en funcionamiento esta excepción, se requiere de una señalización obligada y segura de información, tanto a los vehículos viales como también a los trenes.

¹⁷ Ver A.6.1.1.8 Señalización de los cruces públicos a nivel.

- Para los vehículos viales: se les debe informar que la vía férrea esta despejada de trenes, mediante una señalización semafórica que le garantice que no “viene tren”, así el vehículo no requerirá detenerse antes de franquear el cruce.
- Para los vehículos ferroviarios: se les debe informar que el cruce ya está protegido por sus barreras abajo y que no hay obstáculos en el cruce.

Para este diseño de seguridad, se requiere, por un lado, notificar al tren mediante otra señal adicional semafórica automática para él, la que debe dar advertencia de no paso al tren una vez que se ha completado el ciclo de inicio de barreras abajo, lo que puede generar detención del tren frente a dicha señal, o traspasarla con precaución. Por esta última razón, esta señal no tiene el carácter de señal principal, es solo informativa, es decir, el maquinista puede traspasarla, pero llevando su tren a la velocidad tal de detenerlo en el espacio que tiene a la vista.

Por otro lado, además de esta señal para el tren, se puede disponer de circuitos ópticos que garanticen que el cruce está libre de obstáculos.

También hay dispositivos que miden la velocidad del tren en el punto de su detección, permitiendo acortar los tiempos de anuncio para trenes lentos, esto ante conductores impacientes.

A.8.1.2.3 Alcance de la visión humana

La distancia máxima posible de agudeza de la visión humana para detectar cuerpos en movimiento acercándose al cruce (trenes) es 600 m¹⁸. Esta distancia es afectada principalmente por la neblina, el reflejo solar o artificial, la oscuridad, la lluvia, el humo, etc.

¹⁸ Ver A.6.1.1.6 *Visibilidad*

A.8.1.2.4 Distancia mínima de anuncio del tren

La distancia mínima requerida de anuncio del tren acercándose al cruce, depende básicamente de la velocidad máxima del tren. Esta distancia define el circuito eléctrico del cruce (block) a ambos lados de la vía férrea del cruce. En otras palabras, es la distancia mínima que recorre el tren desde que pisa el circuito de vía del cruce (activando el sistema señalizado del cruce) y el cruce mismo. Se expresa en metros y se recomienda tomar como referencia la que utilizan los fabricantes e instaladores, esto es, mínimo 1.500 m a cada lado de la vía férrea del cruce.

A.8.1.2.5 Calificación de la Visibilidad

La **visibilidad técnica o requerida** es la que queda determinada por la velocidad máxima de los trenes y es afectada por las siguientes condicionantes: la existencia de obstáculos no removibles, una faja ferroviaria muy estrecha y de la desviación respecto de 90° del ángulo del cruce. Está definida por la siguiente fórmula:

$$D_t = 1,1 * V_m * (6,25 + n)^{1/2} \text{ (Ecuación A.5-4}^{19}\text{)}$$

En que:

D_t : Es la distancia de visibilidad técnica o requerida, en metros, del paso a nivel.

V_m : Es la velocidad máxima del tren en km/h a la altura del paso a nivel.

n : Es el número de vías existentes en el paso a nivel, con un máximo de 2.

¹⁹ Ver A.5.2.3.1 Normas y Criterios España.

Por su lado, la **Visibilidad Real** es la distancia que existe entre el punto de intersección de los ejes del ferrocarril y la carretera, con el punto donde se encuentra el tren que se dirige hacia el cruce, en el preciso momento en que este empieza a divisarse por el ojo humano, desde el punto de parada obligatoria en la carretera o camino, y que corresponde a 5 metros del riel más próximo de las vías férreas. La citada distancia se medirá sobre el eje de la vía férrea. Luego, se considera como visibilidad real de un paso a nivel, como la menor de las 4 visibilidades reales que se pueden obtener, y que corresponden a cada uno de los 2 sentidos de la vía férrea, desde cada uno de los 2 lados del paso a nivel (rombo de visibilidad).

La comparación entre ambas visibilidades en el cruce en análisis, define si **la visibilidad es suficiente o insuficiente**²⁰:

- **La visibilidad es suficiente**, si la visibilidad real es mayor que la visibilidad técnica y esta última es menor a 600 m.
- **La visibilidad es insuficiente**, si la visibilidad real es menor que la visibilidad técnica o esta última es mayor a 600 m.

A.8.1.2.6 Tiempo de activación del sistema de señalización activa del cruce

El tiempo mínimo requerido por los sistemas de señalización para completar su ciclo de partida, es, para el caso de barreras automáticas cuando estas completan su bajada a posición horizontal, y para el caso de banderistas automáticos, inmediata su activación cuando el tren pisa el circuito del cruce. Este tiempo debe ser menor que el tiempo de anuncio mínimo del tren.

²⁰ Ver A.5.2.3.1 Normas y Criterios España.

Para **barreras automáticas dobles**, el tiempo de activación del sistema de señalización activa del cruce, corresponde al mayor de entrada y salida, en 25 segundos:

- Tiempo previo de solo luz y sonido: 5 segundos.
- Tiempo de bajada de la barrera de entrada: 10 segundos.
- Tiempo de retardo de la barrera de salida: 5 segundos.
- Tiempo de holgura de seguridad: 5 segundos.
- Tiempo total de operación de las barreras: 25 segundos.

Una vez que el circuito vía del cruce ha sido desocupado por el tren, se inicia el proceso a la inversa, esta vez elevando primero la barrera de salida.

Para el caso de dispositivos automáticos solo de luces rojas y campanilla –**banderista automático**–, este tiempo de activación es inmediato cuando el tren pisa el circuito de ocupación del cruce, y se detiene cuando el tren libera dicho circuito.

A.8.1.2.7 Tiempo de Franqueo del Vehículo Vial por el Cruce

El tiempo máximo de franqueo del vehículo vial por el cruce, corresponde al tiempo necesario máximo en segundos que requiere un conductor vial para atravesar y liberar el cruce, por tanto, su valor es mayor para los vehículos largos y lentos. Este tiempo debe ser siempre menor que el tiempo de anuncio mínimo del tren, con una holgura de seguridad de al menos 5 segundos.

Se propone considerar el tiempo de franqueo como el mayor entre:

1. 18 segundos²¹.
2. El recomendado por el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del MOP que en su volumen 3 apartado **3.404.208 (1)**, que indica:

“Si se calcula el tiempo de cruce requerido por los distintos tipos de vehículos, se puede calcular la visibilidad mínima requerida a lo largo de la vía para que el conductor detenido en la posición avanzada de observación, adopte la decisión de cruzar o no cruzar”.

Luego, se tiene la ecuación 3.404.208 (1).1 del Manual de Carreteras:

$$t_c = t_{pr} + \sqrt{\frac{2(L_v+a)}{9,81J}} \quad \text{(Ecuación A.8-1)}$$

Donde:

- ✓ t_c : Tiempo de cruce requerido en segundos.
- ✓ t_{pr} : Tiempo de Percepción y Reacción para iniciar el movimiento = 2 s.
- ✓ L_v : Longitud del vehículo que cruza.

²¹ Indicado por las normas de seguridad de EFE en Chile.

Tabla 43. Valores de L_v (largo del vehículo)

Tipo vehículo	L_v (m)
Semiremolque para Transporte de Automóviles	22,4
Semiremolque Corriente	18,6
Buses Interurbanos	13,2
Camión Simple	11,0
Automóviles (quedan cubiertos por el resto de los vehículos)	

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3

- ✓ a : Ancho de la faja férrea (la trocha + 1,5 a cada lado)

Tabla 44. Valores de a (faja vía de seguridad)

	a (m)
Ancho de la Vía Férrea Simple (1,676)+1,5 m a cada lado	4,70
Ancho de la Vía Ferrea Doble (5,676) + 1,5 m a cada lado	8,70

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3

- ✓ J : Coeficiente de aceleración desde la detención vehicular.

Tabla 45. Valores de J (Coeficiente de aceleración)

Tipo vehículo	J
Camión transporte automóviles y semiremolque	0,055
Camion simple	0,065
Buses Interurbanos	0,080

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3

✓ T_{cruce} : Tiempo total requerido para cruzar y despejar la vía.

Tabla 46. Tiempos de franqueos en cruces a nivel con vías férreas

L_v (m)	J	t_{pr}	Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
Vehículo			$\sqrt{\frac{0,204 (L_v + 4,7)}{J}}$	T cruce (s)	$\sqrt{\frac{0,204 (L_v + 8,7)}{J}}$	t cruce (s)
22,4	0,055	2	9,99	~12s	10,84	13
18,6	0,055	2	9,26	~12s	10,02	13
13,2	0,080	2	6,76	~9s	7,47	10
11	0,065	2	7,02	~9s	7,86	10

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3, Tabla 3.404.208(1).A

Luego la visibilidad hacia los dos lados de la vía (d_v) deberá ser la que indica la siguiente tabla.

Tabla 47. Distancias de visibilidad en cruces a nivel con vías férreas

Velocidad del Tren		Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
km/h	m/s	dvs Tc = 12s	dvs Tc = 9s	dvd Tc = 13s	dvd Tc = 10s
140	38,9	467 m	350 m	506 m	389 m
120	33,4	400 m	300 m	434 m	334 m
100	27,8	334 m	250 m	361 m	278 m

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 3, Tabla 3.404.208(1).B

Se observa que según el MOP el tiempo mínimo para que un vehículo franquee el cruce, considerando una visibilidad de 506 m en vía férrea doble, es de 13 segundos.

A.8.1.2.8 Tiempo de Anuncio del Tren

El tiempo de anuncio del tren corresponde a la duración mínima, medida en segundos, de anuncio del tren antes de llegar al cruce. Debe ser mayor al tiempo máximo de franqueo por el cruce de un vehículo vial largo y lento, con un rango de seguridad de mínimo 5 segundos. Para su cálculo se debe tomar en cuenta la velocidad máxima de los trenes, y la velocidad de respuesta de los dispositivos de señalización usados.

Se propone considerar como valor mínimo de tiempo de anuncio del tren 25 segundos²².

A.8.1.2.9 Velocidad máxima del tren

El valor máximo de la velocidad del tren al momento de acercarse y cruzar el paso a nivel, está íntimamente ligada a la distancia de visibilidad requerida, toda vez que este análisis está fundamentado que aun cuando haya señalética automática de información, es finalmente el conductor vial, que decide franquear el cruce cuando con su propia visión se ha asegurado que la vía férrea esta despejada.

Considerando la fórmula de la distancia técnica requerida, D_t , (ver Ecuación A.5-4), se tiene que para 300 m de visibilidad (promedio de la visibilidad disponible en los cruces chilenos²³), el valor de V_m es muy cercano a 100 km/h que es el valor máximo de velocidad del tren en los cruces a nivel que debería adoptar Chile, mientras no haya un plan de mejorar los niveles de visibilidad de los cruces a nivel.

²² Basado en la norma de seguridad vigente de EFE para cruces.

²³ Ver A.8.1.3 Situación de los cruces en Chile

Tabla 48. Cálculo de la Visibilidad Requerida en función de la velocidad del tren

D_t (m)	n (1 para simple vía; 2 para doble vía)	V_m (km/h)
600	2	189,90
	1	202,58
500	2	158,25
	1	168,81
300	2	94,95
	1	101,29

Fuente: Elaboración propia a partir de Ecuación A.5-4

A.8.1.2.10 Singularidades Negativas

En el análisis particular de cada cruce se deben considerar sus singularidades negativas, como por ejemplo, la presencia de pendientes, curvas, caminos laterales, etc.

En primera instancia, se consideran 8 tipos de singularidades negativas²⁴, a través de coeficientes b_i , el que toma los siguientes valores en el cálculo del Índice de Peligrosidad.

²⁴ Basado en el Decreto N° 38 de 1986.

b_1	Gradiente del camino totalizando hasta 8% en ambos lados	0,30
b_2	Gradiente del camino totalizando hasta 4% en un solo lado	0,15
b_3	Caminos laterales desembocando dentro de 20 m. del cruce	0,15
b_4	Cruce angosto	0,10
b_5	Doble vía férrea	0,10
b_6	Triple vía férrea	0,20
b_7	Cuatro o más vías	0,30
b_8	Reflejo del Sol	0,15

En segunda instancia, se propone considerarse también otros factores que afectan la peligrosidad del cruce, entre ellos:

- i. Reflejos nocturnos de luz artificial (encandilamiento).
- ii. Cruces cercanos a estaciones, con maniobras permanentes.
- iii. Cruces sobre desviadores (aparatos de cambio).
- iv. Sectores de neblina permanente u ocasional.
- v. Vía Férrea en curva (con peralte).
- vi. Camino en curva (con peralte).
- vii. Cruces cercanos a colegios, hospitales, estadios, etc.
- viii. Vía férrea en que predominan trenes especiales (largos y lentos).
- ix. Carretera en que predominan vehículos carreteros especiales (largos y lentos).
- x. Transporte de cargas peligrosas en la vía férrea.
- xi. Transporte de cargas peligrosas en el camino.
- xii. Más de 2 pistas viales en el camino frente al cruce.
- xiii. Más de 2 vías férreas en el cruce.

A.8.1.2.11 Índice de Peligrosidad

El Índice de Peligrosidad de cada cruce es un coeficiente numérico (aritmético) que integra en un solo valor varios factores: los volúmenes de tráfico vial y ferroviario, el ángulo del cruce, la menor visibilidad en metros de los 4 sentidos del rombo de visibilidad, y las singularidades negativas del cruce, según la siguiente fórmula²⁵:

$$IP = \frac{V*T}{4 \sin \emptyset} \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} \right) (1 + \sum b_i) \text{ (Ecuación A.6-1)}$$

Donde:

- ✓ **V**: Es el N° de vehículos carreteros que circulan por el cruce en las 12 horas de mayor tránsito vial.
- ✓ **T**: Es el N° de trenes que circulan por el cruce en las mismas 12 horas en que se mide **V**.
- ✓ **∅**: es el ángulo del cruce entre el camino y la vía férrea.
- ✓ **f_n**: es el valor de los 4 factores de visibilidad en los 4 cuadrantes del rombo de visibilidad.

$$f_n = 1 - \frac{\sum L_n}{5v} \text{ (Ecuación A.6-2)}$$

- **∑ L_n**: es la suma de las proyecciones de los obstáculos fijos o temporales existentes dentro del rombo de visibilidad sobre el eje de la vía más próxima, tomando como centro de proyección uno de los vértices del rombo de visibilidad ubicado en el eje del camino.

²⁵ Basado en el método vigente del Decreto N° 38 de 1986. Ver A.6.1.1.1 Índice de Peligrosidad.

- v : es la velocidad máxima de los trenes en el sector del cruce en km/h.
- ✓ b_i : Son coeficientes amplificadores del Índice de Peligrosidad, que representan las singularidades negativas de cada cruce en particular y que afectan su visibilidad (ver ítem A.8.1.2.10 *Singularidades Negativas*).

A.8.1.2.12 Momento de Circulación

El Momento de Circulación es el producto de la cantidad de los vehículos que pasan por el cruce (V) por la cantidad de los trenes que pasan por el cruce (T) durante 12 horas definidas previamente, sin ponderación por tipo de móvil.

$$MC = V * T$$

Este valor junto a la visibilidad del cruce, permite definir la peligrosidad de cada cruce, y con ello la señalización requerida en cada uno, tal como lo muestra la siguiente tabla²⁶:

Tabla 49. Tipo de señalización según MC y Visibilidad

Clase de Vía	Requisitos
A (Señales pasivas)	<ul style="list-style-type: none"> - $MC < 1.000$ y Visibilidad suficiente. - $100 < MC < 1.000$ y Visibilidad insuficiente, se debe aplicar protección clase B. - Para cruces en estaciones se debe aplicar protección clase C.
B (Banderista)	<ul style="list-style-type: none"> - $40 \text{ km/h} < v < \text{no indica tope superior}$. - $1.000 < MC < 1.500$ y $V < 100$. - $100 < MC < 1.000$ y Visibilidad insuficiente.
C (Barreras)	<ul style="list-style-type: none"> - $40 \text{ km/h} < v < \text{no indica tope superior}$. - $1.000 < MC < 1.500$ y $V > 100$. - Para cruces en estaciones con $v > 40 \text{ km/h}$ e independiente del valor de su $MC = V * T$.
D (cruce provisorio)	<ul style="list-style-type: none"> - $v < 40 \text{ km/h}$.

²⁶ Basado en la normativa española.

	<ul style="list-style-type: none"> - $1.000 < MC < 1.500$ - Esta clase de protección puede ser sustituida por la B o C.
E (paso peatonal)	<ul style="list-style-type: none"> - Clase de carácter transitorio hasta sustituirla por la protección de clase B o C. - No se permiten nuevas clases E.
F (guarda cruce humano)	<ul style="list-style-type: none"> - En estaciones para $v > 40$ km/h se exige dispositivo sonoro luminoso (banderista).
Cuando desnivelar	<ul style="list-style-type: none"> - $v > 160$ Km/h. - $MC > 1.500$. - En todo cruce nuevo. - En toda nueva doble vía. - En cambios de trazado.

Fuente: Elaboración propia a partir de la normativa española

De este modo se definen **6 clases de protección de los cruces**, y cada una de ellas, especifica el tipo de señalización necesaria mínima exigida:

- A. Señalética fija o pasiva.
- B. Banderistas automáticos (dispositivos activos sonoro-luminosos).
- C. Barreras automáticas simples o dobles (de entrada y salida).
- D. Protección en régimen provisorio (cruce provisorio).
- E. Guarda-Cruzada humano.
- F. Protección de pasos peatonales.

Finalmente, según los parámetros descritos, se puede discriminar en cada cruce y establecer condiciones de seguridad, según:

- V : N° de vehículos; toma valores importantes en arterias viales inter-urbanas.
- T : N° de trenes; toma valor importante en rutas con trenes tipo metro de cercanías.
- \emptyset : Ángulo del cruce; motivo de rechazo para ángulos muy agudos.

- **MC:** Momento de Circulación; ordena desnivelar el cruce para valores altos
- **IP:** Índice de Peligrosidad; ordena desnivelar el cruce para valores altos
- **$Dt > Dr$:** Visibilidad insuficiente, también motivo para desnivelar.
- **v :** Velocidad máxima de trenes permitida por el cruce.

Sin embargo, también puede ser motivo de discriminar un cruce, con otros motivos, como los siguientes:

- No más de 2 pistas viales.
- No más de 2 vías férreas.

A.8.1.3 Situación de los cruces en Chile

Se realiza a continuación el análisis de la situación actual general de los cruces ferroviarios en Chile, con respecto de las imposiciones del Decreto N° 38 de 1986, único documento legal vigente en el país.

Se efectúa el análisis con un sector de muestreo de los 127 cruces públicos a nivel entre Santiago y Chillán, de la red EFE. Este análisis es vital, pues permitirá deducir el % actual de cruces que no están respetando hoy las exigencias del Decreto N° 38. Y más importante aún, como se conocen los valores del Momento de Circulación (*MC*) y el Índice de Peligrosidad (*IP*) de estos cruces, se puede **deducir la situación de la visibilidad actual de estos 127 cruces**, representado por el coeficiente:

$$K = \frac{IP}{MC} \quad (\text{Ecuación A.8-2})$$

A.8.1.3.1 Consideraciones para el cálculo de la visibilidad en los cruces de la muestra

De la fórmula del Índice de Peligrosidad (*IP*) según el Decreto N° 38 de 1986, ya conocemos los valores de los 127 cruces de la muestra (Santiago-Chillán) tomados en terreno en el año 2016.

$$IP = \frac{V * T}{4 \sin \phi} \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} \right) (1 + \sum b_i) \quad (\text{Ecuación A.6-1}^{27})$$

Además, también conocemos el Momento de Circulación (**MC**) al multiplicar *V * T* valores también conocidos. Debemos hacer que nos quede como única incógnita, el factor de

²⁷ Ver A.6.1.1.1 Índice de Peligrosidad.

visibilidad, representada por los coeficientes f_i . Para esto, haremos lo siguientes supuestos, con la certeza que los valores finales no se distorsionarán:

- El factor del ángulo del cruce, para fines del cálculo, lo podemos suponer con seno (90°) = 1.

$$\frac{1}{4 \sin \phi} = \frac{1}{4} \quad (1)$$

- El factor de todas las posibles singularidades negativas, para fines del cálculo, también lo supondremos en 1.

$$1 + \sum b_i = 1 \quad (2)$$

- Los 4 factores f los supondremos iguales:

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f \quad (3)$$

- Luego:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} = 4 * \frac{1}{f} \quad (4)$$

- Entonces, reemplazando en la Ecuación del Índice de Peligrosidad:

$$IP = \left(\frac{MC}{4}\right) * \left(\frac{4}{f}\right) = \frac{MC}{f} \quad (5)$$

$$f = \frac{MC}{IP} \quad (6)$$

- Por otro lado, se conoce la fórmula de los factores de visibilidad

$$f_n = 1 - \frac{\sum L_n}{5v} \quad (\text{Ecuación A.6-2}^{28})$$

- Utilizando la relación (3):

$$f = 1 - \frac{\sum L_n}{5v} \quad (7)$$

- Sabiendo que la suma de los L_n son las distancias sin visibilidad, y que $5v$ es el semi-diámetro de visibilidad del rombo, y que D_r , es la distancia de visibilidad efectiva, y considerando:

$$L_n = 5v - D_r \quad (8)$$

- Luego, el cálculo de la distancia de visibilidad real D_r es el siguiente:

$$f = 1 - \frac{5v - D_r}{5v} = \frac{D_r}{5v} \quad (9)$$

Combinando las fórmulas (6) y (9) resulta que:

$$D_r = 5v * \frac{MC}{IP} \quad (10)$$

Por tanto, si se considera como Velocidad Máxima = 100 km/h la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$D_r = 500 * \frac{MC}{IP}$$

Y si se considera como Velocidad Máxima = 160 km/h la fórmula a aplicar es la siguiente:

²⁸ Ver A.6.1.1.6 Visibilidad.

$$D_r = 800 * \frac{MC}{IP}$$

Por otro lado, en Chile no hay fórmula para calcular el D_t (distancia requerida), hubo una fórmula muy similar a la española, pero fue derogada la norma EFE que la incluía. Trabajaremos con la fórmula española para el cálculo de D_t ²⁹.

$$D_t = 1,1V_m * (6,25 + n)^{1/2} \quad \text{(Ecuación A.5-4)}$$

Variando V_m para 100 km/h y 160 km/h, y $n = 1$ para simple vía y $n = 2$ para doble vía, resultan los siguientes valores de D_t .

²⁹ Ver A.5.2.3.1 Normas y Criterios España

Tabla 50. Cálculo de la distancia requerida, D_t , según V_m y n

V_m (km/h)	n	D_t (m)
100	1	296,18
	2	315,95
160	1	473,89
	2	505,52

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se compara la relación entre D_r y D_t :

- Si $D_r > D_t$ la visibilidad del cruce es **suficiente**.
- Si $D_r < D_t$ la visibilidad del cruce es **insuficiente**.

Por otro lado, si $D_t > 600$ m la visibilidad será siempre insuficiente, lo que ocurre para velocidades sobre **200 km/h**. Se debe recordar que recientemente España disminuyó el valor de D_t de 600 m a 500 m.

A.8.1.3.2 Tablas de cálculo

A continuación, se presentan 2 extensas tablas que muestran los valores de D_r y D_t para $v = 100$ km/h (vía clase C) y ambas tablas para la opción $n = 1$ simple vía en el tramo Santiago - Chillán. Teniendo en cuenta que el tramo de Santiago a San Fernando es doble vía y de San Fernando a Chillán es simple vía, ambos tramos con la vía en clase E ($V=160$ km/h), se tiene que el tramo de muestreo Santiago-Chillán es un buen ejemplo para ver los valores de los parámetros, en especial el de la visibilidad.

Cabe mencionar que los cruces N° 1 a N° 9 hoy están ya desnivelados, y se incluyen sus valores del IP y MC solo con fines estadísticos.

Tabla 51. Valores de D_r y D_t , para $v = 100 \text{ km/h}$, tramo Santiago-Chillán

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
139	1	S/N	3.500	LCS	No regulado	C	3,155	11	33,128	697,822	296	24	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
140	2	S/N	4.900	LCS	No regulado	C	4,853	11	53,383	5,288,723	296	5	Insuficiente	Desnivelar
141	3	S/N	7.250	LCS	No regulado	C	4,201	6	25,206	37,487	296	336	Suficiente	Regularizar a Art 1º
142	4	Lo Espejo	9.600	LCS	1º y Paso Inf									Solo de emergencia
143	5	Las Ovejas	11.622	LCS	1º	C	6,516	11	71,676	5,610,814	296	6	Insuficiente	Desnivelar
144	6	Lo Blanco	13.650	LCS	1º	C	18,068	10	180,680	10,749,990	296	8	Insuficiente	Desnivelar
145	7	La Selva	18.615	LCS	1º	C	9,565	10	95,650	1,338,611	296	36	Insuficiente	Seguir en Art 1º
146	8	S/N	19.408	LCS	No regulado	C	4,571	8	36,568	58,622	296	312	Suficiente	Regularizar a Art 1º
147	9	Nos	20.910	LCS	1º	C	10,370	9	93,330	14,542,004	296	3	Insuficiente	Desnivelar
148	10	El Recurso	28.000	LCS	1º	C	1,882	8	15,056	591,566	296	13	Insuficiente	Seguir en Art 1º
149	11	Los Guindos	29.800	LCS	1º	C	2,220	7	15,540	2,576,654	296	3	Insuficiente	Desnivelar
150	12	Linderos	35.200	LCS	1º	C	5,208	5	26,040	2,227,574	296	6	Insuficiente	Desnivelar
151	13	Bascuñan	37.600	LCS	1º	C	7,675	7	53,725	2,182,271	296	12	Insuficiente	Desnivelar
152	14	Paine	40.950	LCS	1º	C	11,572	9	104,148	5,007,998	296	10	Insuficiente	Desnivelar
153	15	Rinconada	43.880	LCS	1º	C	1,163	9	10,467	1,456,903	296	4	Insuficiente	Seguir en Art 1º

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
154	16	Las Mulass	47.240	LCS	No regulado	C	1,401	7	9,807	958,978	296	5	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
155	17	Aguila Sur	51.650	LCS	1°	C	357	7	2,499	2,980	296	419	Suficiente	Volver a Art 2°
156	18	Prat	60.375	LCS	1°	C	1,634	7	11,438	1,044,042	296	5	Insuficiente	Seguir en Art 1°
157	19	S/N	62.178	LCS	No regulado	C	324	8	2,592	119,124	296	11	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
158	20	Codegua	67.165	LCS	2°	C	2,124	8	16,992	523	296	16,245	Suficiente	Seguir en Art 2°
159	21	Graneros	70.230	LCS	1°	C	12,824	8	102,592	2,849,615	296	18	Insuficiente	Desnivelar
160	22	Las Coloradas	78.320	LCS	1°	C	4,898	6	29,388	1,051,963	296	14	Insuficiente	Seguir en Art 1°
161	23	S/N	82.200	LCS	No regulado	C	8,983	9	80,847	3,735,030	296	11	Insuficiente	Desnivelar
162	24	Lo Conty	85.475	LCS	1°	C	2,019	17	34,323	2,358,777	296	7	Insuficiente	Desnivelar
163	25	S/N	86.200	LCS	No regulado	C	2	2	4	854	296	2	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
164	26	Los Lirios	88.825	LCS	1°	C	5,316	8	42,528	904,546	296	24	Insuficiente	Seguir en Art 1°
165	27	S/N	90.675	LCS	No regulado	C	69	21	1,449	172,373	296	4	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
166	28	S/N	91.670	LCS	No regulado	C	72	21	1,512	123,171	296	6	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
167	29	S/N	92.742	LCS	No regulado	C	66	21	1,386	70,572	296	10	Insuficiente	Regularizar a Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
168	30	Requinoa	95.920	LCS	1°	C	2,680	6	16,080	160,881	296	50	Insuficiente	Seguir en Art 1°
169	31	S/N	96.630	LCS	No regulado	C	1,078	12	12,936	765,426	296	8	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
170	32	Los Boldos	97.750	LCS	1°	C	3,934	6	23,604	462,306	296	26	Insuficiente	Seguir en Art 1°
171	33	Lo de Lobos	105.830	LCS	2°	C	1,713	7	11,991	512,860	296	12	Insuficiente	Ya señalado
172	34	Egenau	109.430	LCS	1°	C	7,733	7	54,131	2,313,664	296	12	Insuficiente	Desnivelar
173	35	S/N	110.426	LCS	No regulado	C	12,921	6	77,526	2,222,258	296	17	Insuficiente	Desnivelar
174	36	Chapetón	111.530	LCS	2°	C	263	5	1,315	62,268	296	11	Insuficiente	Ya señalado
175	37	Portezuelo	113.950	LCS	2°	C	150	9	1,350	93,766	296	7	Insuficiente	Ya señalado
176	38	San Luis	115.340	LCS	1°	C	2,527	6	15,162	977,511	296	8	Insuficiente	Seguir en Art 1°
177	39	Cementerio 1	118.150	LCS	2°	C	51	21	1,071	236,559	296	2	Insuficiente	Ya señalado
178	40	Roma	126.650	LCS	2°	C	1,057	8	8,456	122,733	296	34	Insuficiente	Ya señalado
179	41	La Paloma	129.230	LCS	2°	C	817	10	8,170	157,886	296	26	Insuficiente	Ya señalado
180	42	Junin	133.610	LCS	1°									Eliminar
181	43	M. Rodriguez	133.687	LCS	1°	C	12,960	6	77,760	4,070,082	296	10	Insuficiente	Desnivelar

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
182	44	Tinguiririca	139.350	LCS	2°	C	4,049	5	20,245	266,331	296	38	Insuficiente	Ya señalado
183	45	S/N	141.680	LCS	No regulado	C	58	6	348	23,005	296	8	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
184	46	S/N	141.981	LCS	No regulado	C	231	3	693	17,746	296	20	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
185	47	S/N	142.454	LCS	No regulado	C	21	4	84	6,539	296	6	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
186	48	S/N	143.929	LCS	No regulado	C	197	3	591	33,558	296	9	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
187	49	La Cuesta	145.151	LCS	1°	C	3,731	4	14,924	504,246	296	15	Insuficiente	Seguir en Art 1°
188	50	Porvenir	146.129	LCS	2°	C	1,872	2	3,744	112,461	296	17	Insuficiente	Ya señalado
189	51	Pisagua	148.450	LCS	1°	C	7,445	5	37,225	832,369	296	22	Insuficiente	Seguir en Art 1°
190	52	La Lucana	152.950	LCS	2°	C	984	4	3,936	84,724	296	23	Insuficiente	Ya señalado
191	53	S/N	157.725	LCS	No regulado	C	179	3	537	13,975	296	19	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
192	54	S/N	166.060	LCS	No regulado	C	250	3	750	6,819	296	55	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
193	55	Bellavista	170.408	LCS	1°	C	5,258	4	21,032	849,329	296	12	Insuficiente	Seguir en Art 1°
194	56	S/N	171.765	LCS	No regulado	C	38	4	152	6,676	296	11	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
195	57	S/N	173.400	LCS	No regulado	C	136	3	408	19,191	296	11	Insuficiente	Regularizar a Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
196	58	Sarmiento N	177.720	LCS	2°	C	1,810	3	5,430	166,442	296	16	Insuficiente	Ya señalado
197	59	Sarmiento S	178.450	LCS	1°	C	1,904	4	7,616	215,839	296	18	Insuficiente	Seguir en Art 1°
198	60	El Litre	179.550	LCS	2°	C	5,232	3	15,696	615,469	296	13	Insuficiente	Ya señalado
199	61	El Boldo	181.760	LCS	1°	C	5,483	3	16,449	163,966	296	50	Insuficiente	Seguir en Art 1°
200	62	Santa Fe	183.950	LCS	2°	C	5,775	3	17,325	1,035,739	296	8	Insuficiente	Ya señalado
201	63	C.Henriquez	184.895	LCS	1°	C	15,589	2	31,178	3,344,980	296	5	Insuficiente	Desnivelar
202	64	Billouta	185.705	LCS	1°	C	9,716	3	29,148	1,627,430	296	9	Insuficiente	Seguir en Art 1°
203	65	Dr. Osorio	186.350	LCS	1°	C	11,540	3	34,620	1,414,430	296	12	Insuficiente	Seguir en Art 1°
204	66	S/N	191.620	LCS	No regulado	C	18	11	198	46,296	296	2	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
205	67	Quecherreguas	197.120	LCS	2°	C	135	11	1,485	657,682	296	1	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
206	68	La Huerta	198.240	LCS	1°	C	1	11	11	947	296	6	Insuficiente	Volver a Art 2°
207	69	Molina	199.890	LCS	1°	C	5,801	3	17,403	561,323	296	16	Insuficiente	Seguir en Art 1°
208	70	Itahue	207.685	LCS	2°	C	24	11	264	186,168	296	1	Insuficiente	Ya señalado
209	71	Camarico	217.740	LCS	1°	C	1,525	3	4,575	427,625	296	5	Insuficiente	Seguir en Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
210	72	S/N	231.932	LCS	No regulado	C	50	3	150	2,308	296	32	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
211	73	S/N	232.542	LCS	No regulado	C	42	3	126	205	296	307	Suficiente	Regularizar a Art 2°
212	74	S/N	235.557	LCS	No regulado	C	211	2	422	3,425	296	62	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
213	75	S/N	239.070	LCS	No regulado	C	100	2	200	1,862	296	54	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
214	76	Pelarco	240.870	LCS	1°	C	3,538	3	10,614	83,084	296	64	Insuficiente	Seguir en Art 1°
215	77	S/N	241.830	LCS	No regulado									eliminar
216	78	S/N	243.350	LCS	No regulado	C	14	11	154	6,049	296	13	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
217	79	Los Molinos	251.230	LCS	2°	C	10,337	10	103,370	162,196	296	319	Suficiente	Ya señalizado
218	80	S/N	253.565	LCS	No regulado	C	21	11	231	7,879	296	15	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
219	81	Maule	260.030	LCS	1°	C	4,036	7	28,252	1,973,526	296	7	Insuficiente	Seguir en Art 1°
220	82	S/N	261.703	LCS	No regulado	C	2	6	12	19,897	296	0	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
221	83	Cantera Maule	263.120	LCS	2°	C	30	6	180	123,607	296	1	Insuficiente	Ya señalizado
222	84	S/N	267.810	LCS	No regulado	C	80	4	320	7,001	296	23	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
223	85	San Javier	269.200	LCS	1°	C	882	8	7,056	481,242	296	7	Insuficiente	Seguir en Art 1°

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
224	86	S/N	269.817	LCS	No regulado	C	1,023	7	7,161	750,678	296	5	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
225	87	Pangal	271.700	LCS	1º	C	1,231	7	8,617	195,099	296	22	Insuficiente	Seguir en Art 1º
226	88	El Durazno	277.360	LCS	2º	C	21	6	126	149,408	296	0	Insuficiente	Ya señalado
227	89	Villa Alegre	279.800	LCS	1º	C	2,073	7	14,511	1,215,785	296	6	Insuficiente	Seguir en Art 1º
228	90	Putagán Norte	287.790	LCS	2º	C	26	6	156	138,242	296	1	Insuficiente	Ya señalado
229	91	Putagán Sur	288.300	LCS	2º	C	10	6	60	41,238	296	1	Insuficiente	Ya señalado
230	92	Guadantun	291.250	LCS	2º	C	22	4	88	25,532	296	2	Insuficiente	Ya señalado
231	93	S/N	292.400	LCS	No regulado	C	268	6	1,608	41,261	296	19	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
232	94	S/N	294.400	LCS	No regulado	C	50	6	300	20,197	296	7	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
233	95	Las Monjas	298.480	LCS	1º	C	4,259	6	25,554	1,197,078	296	11	Insuficiente	Seguir en Art 1º
234	96	Maipú	300.100	LCS	1º	C	7,400	5	37,000	1,783,378	296	10	Insuficiente	Seguir en Art 1º
235	97	Las Delicias	300.210	LCS	1º	C	6,838	8	54,704	2,105,855	296	13	Insuficiente	Desnivelar
236	98	S/N	300.500	LCS	No regulado	C	3,821	5	19,105	1,631,118	296	6	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
237	99	S/N	303.610	LCS	No regulado	C	64	5	320	9,755	296	16	Insuficiente	Regularizar a Art 2º

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
238	100	El Huapi	304.670	LCS	2°	C	8	4	32	18,041	296	1	Insuficiente	Ya señalado
239	101	Las Motas	306.590	LCS	2°	C	16	4	64	46,308	296	1	Insuficiente	Ya señalado
240	102	Miraflores	309.290	LCS	1°	C	1,839	4	7,356	623,055	296	6	Insuficiente	Seguir en Art 1°
241	103	La Granja	311.910	LCS	2°	C	31	4	124	178,319	296	0	Insuficiente	Ya señalado
242	104	Longaví	315.590	LCS	1°	C	7,073	4	28,292	241,691	296	59	Insuficiente	Seguir en Art 1°
243	105	S/N	319.495	LCS	No regulado	C	301	4	1,204	87,620	296	7	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
244	106	Talquita	325.860	LCS	1°	C	770	6	4,620	232,228	296	10	Insuficiente	Seguir en Art 1°
245	107	Retiro	328.450	LCS	1°	C	1,322	5	6,610	87,461	296	38	Insuficiente	Seguir en Art 1°
246	108	S/N	331.910	LCS	No regulado	C	196	5	980	54,021	296	9	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
247	109	Copihue	333.020	LCS	1°	C	676	5	3,380	233,913	296	7	Insuficiente	Seguir en Art 1°
248	110	Cementerio 2	337.270	LCS	2°	C	20	4	80	276,283	296	0	Insuficiente	Ya señalado
249	111	estación Parral	340.000	LCS	2°	C	5,149	4	20,596	1,217,379	296	8	Insuficiente	Ya señalado
250	112	S/N	342.169	LCS	No regulado	C	43	9	387	722	296	268	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
251	113	Perquilauquen	351.700	LCS	2°	C	22	4	88	211,651	296	0	Insuficiente	Ya señalado

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
252	114	S/N	353.945	LCS	No regulado	C	9	4	36	317	296	57	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
253	115	San Gregorio	357.180	LCS	2°	C	44	4	176	138,046	296	1	Insuficiente	Ya señalizado
254	116	S/N	361.200	LCS	No regulado	C	52	5	260	1,602	296	81	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
255	117	Estación Buli	356.010	LCS	2°	C	15	4	60	16,825	296	2	Insuficiente	Ya señalizado
256	118	Tomás Yavar	372.300	LCS	1°	C	5,458	4	21,832	584,645	296	19	Insuficiente	Seguir en Art 1°
257	119	Vic Mackenna	372.900	LCS	1°	C	7,530	4	30,120	4,250,299	296	4	Insuficiente	Desnivelar
258	120	O'Higgins	374.050	LCS	1°	C	1,683	8	13,464	415,629	296	16	Insuficiente	Seguir en Art 1°
259	121	S/N	375.310	LCS	No regulado	C	116	5	580	2,097	296	138	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
260	122	S/N	377.065	LCS	No regulado	C	14	4	56	13,012	296	2	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
261	123	San Pedro	379.020	LCS	2°	C	15	4	60	9,906	296	3	Insuficiente	Volver a Art 2°
262	124	Ninquihue	380.700	LCS	2°	C	23	4	92	17,635	296	3	Insuficiente	Ya señalizado
263	125	Santa Isabel	382.790	LCS	2°	C	13	4	52	21,067	296	1	Insuficiente	Ya señalizado
264	126	San Nicolás	387.880	LCS	1°	C	2,680	6	16,080	422,398	296	19	Insuficiente	Seguir en Art 1°
265	127	Lantaño	396.868	LCS	1°	C	13,470	6	80,820	2,911,550	296	14	Insuficiente	Desnivelar

Tabla 52. Valores de D_r y D_t , con $v = 160 \text{ km/h}$, tramo Santiago-Chillán

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
139	1	S/N	3.500	LCS	No regulado	E	3,155	11	33,128	697,822	474	38	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
140	2	S/N	4.900	LCS	No regulado	E	4,853	11	53,383	5,288,723	474	8	Insuficiente	Desnivelar
141	3	S/N	7.250	LCS	No regulado	E	4,201	6	25,206	37,487	474	538	Suficiente	Regularizar a Art 1º
142	4	Lo Espejo	9.600	LCS	1º y Paso Inf									Solo de emergencia
143	5	Las Ovejas	11.622	LCS	1º	E	6,516	11	71,676	5,610,814	474	10	Insuficiente	Desnivelar
144	6	Lo Blanco	13.650	LCS	1º	E	18,068	10	180,680	10,749,990	474	13	Insuficiente	Desnivelar
145	7	La Selva	18.615	LCS	1º	E	9,565	10	95,650	1,338,611	474	57	Insuficiente	Seguir en Art 1º
146	8	S/N	19.408	LCS	No regulado	E	4,571	8	36,568	58,622	474	499	Suficiente	Regularizar a Art 1º
147	9	Nos	20.910	LCS	1º	E	10,370	9	93,330	14,542,004	474	5	Insuficiente	Desnivelar
148	10	El Recurso	28.000	LCS	1º	E	1,882	8	15,056	591,566	474	20	Insuficiente	Seguir en Art 1º
149	11	Los Guindos	29.800	LCS	1º	E	2,220	7	15,540	2,576,654	474	5	Insuficiente	Desnivelar
150	12	Linderos	35.200	LCS	1º	E	5,208	5	26,040	2,227,574	474	9	Insuficiente	Desnivelar

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
151	13	Bascuñan	37.600	LCS	1°	E	7,675	7	53,725	2,182,271	474	20	Insuficiente	Desnivelar
152	14	Paine	40.950	LCS	1°	E	11,572	9	104,148	5,007,998	474	17	Insuficiente	Desnivelar
153	15	Rinconada	43.880	LCS	1°	E	1,163	9	10,467	1,456,903	474	6	Insuficiente	Seguir en Art 1°
154	16	Las Mulas	47.240	LCS	No regulado	E	1,401	7	9,807	958,978	474	8	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
155	17	Aguila Sur	51.650	LCS	1°	E	357	7	2,499	2,980	474	671	Suficiente	Volver a Art 2°
156	18	Prat	60.375	LCS	1°	E	1,634	7	11,438	1,044,042	474	9	Insuficiente	Seguir en Art 1°
157	19	S/N	62.178	LCS	No regulado	E	324	8	2,592	119,124	474	17	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
158	20	Codegua	67.165	LCS	2°	E	2,124	8	16,992	523	474	25,992	Suficiente	Seguir en Art 2°
159	21	Graneros	70.230	LCS	1°	E	12,824	8	102,592	2,849,615	474	29	Insuficiente	Desnivelar
160	22	Las Coloradas	78.320	LCS	1°	E	4,898	6	29,388	1,051,963	474	22	Insuficiente	Seguir en Art 1°
161	23	S/N	82.200	LCS	No regulado	E	8,983	9	80,847	3,735,030	474	17	Insuficiente	Desnivelar
162	24	Lo Conty	85.475	LCS	1°	E	2,019	17	34,323	2,358,777	474	12	Insuficiente	Desnivelar
163	25	S/N	86.200	LCS	No regulado	E	2	2	4	854	474	4	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
164	26	Los Lirios	88.825	LCS	1°	E	5,316	8	42,528	904,546	474	38	Insuficiente	Seguir en Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
165	27	S/N	90.675	LCS	No regulado	E	69	21	1,449	172,373	474	7	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
166	28	S/N	91.670	LCS	No regulado	E	72	21	1,512	123,171	474	10	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
167	29	S/N	92.742	LCS	No regulado	E	66	21	1,386	70,572	474	16	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
168	30	Requinoa	95.920	LCS	1°	E	2,680	6	16,080	160,881	474	80	Insuficiente	Seguir en Art 1°
169	31	S/N	96.630	LCS	No regulado	E	1,078	12	12,936	765,426	474	14	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
170	32	Los Boldos	97.750	LCS	1°	E	3,934	6	23,604	462,306	474	41	Insuficiente	Seguir en Art 1°
171	33	Lo de Lobos	105.830	LCS	2°	E	1,713	7	11,991	512,860	474	19	Insuficiente	Ya señalizado
172	34	Egenau	109.430	LCS	1°	E	7,733	7	54,131	2,313,664	474	19	Insuficiente	Desnivelar
173	35	S/N	110.426	LCS	No regulado	E	12,921	6	77,526	2,222,258	474	28	Insuficiente	Desnivelar
174	36	Chapetón	111.530	LCS	2°	E	263	5	1,315	62,268	474	17	Insuficiente	Ya señalizado
175	37	Portezuelo	113.950	LCS	2°	E	150	9	1,350	93,766	474	12	Insuficiente	Ya señalizado
176	38	San Luis	115.340	LCS	1°	E	2,527	6	15,162	977,511	474	12	Insuficiente	Seguir en Art 1°
177	39	Cementerio 1	118.150	LCS	2°	E	51	21	1,071	236,559	474	4	Insuficiente	Ya señalizado
178	40	Roma	126.650	LCS	2°	E	1,057	8	8,456	122,733	474	55	Insuficiente	Ya señalizado

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
179	41	La Paloma	129.230	LCS	2°	E	817	10	8,170	157,886	474	41	Insuficiente	Ya señalado
180	42	Junin	133.610	LCS	1°									Eliminar
181	43	M. Rodriguez	133.687	LCS	1°	E	12,960	6	77,760	4,070,082	474	15	Insuficiente	Desnivelar
182	44	Tinguiririca	139.350	LCS	2°	E	4,049	5	20,245	266,331	474	61	Insuficiente	Ya señalado
183	45	S/N	141.680	LCS	No regulado	E	58	6	348	23,005	474	12	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
184	46	S/N	141.981	LCS	No regulado	E	231	3	693	17,746	474	31	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
185	47	S/N	142.454	LCS	No regulado	E	21	4	84	6,539	474	10	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
186	48	S/N	143.929	LCS	No regulado	E	197	3	591	33,558	474	14	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
187	49	La Cuesta	145.151	LCS	1°	E	3,731	4	14,924	504,246	474	24	Insuficiente	Seguir en Art 1°
188	50	Porvenir	146.129	LCS	2°	E	1,872	2	3,744	112,461	474	27	Insuficiente	Ya señalado
189	51	Pisagua	148.450	LCS	1°	E	7,445	5	37,225	832,369	474	36	Insuficiente	Seguir en Art 1°
190	52	La Lucana	152.950	LCS	2°	E	984	4	3,936	84,724	474	37	Insuficiente	Ya señalado
191	53	S/N	157.725	LCS	No regulado	E	179	3	537	13,975	474	31	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
192	54	S/N	166.060	LCS	No regulado	E	250	3	750	6,819	474	88	Insuficiente	Regularizar a Art 2°

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
193	55	Bellavista	170.408	LCS	1º	E	5,258	4	21,032	849,329	474	20	Insuficiente	Seguir en Art 1º
194	56	S/N	171.765	LCS	No regulado	E	38	4	152	6,676	474	18	Insuficiente	Regularizar a Art 2º
195	57	S/N	173.400	LCS	No regulado	E	136	3	408	19,191	474	17	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
196	58	Sarmiento N	177.720	LCS	2º	E	1,810	3	5,430	166,442	474	26	Insuficiente	Ya señalado
197	59	Sarmiento S	178.450	LCS	1º	E	1,904	4	7,616	215,839	474	28	Insuficiente	Seguir en Art 1º
198	60	El Litre	179.550	LCS	2º	E	5,232	3	15,696	615,469	474	20	Insuficiente	Ya señalado
199	61	El Boldo	181.760	LCS	1º	E	5,483	3	16,449	163,966	474	80	Insuficiente	Seguir en Art 1º
200	62	Santa Fe	183.950	LCS	2º	E	5,775	3	17,325	1,035,739	474	13	Insuficiente	Ya señalado
201	63	C.Henriquez	184.895	LCS	1º	E	15,589	2	31,178	3,344,980	474	7	Insuficiente	Desnivelar
202	64	Billouta	185.705	LCS	1º	E	9,716	3	29,148	1,627,430	474	14	Insuficiente	Seguir en Art 1º
203	65	Dr. Osorio	186.350	LCS	1º	E	11,540	3	34,620	1,414,430	474	20	Insuficiente	Seguir en Art 1º
204	66	S/N	191.620	LCS	No regulado	E	18	11	198	46,296	474	3	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
205	67	Quecherreguas	197.120	LCS	2º	E	135	11	1,485	657,682	474	2	Insuficiente	Regularizar a Art 1º
206	68	La Huerta	198.240	LCS	1º	E	1	11	11	947	474	9	Insuficiente	Volver a Art 2º

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
207	69	Molina	199.890	LCS	1°	E	5,801	3	17,403	561,323	474	25	Insuficiente	Seguir en Art 1°
208	70	Itahue	207.685	LCS	2°	E	24	11	264	186,168	474	1	Insuficiente	Ya señalado
209	71	Camarico	217.740	LCS	1°	E	1,525	3	4,575	427,625	474	9	Insuficiente	Seguir en Art 1°
210	72	S/N	231.932	LCS	No regulado	E	50	3	150	2,308	474	52	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
211	73	S/N	232.542	LCS	No regulado	E	42	3	126	205	474	492	Suficiente	Regularizar a Art 2°
212	74	S/N	235.557	LCS	No regulado	E	211	2	422	3,425	474	99	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
213	75	S/N	239.070	LCS	No regulado	E	100	2	200	1,862	474	86	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
214	76	Pelarco	240.870	LCS	1°	E	3,538	3	10,614	83,084	474	102	Insuficiente	Seguir en Art 1°
215	77	S/N	241.830	LCS	No regulado									eliminar
216	78	S/N	243.350	LCS	No regulado	E	14	11	154	6,049	474	20	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
217	79	Los Molinos	251.230	LCS	2°	E	10,337	10	103,370	162,196	474	510	Suficiente	Ya señalado
218	80	S/N	253.565	LCS	No regulado	E	21	11	231	7,879	474	23	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
219	81	Maule	260.030	LCS	1°	E	4,036	7	28,252	1,973,526	474	11	Insuficiente	Seguir en Art 1°
220	82	S/N	261.703	LCS	No regulado	E	2	6	12	19,897	474	0	Insuficiente	Regularizar a Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
221	83	Cantera Maule	263.120	LCS	2°	E	30	6	180	123,607	474	1	Insuficiente	Ya señalado
222	84	S/N	267.810	LCS	No regulado	E	80	4	320	7,001	474	37	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
223	85	San Javier	269.200	LCS	1°	E	882	8	7,056	481,242	474	12	Insuficiente	Seguir en Art 1°
224	86	S/N	269.817	LCS	No regulado	E	1,023	7	7,161	750,678	474	8	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
225	87	Pangal	271.700	LCS	1°	E	1,231	7	8,617	195,099	474	35	Insuficiente	Seguir en Art 1°
226	88	El Durazno	277.360	LCS	2°	E	21	6	126	149,408	474	1	Insuficiente	Ya señalado
227	89	Villa Alegre	279.800	LCS	1°	E	2,073	7	14,511	1,215,785	474	10	Insuficiente	Seguir en Art 1°
228	90	Putagán Norte	287.790	LCS	2°	E	26	6	156	138,242	474	1	Insuficiente	Ya señalado
229	91	Putagán Sur	288.300	LCS	2°	E	10	6	60	41,238	474	1	Insuficiente	Ya señalado
230	92	Guadantun	291.250	LCS	2°	E	22	4	88	25,532	474	3	Insuficiente	Ya señalado
231	93	S/N	292.400	LCS	No regulado	E	268	6	1,608	41,261	474	31	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
232	94	S/N	294.400	LCS	No regulado	E	50	6	300	20,197	474	12	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
233	95	Las Monjas	298.480	LCS	1°	E	4,259	6	25,554	1,197,078	474	17	Insuficiente	Seguir en Art 1°
234	96	Maipú	300.100	LCS	1°	E	7,400	5	37,000	1,783,378	474	17	Insuficiente	Seguir en Art 1°

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
235	97	Las Delicias	300.210	LCS	1°	E	6,838	8	54,704	2,105,855	474	21	Insuficiente	Desnivelar
236	98	S/N	300.500	LCS	No regulado	E	3,821	5	19,105	1,631,118	474	9	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
237	99	S/N	303.610	LCS	No regulado	E	64	5	320	9,755	474	26	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
238	100	El Huapi	304.670	LCS	2°	E	8	4	32	18,041	474	1	Insuficiente	Ya señalado
239	101	Las Motas	306.590	LCS	2°	E	16	4	64	46,308	474	1	Insuficiente	Ya señalado
240	102	Miraflores	309.290	LCS	1°	E	1,839	4	7,356	623,055	474	9	Insuficiente	Seguir en Art 1°
241	103	La Granja	311.910	LCS	2°	E	31	4	124	178,319	474	1	Insuficiente	Ya señalado
242	104	Longaví	315.590	LCS	1°	E	7,073	4	28,292	241,691	474	94	Insuficiente	Seguir en Art 1°
243	105	S/N	319.495	LCS	No regulado	E	301	4	1,204	87,620	474	11	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
244	106	Talquita	325.860	LCS	1°	E	770	6	4,620	232,228	474	16	Insuficiente	Seguir en Art 1°
245	107	Retiro	328.450	LCS	1°	E	1,322	5	6,610	87,461	474	60	Insuficiente	Seguir en Art 1°
246	108	S/N	331.910	LCS	No regulado	E	196	5	980	54,021	474	15	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
247	109	Copihue	333.020	LCS	1°	E	676	5	3,380	233,913	474	12	Insuficiente	Seguir en Art 1°
248	110	Cementerio 2	337.270	LCS	2°	E	20	4	80	276,283	474	0	Insuficiente	Ya señalado

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
249	111	estación Parral	340.000	LCS	2°	E	5,149	4	20,596	1,217,379	474	14	Insuficiente	Ya señalado
250	112	S/N	342.169	LCS	No regulado	E	43	9	387	722	474	429	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
251	113	Perquilauquen	351.700	LCS	2°	E	22	4	88	211,651	474	0	Insuficiente	Ya señalado
252	114	S/N	353.945	LCS	No regulado	E	9	4	36	317	474	91	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
253	115	San Gregorio	357.180	LCS	2°	E	44	4	176	138,046	474	1	Insuficiente	Ya señalado
254	116	S/N	361.200	LCS	No regulado	E	52	5	260	1,602	474	130	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
255	117	Estación Buli	356.010	LCS	2°	E	15	4	60	16,825	474	3	Insuficiente	Ya señalado
256	118	Tomás Yavar	372.300	LCS	1°	E	5,458	4	21,832	584,645	474	30	Insuficiente	Seguir en Art 1°
257	119	Vic Mackenna	372.900	LCS	1°	E	7,530	4	30,120	4,250,299	474	6	Insuficiente	Desnivelar
258	120	O'Higgins	374.050	LCS	1°	E	1,683	8	13,464	415,629	474	26	Insuficiente	Seguir en Art 1°
259	121	S/N	375.310	LCS	No regulado	E	116	5	580	2,097	474	221	Insuficiente	Regularizar a Art 2°
260	122	S/N	377.065	LCS	No regulado	E	14	4	56	13,012	474	3	Insuficiente	Regularizar a Art 1°
261	123	San Pedro	379.020	LCS	2°	E	15	4	60	9,906	474	5	Insuficiente	Volver a Art 2°
262	124	Ninquihue	380.700	LCS	2°	E	23	4	92	17,635	474	4	Insuficiente	Ya señalado

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V	T	MC=V•T	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
263	125	Santa Isabel	382.790	LCS	2°	E	13	4	52	21,067	474	2	Insuficiente	Ya señalado
264	126	San Nicolás	387.880	LCS	1°	E	2,680	6	16,080	422,398	474	30	Insuficiente	Seguir en Art 1°
265	127	Lantaño	396.868	LCS	1°	E	13,470	6	80,820	2,911,550	474	22	Insuficiente	Desnivelar

Fuente: Elaboración propia

Estas tablas se entregan en el *Anexo 4 – Proposición Final* bajo el nombre “4.1 Catastro IP-MC.xlsx”.

A.8.1.3.3 Conclusiones de las tablas anteriores

Se indican a continuación las conclusiones del análisis de las tablas anteriores:

- De los 127 cruces se consideraron solo 124, ya que 1 es de uso solo en emergencias (cuando se inunda el paso inferior Lo Espejo en Km 9,600) y los otros 2 está considerado su eliminación (Junín en Km 133,610 y S/N Km en 241.830).
- El valor promedio de **V** es de **2.928** vehículos en 12 horas. Siendo el cruce Lo Blanco en Km 13,650 con el mayor valor de $V = 18.065$.
- El valor promedio de **T** es de **6 trenes** en 12 horas. Siendo el cruce Cementerio 1 Km 118.150 con el mayor valor de $T = 21$.
- El valor promedio del **MC** es de **18.593**. Siendo el cruce Lo Blanco en Km 13.650 con el mayor valor de $MC = 180.680$
- El valor promedio del IP es de 932.659. Siendo el cruce Nos en Km 20.910 con el mayor valor de $IP = 14.542.004$
- El valor de D_t para $v = 100 \text{ km/h}$ es un valor constante y vale **296 m**.
- El valor de D_t para $v = 160 \text{ km/h}$ es un valor constante y vale **474 m**.
- El valor promedio dado en terreno de **D_r para $v = 100 \text{ km/h}$ fue de 161 m**. Siendo el cruce Águila Sur 51.650 con mayor valor de $D_r = 419 \text{ m}$ (buena visibilidad).
- El valor promedio dado en terreno de **D_r para $v = 160 \text{ km/h}$ fue de 258 m**. Siendo el cruce Águila Sur 51.650 con mayor valor de $D_r = 670 \text{ m}$ (excelente visibilidad, supera la visión humana de 600 m).
- Hay 52 cruces inscritos en el artículo 1° del Decreto N° 252 (en 15 de ellos está ya definida su desnivelación).
- Hay 32 cruces inscritos en el artículo 2° del Decreto N° 252. Varios de ellos ya cuentan con señalización automática, según la información del 2016 proporcionada

por EFE, y chequeada para este Estudio con la colaboración de la empresa SEC a carga de la señalización del tramo Santiago-Chillán.

- Hay 43 cruces no inscritos (no regulados). Todos cuentan con señalética pasiva y muchos de ellos cuentan con señalética activa, solo falta su inscripción en un nuevo decreto supremo, que actualice al Decreto N° 252 (en 3 de ellos está ya definida su desnivelación).
- Hay 6 cruces con visibilidad suficiente.
- Hay 118 cruces con visibilidad insuficiente.
- Hay 18 cruces con elevadísimo IP que deben suprimirse, reemplazarse o desnivelarse.

COMENTARIOS:

En promedio la visibilidad de los cruces analizados en el tramo de muestreo Santiago a Chillán es deficiente:

- $D_t = 296 \text{ m}$ y $D_r = 161 \text{ m}$ para $V = 100 \text{ km/h}$; y $D_t = 474 \text{ m}$ y $D_r = 258 \text{ m}$ para $V = 160 \text{ km/h}$; en ambos casos el valor de D_r no alcanza a ser ni la mitad de 600 m. EFE debe ejecutar un plan para mejorar la visibilidad de estos cruces, eliminando los obstáculos que afectan la visibilidad de los cruces, pudiendo en ello, diferir su desnivelación al menos hasta que no crezca demasiado el Momento de Circulación.
- La relación $K = IP/MC$, para cualquier velocidad resulta en $\frac{932.659}{18.593} = 50$, valor que se debe tener en cuenta para intentar homologar el método español que calcula con el **Momento de Circulación** y el método chileno del Decreto N° 38 que calcula con **Índice de Peligrosidad**. El valor promedio de $K=50$ es alto; se estima que un valor de $K=30$ es aceptable para una visibilidad suficiente.
- De esta forma tendríamos un primer tanteo para definir el valor del **Índice de Peligrosidad** por sobre el que se requiere desnivelar. Considerando que en España se

desniveles para $MC > 24.000$ tenemos $IP = 50 * 24.000 = 1.200.000$ podría ser ese el valor para desnivelar en Chile, en caso que se resuelva mantener el Decreto N° 38. En el resto de la comunidad europea desnivelan para $MC > 50.000$ lo que daría $IP = 50 * 50.000 = 2.500.000$ valor que parece excesivo, la solución sigue siendo bajar el valor de K.

- Al final de este informe y una vez definidos los 2 métodos nuevos propuestos:
 - o Modificación de los valores indicados en el Decreto N° 38 para calificar por **Índice de Peligrosidad**.
 - o Nuevo Decreto Supremo para calificar por **Momento de Circulación y Visibilidad**.

Entonces podremos calcular cuál es el cumplimiento de los 217 cruces, a estos 2 nuevos métodos, con sus nuevos valores límites, para decidir cuál es el más apropiado para la realidad chilena. Y poder valorar los costos de su puesta al día.

A.8.1.4 Metodología final a proponer

Se realiza a continuación la descripción de la metodología de medición propuesta, modificando y completando la anterior del Decreto N° 38, o reemplazándola íntegramente por una nueva (propuesta final técnica y normativa).

A.8.1.4.1 Indicadores en los cálculos de la Metodología Propuesta

En el **Anexo 4 – Proposición Final**, archivo *4.2 – Indicadores Metodología Propuesta.docx* se describe la relación de los indicadores a usar y sus valores, que son distintos de un país a otro, considerados en el análisis, indicando su fuente de origen, como respaldo para su aceptación y aplicación en Chile.

A.8.1.4.2 Tablas de Cálculo de los IP y MC

A continuación, se muestran las tablas con las restricciones propuestas, como posibles métodos para calcular la peligrosidad de cualquier cruce a nivel, ya sea usando el MC o el IP. Con MC siempre se debe anexar como condición si la **visibilidad** es suficiente o insuficiente.

Posteriormente se podrán actualizar estas tablas, para observar la cantidad de cruces del tramo de muestreo Santiago – Chillán que no estarían cumpliendo estos nuevos límites, y poder efectuar un cálculo aproximado de las inversiones asociadas. En todo caso, se sugiere no flexibilizar más sus valores. La información de la actual señalización vigente en cada cruce a EFE del tramo en estudio, aparte de la información entregada por EFE, se trabajó con los valores proporcionados por la empresa SEC que tiene concesionada la señalización en todo el tramo en estudio.

El inventario actual de la automatización de los cruces incluye:

- Su Señalización Pasiva.
- Su Señalización Activa (banderista automático).
- Su Señalización Activa (barrera automática).
- Su Señalización Especial Informativa al Tren.
- Cualquier otra señalización especial.

Al disponer de esta información, más adelante se cuantificará el volumen de las inversiones para poner al día la señalización de los cruces, las desnivelaciones necesarias, y los plazos razonables de su ejecución.

En los siguientes subcapítulos se muestran las metodologías propuestas para:

- ✓ Automatización de cruces por Momento de Circulación
- ✓ Automatización de cruces por Índice de Peligrosidad
- ✓ Recapitulación (comparación de valores de ambas metodologías, y viabilidad de su uso conjunto)

Se recomienda que para determinar la peligrosidad de los cruces a nivel de Chile, se utilice la “**Ficha de Inspección de Cruces Públicos a Nivel**” que se adjunta en el *Anexo 4 – Proposición Final*, archivo bajo el nombre *4.3 Ficha Inspección de Cruce.xlsx*. Esta ficha permite determinar parámetros e índices como el Índice de Peligrosidad (IP), Momento de Circulación (MC), Índice Geométrico (K), Visibilidad suficiente o insuficiente, Coeficiente de Singularidades Negativas, Coeficiente de Visibilidad, además de incorporar medición de flujo vehicular y de trenes en 12 horas. En la hoja 2 de esta ficha se muestra ejemplo del cruce “Portales” del Ramal Puerto (Metro Valparaíso).

A.8.1.4.2.1.1 Metodología por Momento de Circulación

Tabla 53. Cálculo de la Señalización requerida según el Momento de Circulación (MC)

Categoría del cruce		Condiciones a cumplir	Señalización mínima exigida
1	Sin Obligación de Detenerse.	<ul style="list-style-type: none"> - Se autoriza solo para casos de Emergencia y controlado por Carabineros. - $MC \leq 50.000$ - Visibilidad Suficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Solo para Simple Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - La señalización de la categoría 4B. - Señal PARE debe ocultarse.
2A	Con Señalización Pasiva. $MC \leq 5.000$	<ul style="list-style-type: none"> - $MC \leq 5.000$ - Visibilidad Suficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Solo para Simple Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Señal Sin Guarda Cruce. - Letrero Cruce-Pito.
2B	Con Señalización Activa. $MC \leq 5.000$	<ul style="list-style-type: none"> - $MC \leq 5.000$ - Visibilidad Insuficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Banderista Automático o Barrera. - Letrero Cruce-Pito.

3A	Con Señalización Activa. 5.000 ≤ MC ≤ 25.000	<ul style="list-style-type: none"> - 5.000 ≤ MC ≤ 25.000 - Visibilidad Suficiente. - V ≤ 100 Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Banderista Automático o Barrera. - Letrero Cruce-Pito.
3B	Con Barrera Automática. 5.000 ≤ MC ≤ 25.000	<ul style="list-style-type: none"> - 5.000 ≤ MC ≤ 25.000 - Visibilidad Insuficiente. - V ≤ 100 Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito.
4A	Con Barrera Automática. 25.000 ≤ MC ≤ 50.000	<ul style="list-style-type: none"> - 25.000 ≤ MC ≤ 50.000 - Visibilidad Suficiente. - V ≤ 100 Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito.
4B	Con Barrera Automática. 25.000 ≤ MC ≤ 50.000	<ul style="list-style-type: none"> - Plazo para Desnivelar = 5 años o Mejorar la Visibilidad (para pasar a categoría 4A). - 25.000 ≤ MC ≤ 50.000 - Visibilidad Insuficiente. - V ≤ 100 Km/h. - Para Máximo doble vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Guarda-cruzada permanente. - Señal Automática al Tren. - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito.
5	Para Alta Velocidad. 100 Km/h < V ≤ 160 Km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Plazo para Desnivelar = 5 años. - MC ≤ 50.000 - Visibilidad Suficiente. - 100 Km/h < V ≤ 160 Km/h. - Para Máximo Doble Vía. - Para Visibilidad Insuficiente Plazo para Desnivelar = 3 años. 	<p><i>Exigencias mientras se desnivela el cruce:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Prevención Permanente V = 100 Km/h. - Guarda-cruzada permanente. - Señal Automática al Tren. - Detector Óptico de Obstáculos. - Señal CEDA EL PASO. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito. - Machones separadores de pistas.
6	Cruce a Desnivelar.	<ul style="list-style-type: none"> - MC > 50.000 - 160 Km/h < V ≤ 200 Km/h. - Triple vía existente. - Simple vía a la que se agrega una segunda. 	<p><i>Exigencias mientras se desnivela el cruce:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Plazo para Desnivelar = 3 años. - Aplica Exigencias de Categoría 5. - La Visibilidad debe ser Suficiente.
7	Cruce Provisorio.	<ul style="list-style-type: none"> - Se autoriza para casos especiales con V ≤ 100 Km/h y MC ≤ 50.000. 	<ul style="list-style-type: none"> - La correspondiente a la Categoría que aplica según su MC.

			- La Visibilidad debe ser Suficiente.
8	Cruce con Pasarela Peatonal incluida.	- Se autoriza para Categoría 2B y siguientes. - La visibilidad debe ser suficiente.	- La correspondiente a la Categoría que aplica según su MC.

Fuente: Elaboración propia

A.8.1.4.2.1.2 Metodología por Índice de Peligrosidad

Tabla 54. Cálculo de la Señalización requerida según el Índice de Peligrosidad (IP)

Categoría del cruce	Condiciones a cumplir	Señalización mínima exigida
1 Sin Obligación de Detenerse.	- Se autoriza solo para casos de Emergencia y controlado por Carabineros. - $IP \leq 1.000.000$ - $V \leq 100$ Km/h. - Solo para Simple Vía.	- La Señalización de la categoría 4. - Señal PARE debe ocultarse.
2 Con Señalización Pasiva. $IP \leq 12.000$	- $IP \leq 12.000$ - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo simple Vía.	- Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Señal Sin Guarda Cruce. - Letrero Cruce-Pito.
3 Con Banderista Automático o Barrera. $12.000 \leq IP \leq 100.000$	- $12.000 \leq IP \leq 100.000$ - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía.	- Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Banderista Automático o Barrera. - Letrero Cruce-Pito.
4 Con Barrera Automática. $100.000 \leq IP \leq 1.000.000$	- $100.000 \leq IP \leq 1.000.000$ - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía.	- Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito.
5 Para Alta Velocidad. 100 Km/h < $V \leq 160$ Km/h	- Plazo para Desnivelar = 5 años. - $IP \leq 1.000.000$ - 100 Km/h < $v \leq 160$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía. - Con visibilidad insuficiente plazo para desnivelar = 3 años.	- Exigencias mientras se desnivela el cruce: - Prevención Permanente $V = 100$ Km/h. - Guarda-cruzada permanente. - Señal Automática al Tren. - Detector Óptico de Obstáculos.

			<ul style="list-style-type: none"> - Señal CEDA EL PASO. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito. - Machones separadores de Pistas.
6	Cruce a Desnivelar.	<ul style="list-style-type: none"> - $IP > 1.000.000$ - $160 \text{ Km/h} < V < 200 \text{ Km/h}$. - Triple vía existente. - Simple vía a la que se agrega una segunda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exigencias mientras se desnivela el cruce: - Plazo para desnivelar = 3 años. - Aplica exigencias de categoría 5. - La Visibilidad debe ser suficiente.
7	Cruce Provisorio.	<ul style="list-style-type: none"> - Se autoriza para casos Especiales con $V \leq 100 \text{ Km/h}$ y $IP \leq 1.000.000$. 	<ul style="list-style-type: none"> - La correspondiente a la Categoría que aplica según su IP. - La Visibilidad mínima debe ser suficiente.
8	Cruce con Pasarela Peatonal incluida.	<ul style="list-style-type: none"> - Se autoriza para Categoría 2 y siguientes. - La visibilidad debe ser suficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - La correspondiente a la Categoría que aplica según su IP. - La Visibilidad mínima debe ser 500 m.

Fuente: Elaboración propia

Luego, recapitulando, se tiene la siguiente tabla que relaciona los valores del Momento de Circulación con los Índices de Peligrosidad para esta nueva metodología propuesta. Ambas son válidas, discriminar por **MC** o por **IP** o por ambos combinados.

Tabla 55. Relación entre los valores de MC e IP propuestos

Nº	CATEGORÍA	MC	VISIBILIDAD	IP	OBSERVACIONES
1	Sin señal PARE	$MC \leq 50.000$	Suficiente	$IP \leq 1.000.000$	$V \leq 100 \text{ Km/h}$
2A	Señalización Pasiva	$MC \leq 5.000$	Suficiente	$IP \leq 12.000$	$V \leq 100 \text{ Km/h}$
2B	Señalización Activa (banderista o barrera)	$MC \leq 5.000$	Insuficiente	$IP \leq 12.000$	$V \leq 100 \text{ Km/h}$

N°	CATEGORÍA	MC	VISIBILIDAD	IP	OBSERVACIONES
3A	Señalización Activa (banderista o barrera)	$MC \leq 25.000$	Suficiente	$IP \leq 100.000$	$V \leq 100$ Km/h
3B	Señalización Activa (barrera)	$MC \leq 25.000$	Insuficiente	$IP \leq 100.000$	$V \leq 100$ Km/h
4A	Señalización Activa (barrera)	$MC \leq 50.000$	Suficiente	$IP \leq 1.000.000$	$V \leq 100$ Km/h
4B	Señalización Activa (barrera)	$MC \leq 50.000$	Insuficiente	$IP \leq 1.000.000$	$V \leq 100$ Km/h más Guarda-cruzada y Señal al Tren.
5	Alta Velocidad	$MC \leq 50.000$	Siempre Suficiente	$IP \leq 1.000.000$	100 Km/h < $V \leq 160$ Km/h más Prevención Permanente $V = 100$ Km/h más Guarda-cruzada permanente más Señal Automática al Tren más Detector Óptico de Obstáculos.
6	Para Desnivelar	$MC > 50.000$ $V > 160$ Km/h Nueva doble vía.		$IP > 1.000.000$	Mientras se desnivela la visibilidad debe ser siempre suficiente.
7	Cruce provisorio	$MC \leq 50.000$	Siempre Suficiente	$IP < 1.000.000$	$V \leq 100$ Km/h

N°	CATEGORÍA	MC	VISIBILIDAD	IP	OBSERVACIONES
8	Con Pasarela Peatonal		Siempre Suficiente		

Algunas observaciones:

- Los valores de MC no son tan estrictos como los de España.
- En general, se calculó con **K** promedio = 20 (siendo **K** = **IP/MC**). La realidad actual de Chile hoy es un promedio **K** = 50, es decir, mala visibilidad en general en los cruces.
- Se sugiere aplicar un coeficiente según el tipo de vehículo vial o ferroviario, es decir, no contar 1 por 1 (ver A.6.1.1 Decreto N° 38)
- Resulta de alta conveniencia mejorar la visibilidad de los cruces, usando las expresiones D_T y D_R para deducir si la visibilidad es suficiente o insuficiente.

Además se tienen las siguientes equivalencias:

Tabla 56. Cálculo de D_t según V_m y n

IP	MC	K	Comentario
12.000	5.000	2,4	
100.000	5.000	20,0	
100.000	25.000	4,0	
500.000	50.000	10,0	Situación ideal para Chile
1.000.000	25.000	40,0	Situación actual en Chile
1.000.000	50.000	20,0	Valores para desnivelar en Chile
480.000	24.000	20,0	Valores para desnivelar en España



Fuente: Elaboración propia

No hay inconveniente en usar los 2 métodos combinados, pues no resulta complicado, igual hay que calcular todos los indicadores involucrados.

A.8.2 Plan de implementación

Teniendo en consideración lo expuesto en el Documento Técnico del subcapítulo anterior, y el estado del arte de los cruces ferroviarios a nivel actuales, en este apartado se desarrolla un Plan de Implementación que contempla la aplicación de los cambios sugeridos. En general se contempla:

- a. Desnivelación de cruces.
- b. Mejorar automatización de los cruces que se mantienen. Cambios relacionados con seguridad de los cruces: señalética fija, banderistas, barreras automáticas y señalizaciones especiales.

A.8.2.1 *Desnivelación de Cruces*

A.8.2.1.1 Cumplimiento de la nueva normativa propuesta

Al final del capítulo A8 del Informe, se establece como Categoría 6 de un cruce, cuando este debe desnivelarse, esta categoría impone las siguientes condiciones, cada una debe cumplirse por separado:

1. Desnivelar para un Índice de Peligrosidad (**IP**) $> 1.000.000$
2. Desnivelar para un Momento de Circulación (**MC**) > 50.000
3. Desnivelar cuando la velocidad máxima es (**V**) > 160 Km/h.
4. Desnivelar cuando a una Simple Vía se le agrega una Segunda Vía nueva (esto se da en EFE para el tramo Concepción – Coronel).
5. Más de 2 vías férreas o más de 2 pistas viales. En todo caso, se pueden hacer excepciones de esta restricción.

6. No se incluye la restricción de la visibilidad $D_T < D_R$ ya que la visibilidad siempre se podrá mejorar obviamente a un costo mucho menor que el costo para desnivelar un cruce.
7. Cualquier otra singularidad negativa grave del cruce que haga razonable su desnivelación, como podría ser pendientes mayores, curvas muy cerradas, ángulos muy agudos, etc.

Se entiende que es opción a la desnivelación, siempre que sea posible, eliminar o reemplazar el cruce público a nivel.

Para aquellos cruces que deben desnivelarse, y mientras ello no ocurra y sigan en servicio, se deben respetar las siguientes condiciones de emergencia:

1. Plazo máximo para Desnivelar = de 3 a 5 años.
2. Aplicar las Exigencias de la Categoría 5 de la proposición.
3. La Visibilidad debe ser mínimo de 500 m.
4. La velocidad de los trenes no puede superar los 100 Km/h.

Las Exigencias de la Categoría 5 son las de los cruces de alta velocidad ($100 \text{ Km/h} < V \leq 160 \text{ Km/h}$) y corresponden a las siguientes:

1. Prevención Permanente de paso por el cruce de los trenes a $V \leq 100 \text{ Km/h}$.
2. Guarda-cruzada humano permanente de refuerzo 24x7.
3. Señal Automática al maquinista del Tren sobre el estado del cruce a mínimo 1.600 m. de éste.
4. Detector Magnético de Obstáculos.
5. Sistema Electrónico que calcula la velocidad del tren antes de llegar al cruce, lo que permite poder modificar el tiempo de anuncio del tren, sistema práctico para trenes lentos ante conductores impacientes (esto aún no se usa en EFE).

6. Señal CEDA EL PASO (no PARE), para disminuir el tiempo de franqueo vial del cruce.
7. Señal Cruz San Andrés (o disco Internacional).
8. Barrera Simple Automática (no Doble) con operación máxima en 18 segundos.
9. Letrero Cruce-Pito al maquinista por ambos lados de la vía a 1.000 m. del cruce.
10. Machones o soleras separadoras de Pistas viales, para evitar los adelantamientos de vehículos al franquear el cruce.

Para aquellos cruces que siendo la **IP** > 1.000.000, pero su **MC** < 50.000 igual deben desnivelarse, si la visibilidad real está bajo la necesaria. Mientras la visibilidad no se mejore hasta la requerida según la velocidad máxima de los trenes, se mantiene la exigencia de desnivelar. Cuando se logre la visibilidad suficiente, el **Índice de Peligrosidad** de seguro disminuirá bajo el valor de 1.000.000. Esto ocurre cuando **d_T** < **d_R** entonces el cruce no requiere desnivelación. La situación inversa para aquellos cruces que siendo la **IP** < 1.000.000, pero su **MC** > 50.000 igual deben desnivelarse, no existiendo método para bajar el Momento de Circulación.

A continuación se muestran diversos valores de desnivelación de cruces en base a datos recolectados en distintas empresas, lo que permite deducir un valor promedio de desnivelación, el primer cuadro es válido para pasos inferiores y el segundo cuadro es válido para pasos superiores.

Par mayor desglose ver *Anexo 4 – Proposición final*, archivo *4.3 Valores de desnivelación.xlsx*.

Tabla 57. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel (datos de EFE)

VALORES EN (UF) DE DESNIVELACIÓN DE CRUCES PÚBLICOS A NIVEL (datos de EFE)																							
Nº	NOMBRE CRUCE	KM	BLOCK	RAMAL	Nº de VÍAS	DESNIVEL	FECHA	V BRUTO de Ctta (UF)	Valor de Exprop	BRUTO + EXPROP	EMPRESA	OBSERV	V NETO de Ctta (UF)	COSTO DIRECTO (UF)			GG = 33,94%	Utilidad = 4,57%	Imprevistos = 1,14%	OBRAS ANEXAS		IVA	
														EFE	Ferrovial	Solutiva				Demoliciones	Proformas		
1	C.Vald(L.Vall)	3,500	Alda-Espejo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	58.061			Ferrovial	Eran 2 Vías	48.791	86.005	31.538		10.704	1.441	360	4.544	204	9.270	
2	B.Ossandon	4,900	Alda-Espejo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	105.377			Ferrovial	Eran 2 Vías	88.552	79.359	57.239		19.427	2.616	653	8.247	371	16.825	
3	Lo Blanco	13,650	Espejo-S.Bdo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	187.758			Ferrovial	Eran 2 Vías	157.780	81.079	101.987		34.614	4.661	1.163	14.694	661	29.978	
4	Nos	20,910	Nos-Buin	LCS	2	Inferior	07/06/2013	170.357			Ferrovial		143.157	60.486	92.535		31.406	4.229	1.055	13.332	600	27.200	
5	Linderos	35,200	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	07/06/2013	88.574			Ferrovial		74.432	56.418	48.112		16.329	2.199	548	6.932	312	14.142	
6	Prat	60,375	S.Fco-Graneros	LCS	2	Inferior	07/06/2013	171.931			Ferrovial	Incluye Muros	144.480	52.794	93.390		31.697	4.268	1.065	13.455	605	27.451	
7	L.Coloradas	78,320	Graneros-Rgua	LCS	2	Inferior	07/06/2013	179.433			Ferrovial		150.784	57.973	97.465		33.080	4.454	1.111	14.043	632	28.649	
1	Santa Julia	82,200	Rgua-L.Lirios	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			56.527									
2	Las Ovejas	11,622	Espejo-S.Bdo	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			81.606									
6	Paine	40,990	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			74.858									
8	5 Pinos	19,408	S.Bdo-Nos	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			92.070									
9	La Selva	18,615	S.Bdo-Nos	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			71.697									
15	F.Albano	7,250	Alda-Espejo	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			99.530									
16	Bascuñan	37,600	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			93.082									
17	R. de Paine	43,880	Paine-Hospital	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			56.071									
22	Codegua	67,165	S.Fco-Graneros	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			58.387									
	El Recurso	28,000	Nos-Buin	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			103.617									
	Los Guindos	29,800	Nos-Buin	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			103.617									
	Hospital	46,000	Paine-Hospital	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE			72.260									
	Aguila Sur	51,650	Hospital-S.Fco	LCS	2	Superior	31/12/2010				EFE			62.672									
	Graneros	70,230	Graneros-Rgua	LCS	2	Inferior	31/12/2010				EFE												
	Chiguayante	59,835	Omer-Chgte	Thno	2	Inferior		292.131	46.298	338.429	Solutiva	Incluye Exprop	245.488			188.837	28.326	28.326				46.643	
	J.A.Rios			Coronel	2	Inferior		264.106	11.965	276.071	Solutiva	Incluye Exprop	221.938			177.550	26.633	17.555				42.168	
	San Pedro			Coronel	2	Inferior		558.197	8.999	567.196	Solutiva	Incluye Exprop	469.073			347.462	60.806	60.806				89.124	
						TOTALES		2.075.925	67.262	1.181.696			1.744.476	1.500.108	522.266		293.022	130.554	5.954	75.247	3.386	331.449	
						PROM		207.593	22.421	393.899			174.448	75.005	74.609	237.950	29.302	13.055	851	10.750	484	33.145	

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada de empresas ferroviarias.

Tabla 58. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel para Pasos Inferiores

VALORES EN (UF) DE DESNIVELACIÓN DE CRUCES PÚBLICOS A NIVEL (en pasos inferiores)																		
Nº	NOMBRE CRUCE	KM	BLOCK	RAMAL	Nº de VÍAS	DESNIVEL	FECHA	COSTO DIRECTO de Ctta (UF)	Obras Anexas	NUEVO COSTO DIRECTO de Ctta (UF)	GG + Util + Imprev (variable)	V NETO de Ctta (UF)	IVA	V BRUTO de Ctta (UF)	Valor de Exprop	BRUTO + EXPROP	EMPRESA	OBSERV
1	C.Vald.(L.Valled)	3,500	Alda-Espejo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	31.538,00	4.748	36.286	12.505	48.791	9.270	58.061		58.061	FERROVIAL	Eran 2 Vías ahora 4
2	B.Ossandon	4,900	Alda-Espejo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	57.239,00	8.618	65.857	22.695	88.552	16.825	105.377		105.377	FERROVIAL	Eran 2 Vías ahora 4
3	Lo Blanco	13,650	Espejo-S.Bdo	LCS	4	Inferior	07/06/2013	101.987,00	15.355	117.342	40.438	157.780	29.978	187.758		187.758	FERROVIAL	Eran 2 Vías ahora 4
4	Nos	20,910	Nos-Buin	LCS	2	Inferior	07/06/2013	92.535,00	13.932	106.467	36.690	143.157	27.200	170.357		170.357	FERROVIAL	Valor de Licitación
5	Linderos	35,200	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	07/06/2013	48.112,00	7.244	55.356	19.076	74.432	14.142	88.574		88.574	FERROVIAL	Valor de Licitación
6	Prat	60,375	S.Fco-Graneros	LCS	2	Inferior	07/06/2013	93.390,00	14.061	107.451	37.029	144.480	27.451	171.931		171.931	FERROVIAL	Valor de Licitación
7	L.Coloradas	78,320	Graneros-Rgua	LCS	2	Inferior	07/06/2013	97.465,00	14.674	112.139	38.645	150.784	28.649	179.433		179.433	FERROVIAL	Opción Paso Inf.
8	Paine	40,990	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	31/12/2010	74.858,00		74.858	33.686	108.544	20.623	129.167		129.167	EFE	Estudio Interno
9	S Pinos	19,408	S.Bdo-Nos	LCS	2	Inferior	31/12/2010	92.070,00		92.070	41.432	133.502	25.365	158.867		158.867	EFE	Estudio Interno
10	La Selva	18,615	S.Bdo-Nos	LCS	2	Inferior	31/12/2010	71.697,00		71.697	32.264	103.961	19.753	123.713		123.713	EFE	Estudio Interno
11	F.Albano	7,250	Alda-Espejo	LCS	2	Inferior	31/12/2010	99.530,00		99.530	44.789	144.319	27.421	171.739		171.739	EFE	Estudio Interno
12	Bascuñan	37,600	Buin-Paine	LCS	2	Inferior	31/12/2010	93.082,00		93.082	41.887	134.969	25.644	160.613		160.613	EFE	Estudio Interno
13	Hospital	46,000	Paine-Hospital	LCS	2	Inferior	31/12/2010	72.260,00		72.260	32.517	104.777	19.908	124.685		124.685	EFE	Estudio Interno
14	Graneros	70,230	Graneros-Rgua	LCS	2	Inferior	31/12/2010										EFE	Estudio Interno
15	Chiguayante	59,835	Omer-Chgte	Thno	2	Inferior		188.837,00		188.837	56.651	245.488	46.643	292.131	46.298	338.429	SOLUTIVA	Valor de Proyecto
16	J.A.Rios			Coronel	2	Inferior		177.550,00		177.550	44.188	221.938	42.168	264.106	11.965	276.071	SOLUTIVA	Valor de Proyecto
17	San Pedro			Coronel	2	Inferior		347.462,00		347.462	121.612	469.074	89.124	558.198	8.999	567.197	SOLUTIVA	Valor de Proyecto
18	Pto Montt	Tramo 2	Stgo-Batuco	Valpo	2	Inferior		85.449,00	1.965	87.414	21.854	109.268	20.761	130.029	30.367	160.396	GEODATA	Valor de Proyecto
19	Alcalde Guzmán	Tramo 2	Stgo-Batuco	Valpo	2	Inferior		79.234,00	1.822	81.056	20.264	101.320	19.251	120.571	30.367	150.938	GEODATA	Valor de Proyecto
20	Sta Sofia		Chgte	Thno	2	Inferior	06/01/2020	224.225,47		224.225	69.874	294.099	55.879	349.978		349.978	FESUR	Estudio Interno
21	Lomas Coloradas		S.Pedro dl Paz	Coronel	2	Inferior	06/01/2020	390.158,09		390.158	121.582	511.740	97.231	608.970		608.970	FESUR	Estudio Interno
22	San Francisco		Coronel	Coronel	2	Inferior	06/01/2020	188.169,35		188.169	58.638	246.807	46.893	293.700		293.700	FESUR	En Construcción
23	Diagonal BioBio		S.Pedro dl Paz	Coronel	2	Inferior	06/01/2020	474.221,46		474.221	147.778	621.999	118.180	740.179		740.179	FESUR	Estudio Interno
24	Hualpen		Arenal Thno	Thno	1	Inferior	06/01/2020	215.752,73		215.753	67.233	282.986	53.767	336.753		336.753	FESUR	Estudio Interno
25																		
		31,16% UF (6/1/20)	GG+UH de FESUR \$28.315,42			PROM		147.688	9.158	151.271	50.579	201.859	38.353	240.213	25.599			

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada de empresas ferroviarias.

Tabla 59. Valores en UF de desnivelación de cruces públicos a nivel para Pasos Superiores

VALORES EN (UF) DE DESNIVELACIÓN DE CRUCES PÚBLICOS A NIVEL (en pasos superiores)																		
Nº	NOMBRE CRUCE	KM	BLOCK	RAMAL	Nº de VÍAS	DESNIVEL	FECHA	COSTO DIRECTO de Ctta (UF)	Obras Anexas	NUEVO COSTO DIRECTO de Ctta (UF)	GG + Util + Imprev (variable)	V NETO de Ctta (UF)	IVA	V BRUTO de Ctta (UF)	Valor de Exprop	BRUTO + EXPROP	EMPRESA	OBSERV
1	L. Coloradas	78,320	Graneros-Rgua	LCS	2	Superior		133.294,50		133.295	59.983	193.277	36.723	230.000	22.421	252.421	ICIL-ICAFAL	Valor de Licitación
2	L. Coloradas	78,320	Graneros-Rgua	LCS	2	Superior		179.658,00		179.658	80.846	260.504	49.496	310.000	22.421	332.421	SIGDO-COPER	Valor de Licitación
3	San Ignacio	Tramo 3	Stgo-Batuco	Valpo	2	Superior		182.873,00	4.206	187.079	46.770	233.849	44.431	278.280	30.367	308.647	GEODATA	Valor de Proyecto
4	La Montaña	Tramo 3	Stgo-Batuco	Valpo	2	Superior		302.619,00	6.960	309.579	77.395	386.974	73.525	460.499	30.367	490.866	GEODATA	Valor de Proyecto
5	Cacique Colín	Tramo 4	Stgo-Batuco	Valpo	2	Superior		182.797,00	4.204	187.001	46.750	233.752	44.413	278.164	30.367	308.532	GEODATA	Valor de Proyecto
6	Sta Julia	82,200	Rgua-L.Lirios	LCS	2	Superior	31/12/2010	56.527,00		56.527	22.413	78.940	14.999	93.939		93.939	EFE	Estudio Interno
7	Las Ovejas	11,622	Espejo-S.Bdo	LCS	2	Superior	31/12/2010	81.606,00		81.606	32.357	113.963	21.653	135.616		135.616	EFE	Estudio Interno
8	R.de Paine	43,880	Paine-Hospital	LCS	2	Superior	31/12/2010	56.071,00		56.071	22.232	78.303	14.878	93.181		93.181	EFE	Estudio Interno
9	Codegua	67,165	S.Fco-Graneros	LCS	2	Superior	31/12/2010	58.387,00		58.387	23.150	81.537	15.492	97.030		97.030	EFE	Estudio Interno
10	El Recurso	28,000	Nos-Buin	LCS	2	Superior	31/12/2010	103.617,00		103.617	41.084	144.701	27.493	172.194		172.194	EFE	Estudio Interno
11	Los Guindos	29,800	Nos-Buin	LCS	2	Superior	31/12/2010	103.617,00		103.617	41.084	144.701	27.493	172.194		172.194	EFE	Valor Extrapolado
12	Aguila Sur	51,650	Hospital-S.Fco	LCS	2	Superior	31/12/2010	62.672,00		62.672	24.849	87.521	16.629	104.151		104.151	EFE	Estudio Interno
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
						PROM		125.312	5.124	126.592	43.243	169.835	32.269	202.104	27.189			

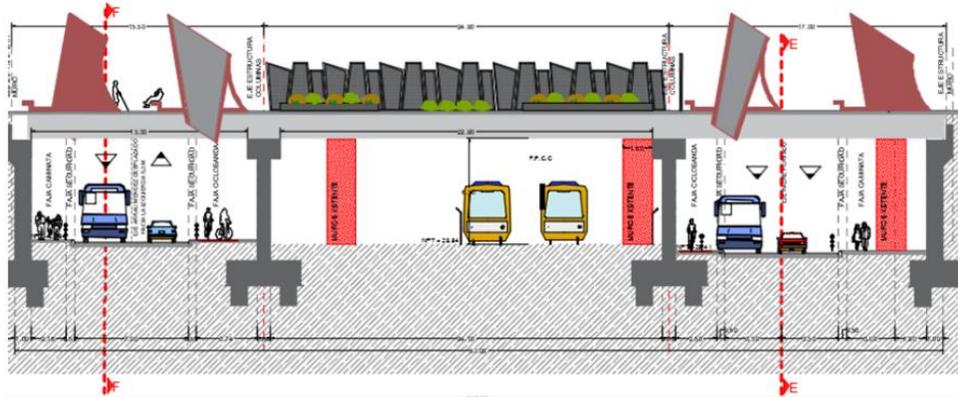
Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada de empresas ferroviarias.

Antes de tomar un promedio de estos costos, para proyectar inversiones futuras, hay que tener presente que hay condiciones particulares de cada desnivelación, que hacen variar enormemente una desnivelación respecto de otra, mencionemos las más importantes:

- 1) La factibilidad técnica de la expropiación de terrenos y edificios históricos.
- 2) La cantidad de m² de terreno necesario expropiar.
- 3) El valor unitario en UF/m² del terreno necesario expropiar.
- 4) Si durante las obras de construcción se requiere mantener o no el tráfico ferroviario.
- 5) Factibilidad de construir una vía férrea by-pass u obligadamente apeara la vía férrea.
- 6) Para pasos viales inferiores, factibilidad de usar tunelera o cajón hincado.
- 7) Si las obras de construcción requieren mantener o no el tráfico carretero.
- 8) Factibilidad de construir un desvío de tránsito vial.
- 9) Para pasos superiores, el galibo vertical exigido por EFE para vías con catenaria.
- 10) Si por la presencia de caminos paralelos al ferrocarril, el paso desnivelado deba tener varios vanos: una para el ferrocarril, más uno o dos para el o los caminos paralelos.

Se muestra un ejemplo del caso 10) en la siguiente ilustración.

Ilustración 50. Ejemplo paso superior con varios vanos



Fuente: Consultora SOLUTIVA

A.8.2.1.2 Valorización de las desnivelaciones

En base a los cuadros anteriores, se observa que para las **desnivelaciones inferiores en doble vía**, como valor bruto (obra vendida) se tomará el valor de **240.213 UF sin considerar las expropiaciones**.

Para las **desnivelaciones inferiores en simple**, como valor bruto (obra vendida) se tomará el valor de $240.213 - 25\%$ UF, es decir, **180.160 UF sin considerar las expropiaciones**.

Como valor promedio de las **expropiaciones** se tomará el valor de 25.599 UF, luego:

- Desnivelaciones inferiores en doble vía incluidas expropiaciones 265.812 UF.
- Desnivelaciones inferiores en simple vía incluidas expropiaciones 205.759 UF.

Para las **desnivelaciones superiores en doble vía**, como valor bruto (obra vendida) se tomará el valor de **202.104 UF sin considerar las expropiaciones**.

Para las **desnivelaciones superiores en simple vía**, como valor bruto (obra vendida) se tomará el valor de 202.104 - 25% UF, es decir, **151.578 UF sin considerar las expropiaciones**.

Como valor promedio de las **expropiaciones** se tomará el valor de 27.189 UF, luego:

- Desnivelaciones superiores en doble vía incluidas expropiaciones 229.293 UF.
- Desnivelaciones superiores en simple vía incluidas expropiaciones 178.767 UF.

De los 23 cruces de Santiago a Chillán que requieren desnivelación, 2 de ellos requieren Paso Inferior, 3 Paso Superior, mientras que para los 18 cruces restantes pendientes por definir si deben ser Paso Inferior o Paso Superior se considerará el caso más favorable, es decir, paso inferior, detallado en la tabla siguiente:

Tabla 60. Cruces que deben desnivelarse

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Vías	Artículo	Clase Vía	V = N° Veh	T=N°Trenes	MC=V•T	veloc	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE	Observaciones
149	1	Los Guindos	29,800	LCS	2	1°	E	2.220	7	15.540	160	2.576.654	474	5	insuficiente	desnivelar	Paso Superior
150	2	Linderos	35,200	LCS	2	1°	E	5.208	5	26.040	160	2.227.574	474	9	insuficiente	desnivelar	Paso Inferior
153	3	Rinconada	43,880	LCS	2	1°	E	1.163	9	10.467	160	1.456.903	474	6	insuficiente	seguir en Art 1°	Paso Superior
156	4	Prat	60,375	LCS	2	1°	E	1.634	7	11.438	160	1.044.042	474	9	insuficiente	seguir en Art 1°	Paso Inferior
161	5	S/N (Sta Julia)	82,200	LCS	2	no regulado	E	8.983	9	80.847	160	3.735.030	474	17	insuficiente	desnivelar	Paso Superior
162	6	Lo Conty	85,475	LCS	2	1°	E	2.019	17	34.323	160	2.358.777	474	12	insuficiente	desnivelar	
172	7	Egenau	109,430	LCS	2	1°	E	7.733	7	54.131	160	2.313.664	474	19	insuficiente	desnivelar	
173	8	S/N	110,426	LCS	2	no regulado	E	12.921	6	77.526	160	2.222.258	474	28	insuficiente	desnivelar	
181	9	M. Rodriguez	133,687	LCS	2	1°	E	12.960	6	77.760	160	4.070.082	474	15	insuficiente	desnivelar	
200	10	Santa Fe	183,950	LCS	1	2°	E	5.775	3	17.325	160	1.035.739	474	13	insuficiente	ya señalado	
201	11	C.Henriquez	184,895	LCS	1	1°	E	15.589	2	31.178	160	3.344.980	474	7	insuficiente	desnivelar	Curico Norte
202	12	Billouta	185,705	LCS	1	1°	E	9.716	3	29.148	160	1.627.430	474	14	insuficiente	seguir en Art 1°	Curico Sur
203	13	Dr. Osorio	186,350	LCS	1	1°	E	11.540	3	34.620	160	1.414.430	474	20	insuficiente	seguir en Art 1°	
217	14	Los Molinos	251,230	LCS	1	2°	E	10.337	10	103.370	160	162.196	474	510	suficiente	ya señalado	MC > 50.000
219	15	Maule	260,030	LCS	1	1°	E	4.036	7	28.252	160	1.973.526	474	11	insuficiente	seguir en Art 1°	
227	16	Villa Alegre	279,800	LCS	1	1°	E	2.073	7	14.511	160	1.215.785	474	10	insuficiente	seguir en Art 1°	

N° EFE	N°	Nombre	PK	Block	Vías	Artículo	Clase Vía	V = N° Veh	T=N°Trenes	MC=V•T	veloc	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE	Observaciones
233	17	Las Monjas	298,480	LCS	1	1°	E	4.259	6	25.554	160	1.197.078	474	17	insuficiente	seguir en Art 1°	
234	18	Maipú	300,100	LCS	1	1°	E	7.400	5	37.000	160	1.783.378	474	17	insuficiente	seguir en Art 1°	Son 3 calles de Linares, se requieren expropiaciones de casas para desnivelar.
235	19	Las Delicias	300,210	LCS	1	1°	E	6.838	8	54.704	160	2.105.855	474	21	insuficiente	desnivelar	
236	20	S/N	300,500	LCS	1	no regulado	E	3.821	5	19.105	160	1.631.118	474	9	insuficiente	regularizar a Art 1°	
249	21	Estación Parral	340,000	LCS	1	2°	E	5.149	4	20.596	160	1.217.379	474	14	insuficiente	ya señalado	
257	22	Vic Mackenna	372,900	LCS	1	1°	E	7.530	4	30.120	160	4.250.299	474	6	insuficiente	desnivelar	
265	23	Lantaño	396,868	LCS	1	1°	E	13.470	6	80.820	160	2.911.550	474	22	insuficiente	desnivelar	

	V	T	MC	IP	Dt	Dr
PROM	7.060	6	39.755	2.081.553	474	35

Fuente: Elaboración propia en base a criterios propuestos.

En base a lo anterior, los costos según las desnivelaciones inferiores o superiores, en doble y simple vía, se describen a continuación:

Tabla 61. Cruces que deben desnivelarse

Cantidad	Desnivelación	Valor Unit (UF)	Valor Total (UF)
6	Pasos inferiores doble vía	265.812	1.594.872
3	Pasos superiores en doble vía	229.293	687.879
14	Pasos inferiores en simple vía	205.759	2.880.626
0	Pasos superiores en simple vía	178.767	0
23	TOTAL		5.163.377

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

Una vez definidas la cantidad y tipo de desnivelación para cada cruce, se ordenan según prioridad en base al valor creciente del Índice de Peligrosidad o el Momento de Circulación como se muestra en las siguientes tablas. Hay cruces que se repiten en ambas tablas, eso ocurre cuando en el cruce se ha rebasado el valor límite de ambos indicadores **IP** y **MC**.

Tabla 62. Cruces con IP>1.000.000 indicados de mayor a menor

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V = Nº Veh	T=NºTrenes	MC=V•T	veloc	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
147	9	Nos	20.910	LCS	1º	E	10,370	9	93,330	160	14,542,004	474	5	insuficiente	desnivelar
144	6	Lo Blanco	13.650	LCS	1º	E	18,068	10	180,680	160	10,749,990	474	13	insuficiente	desnivelar
143	5	Las Ovejas	11.622	LCS	1º	E	6,516	11	71,676	160	5,610,814	474	10	insuficiente	desnivelar
140	2	Bombero Osadon	4.900	LCS	no regulado	E	4,853	11	53,383	160	5,288,723	474	8	insuficiente	desnivelar
152	14	Paine	40.950	LCS	1º	E	11,572	9	104,148	160	5,007,998	474	17	insuficiente	desnivelar
257	119	Vic Mackenna	372.900	LCS	1º	E	7,530	4	30,120	160	4,250,299	474	6	insuficiente	desnivelar
181	43	M. Rodriguez	133.687	LCS	1º	E	12,960	6	77,760	160	4,070,082	474	15	insuficiente	desnivelar
161	23	S/N	82.200	LCS	no regulado	E	8,983	9	80,847	160	3,735,030	474	17	insuficiente	desnivelar
201	63	C.Henriquez	184.895	LCS	1º	E	15,589	2	31,178	160	3,344,980	474	7	insuficiente	desnivelar
265	127	Lantaño	396.868	LCS	1º	E	13,470	6	80,820	160	2,911,550	474	22	insuficiente	desnivelar
159	21	Graneros	70.230	LCS	1º	E	12,824	8	102,592	160	2,849,615	474	29	insuficiente	desnivelar
149	11	Los Guindos	29.800	LCS	1º	E	2,220	7	15,540	160	2,576,654	474	5	insuficiente	desnivelar
162	24	Lo Conty	85.475	LCS	1º	E	2,019	17	34,323	160	2,358,777	474	12	insuficiente	desnivelar
172	34	Egenau	109.430	LCS	1º	E	7,733	7	54,131	160	2,313,664	474	19	insuficiente	desnivelar
150	12	Linderos	35.200	LCS	1º	E	5,208	5	26,040	160	2,227,574	474	9	insuficiente	desnivelar
173	35	S/N	110.426	LCS	no regulado	E	12,921	6	77,526	160	2,222,258	474	28	insuficiente	desnivelar
151	13	Bascañan	37.600	LCS	1º	E	7,675	7	53,725	160	2,182,271	474	20	insuficiente	desnivelar
235	97	Las Delicias	300.210	LCS	1º	E	6,838	8	54,704	160	2,105,855	474	21	insuficiente	desnivelar
219	81	Maule	260.030	LCS	1º	E	4,036	7	28,252	160	1,973,526	474	11	insuficiente	seguir en Art 1º
234	96	Maipú	300.100	LCS	1º	E	7,400	5	37,000	160	1,783,378	474	17	insuficiente	seguir en Art 1º
236	98	S/N	300.500	LCS	no regulado	E	3,821	5	19,105	160	1,631,118	474	9	insuficiente	regularizar a Art 1º
202	64	Billouta	185.705	LCS	1º	E	9,716	3	29,148	160	1,627,430	474	14	insuficiente	seguir en Art 1º
153	15	Rinconada	43.880	LCS	1º	E	1,163	9	10,467	160	1,456,903	474	6	insuficiente	seguir en Art 1º
203	65	Dr. Osorio	186.350	LCS	1º	E	11,540	3	34,620	160	1,414,430	474	20	insuficiente	seguir en Art 1º
145	7	La Selva	18.615	LCS	1º	E	9,565	10	95,650	160	1,338,611	474	57	insuficiente	seguir en Art 1º
249	111	estación Parral	340.000	LCS	2º	E	5,149	4	20,596	160	1,217,379	474	14	insuficiente	ya señalado
227	89	Villa Alegre	279.800	LCS	1º	E	2,073	7	14,511	160	1,215,785	474	10	insuficiente	seguir en Art 1º
233	95	Las Monjas	298.480	LCS	1º	E	4,259	6	25,554	160	1,197,078	474	17	insuficiente	seguir en Art 1º
160	22	Las Coloradas	78.320	LCS	1º	E	4,898	6	29,388	160	1,051,963	474	22	insuficiente	seguir en Art 1º
156	18	Prat	60.375	LCS	1º	E	1,634	7	11,438	160	1,044,042	474	9	insuficiente	seguir en Art 1º
200	62	Santa Fe	183.950	LCS	2º	E	5,775	3	17,325	160	1,035,739	474	13	insuficiente	ya señalado

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de IP.

Tabla 63. Cruces con MC>50.000 indicados de mayor a menor

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Block	Artículo	Clase Vía	V = Nº Veh	T=NºTrenes	MC=V•T	veloc	IP	Dt	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE
144	6	Lo Blanco	13.650	LCS	1º	E	18,068	10	180,680	160	10,749,990	474	13	insuficiente	desnivelar
152	14	Paine	40.950	LCS	1º	E	11,572	9	104,148	160	5,007,998	474	17	insuficiente	desnivelar
217	79	Los Molinos	251.230	LCS	2º	E	10,337	10	103,370	160	162,196	474	510	suficiente	ya señalado
159	21	Graneros	70.230	LCS	1º	E	12,824	8	102,592	160	2,849,615	474	29	insuficiente	desnivelar
145	7	La Selva	18.615	LCS	1º	E	9,565	10	95,650	160	1,338,611	474	57	insuficiente	seguir en Art 1º
147	9	Nos	20.910	LCS	1º	E	10,370	9	93,330	160	14,542,004	474	5	insuficiente	desnivelar
161	23	S/N	82.200	LCS	no regulado	E	8,983	9	80,847	160	3,735,030	474	17	insuficiente	desnivelar
265	127	Lantaño	396.868	LCS	1º	E	13,470	6	80,820	160	2,911,550	474	22	insuficiente	desnivelar
181	43	M. Rodriguez	133.687	LCS	1º	E	12,960	6	77,760	160	4,070,082	474	15	insuficiente	desnivelar
173	35	S/N	110.426	LCS	no regulado	E	12,921	6	77,526	160	2,222,258	474	28	insuficiente	desnivelar
143	5	Las Ovejas	11.622	LCS	1º	E	6,516	11	71,676	160	5,610,814	474	10	insuficiente	desnivelar
235	97	Las Delicias	300.210	LCS	1º	E	6,838	8	54,704	160	2,105,855	474	21	insuficiente	desnivelar
172	34	Egenau	109.430	LCS	1º	E	7,733	7	54,131	160	2,313,664	474	19	insuficiente	desnivelar
151	13	Bascuñan	37.600	LCS	1º	E	7,675	7	53,725	160	2,182,271	474	20	insuficiente	desnivelar
140	2	Bombero Osadon	4.900	LCS	no regulado	E	4,853	11	53,383	160	5,288,723	474	8	insuficiente	desnivelar

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de MC.

A.8.2.2 Automatización de un cruce público a nivel

A.8.2.2.1 Cumplimiento de la nueva normativa propuesta

Para aquellos cruces públicos a nivel en que su desnivelación no es prioridad, Chile ha establecido 4 tramos según el valor de su **IP**, el que a su vez define el tipo de señalización requerida en base al valor solo del **IP** no del **MC**:

1. Señalización Pasiva (solo discos de advertencia con obligación de respetar).
2. Señalización Activa Automática Sonoro Luminosa (banderista).
3. Señalización Activa Automática con Barreras.
4. Desnivelación del Cruce.

Los límites propuestos que definen estos 4 tramos se muestran en el informe y son los siguientes:

Tabla 64. Desnivelaciones según prioridad

Categoría del cruce	Condiciones a cumplir	Señalización mínima exigida
2A.- Solo Letreros	<ul style="list-style-type: none"> - $MC \leq 5.000$ - $IP \leq 12.000$ - Visibilidad Suficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Solo para Simple Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Señal Sin Guarda Cruce. - Letrero Cruce-Pito.
2B.- Con Banderista .	<ul style="list-style-type: none"> - $MC \leq 5.000$ - $12.000 \leq IP \leq 100.000$ - Visibilidad Insuficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Banderista Automático. - Letrero Cruce-Pito.
3B.- Con Barrera .	<ul style="list-style-type: none"> - $5.000 \leq MC \leq 25.000$ - $12.000 \leq IP \leq 100.000$ - Visibilidad Insuficiente. - $V \leq 100$ Km/h. - Para Máximo Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Señal PARE. - Señal Cruz San Andrés. - Barrera Simple Automática (no Doble). - Letrero Cruce-Pito.
6.- Cruce a Desnivelar .	<ul style="list-style-type: none"> - $MC > 50.000$ - $IP \geq 1.000.000$ - $160 \text{ Km/h} < V < 200 \text{ Km/h}$. - Nueva Doble Vía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plazo para Desnivelar = 3 años. - Aplica Exigencias de Categoría 5. - La Visibilidad debe ser Suficiente.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de tablas anteriores.

La situación con estos 4 tramos por tipo de señalización ha variado con el avance de la tecnología, por lo que actualmente los tramos son solo 3:

1. Señalización Pasiva (solo discos de advertencia con obligación de respetar).
2. Señalización Activa Automática con Barreras (más luces y campanilla que reemplazan al banderista).
3. Desnivelación del Cruce.

Con respecto a las barreras aparte de ser automáticas ahora incorporan otros dispositivos según la tabla siguiente:

Tabla 65. Nuevos dispositivos en barreras automáticas

Nuevo dispositivo	Reemplazo de
Luces intermitentes de color rojo en la misma barrera.	Banderista automático
Campanillas de alarma.	
Señalización al maquinista del tren.	Ya se está usando en EFE en las Barreras tipo Senelec Sil 4 con licencia de la comunidad europea.
Indicador de Obstáculos en el cruce.	No se está usando aún en EFE
Medidor de la Velocidad del Tren, permite variar los tiempos de anuncio.	No se está usando aún en EFE

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de IP.

Además, como se describió en el capítulo *A.5.2.1.1 Normas y Criterios EEUU*, la normativa que se usa en EEUU, establece una clara diferencia de seguridad entre el banderista y la barrera, ubicando en una seguridad muy baja al banderista con valor muy cercano al de la señalética pasiva, en cambio la seguridad de la barrera completa actual es mucho mayor, permitiendo fijar la desnivelación para valores más altos del Momento de Circulación e Índice de Peligrosidad.

En EEUU se usa el Concepto de **Índice de Riesgo** del cruce con las siguientes formulas:

Tabla 66. Parámetros de cada cruce.

$$\text{Índice de Riesgo} = K * EL * MT * DT * HP * MS * HT * HL$$

SÍMBOLO	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CRUCE
c	media anual de vehiculos diarios
t	media anual de trenes diarios
mt	número de vías férreas
d	Nº promedio de trenes diarios por día durante el día
hp	camino pavimentado = 1 / camino de tierra = 2
ms	velocidad máxima del tren en Km/h
hl	número de pistas del camino
ht	factor de carretera de 1 a 6 (vale 1 para autopistas)

Fuente: Manual “Railroad-Highway Grade Crossing Handbook” redactado por el DOT en
EEUU

Las categorías de cruces se definen según los siguientes parámetros.

Tabla 67. Parámetros por categoría de cruce.

Crossing Characteristic Factors

Crossing Category	Formula Constant K	Exposure Index Factor EI	Main Tracks Factor MT	Day Thru Trains Factor DT	Highway Paved Factor HP	Maximum Speed Factor MS	Highway Type Factor HT	Highway Lanes Factor HL
Passive	0.002268	$\frac{c \times t + 0.2}{0.2}^{0.3334}$	$e^{0.2094mt}$	$\frac{d + 0.2}{0.2}^{0.1336}$	$e^{-0.6160(hp-1)}$	$e^{0.0077ms}$	$e^{-0.1000(ht-1)}$	1.0
Flashing Lights	0.003646	$\frac{c \times t + 0.2}{0.2}^{0.2953}$	$e^{0.1088mt}$	$\frac{d + 0.2}{0.2}^{0.0470}$	1.0	1.0	1.0	$e^{0.1380(hl-1)}$
Gates	0.001088	$\frac{c \times t + 0.2}{0.2}^{0.3116}$	$e^{0.2912mt}$	1.0	1.0	1.0	1.0	$e^{0.1036(hl-1)}$

Fuente: Manual “Railroad-Highway Grade Crossing Handbook” redactado por el DOT en EEUU

Aplicando las fórmulas planteadas para cualquier cruce, se observa un bajo Índice de Riesgo de las Barreras respecto de un Banderista. Para mayor información ver capítulo A.5.2.1 *Estados Unidos*.

Resumiendo, en este capítulo se hablará sobre Señalización Pasiva y Señalización Activa, entendiendo por esta última, solo las Barreras completas actuales.

A.8.2.2.2 Valorización de la señalización faltante

El precio neto promedio de los costos de automatización de un cruce público a nivel (señalización pasiva y activa completa) que cumpla con la normativa CENELEC SIL-4 de la Comunidad Europea que actualmente ejecuta EFE, constituido básicamente por un banderista automático (sonoro luminoso) con barreras automáticas de entrada (no salida) para

el vehículo complementado con señales automáticas al maquinista del ferrocarril, se encuentra entre los intervalos de 4.500 UF y 5.000 UF neto, el monto dependerá de variables como si la vía es simple o doble, si es calzada simple o doble, la cercanía a estaciones, etc.

Sin embargo, EFE aún no incorpora en sus normas actuales 2 exigencias a la automatización de un cruce público a nivel que ya se efectúan en la Comunidad Europea:

1. “Detector de la presencia de obstáculos sobre un cruce a nivel”, esto está definido en el punto D3 página 9 de la norma técnica de cruces de EFE N° NTF-51.001 de octubre 1.996 norma hoy derogada, pues EFE aun no resuelve los nuevos límites para señalizar (automatizar) o desnivelar un cruce.
2. “Variar la distancia de anuncio del tren según su velocidad”, esto esta mencionado en la memoria de la consultora LIBRA para el MTT de julio 2008 en su página 137. Esto resulta útil para trenes de carga lentos que se anuncian por una vía férrea, y que invitan a conductores impacientes a franquear el cruce antes de lo que corresponde, sin saber que por la segunda vía férrea puede venir un tren de pasajeros de mayor velocidad.

A.8.2.2.3 Información técnica de la automatización moderna de cruces

Tradicionalmente las barreras automáticas bajan cuando se acerca un tren al cruce, cerrando el paso vehicular vial, cuando el tren pisa el circuito de detección y protección del cruce, subiendo una vez que el tren despeja dicho circuito.

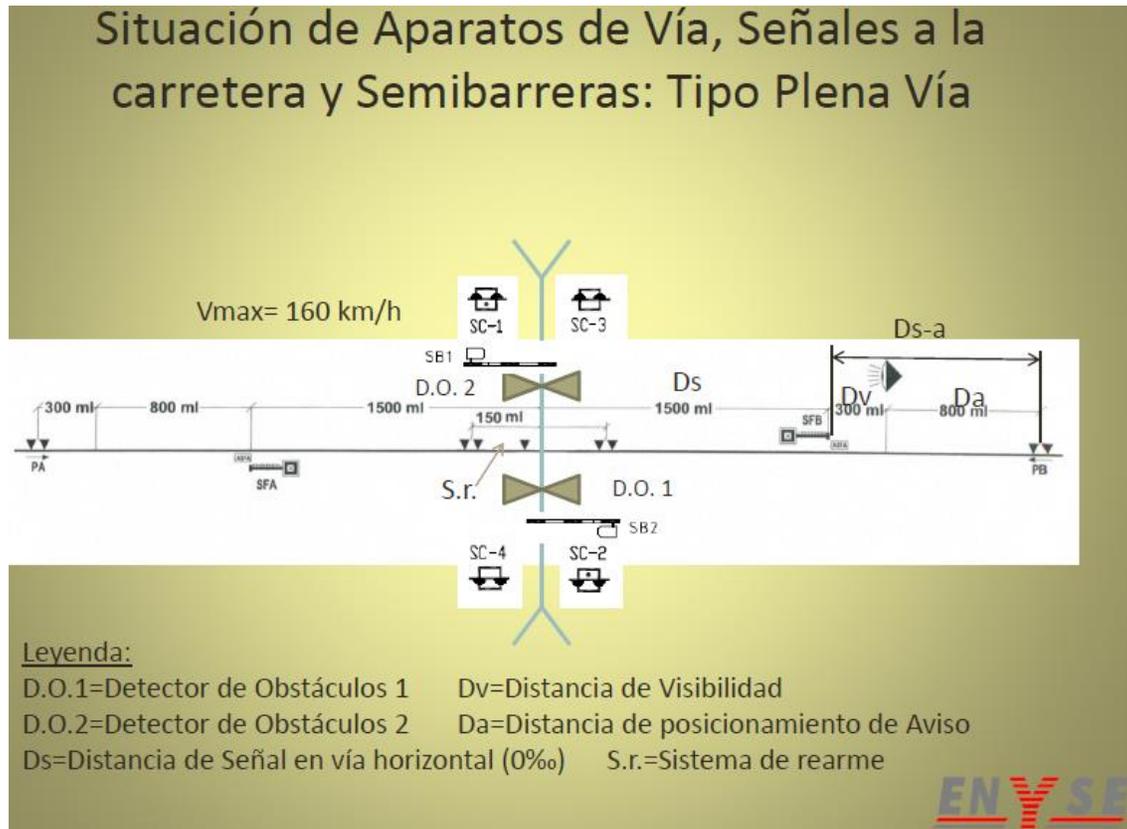
Sin embargo, hoy se agregan nuevas tecnologías a las barreras, algunas de ellas, ya se están aplicando en EFE y otras aun no, básicamente son 4 (la primera la básica de siempre + 3 nuevas instalaciones eléctricas):

1. La función básica de accionamiento de las barreras, complementado con luces intermitentes rojas y campanilla de alarma, más la señalética fija correspondiente.
2. Una señal semafórica auxiliar al tren, avisando al maquinista en tiempo real el estado de protección del cruce (es decir, si ya las barreras están abajo).
3. Unas “espiras” de detección magnéticas que se instalan en la carpeta de rodado del cruce, indicadoras que el cruce está despejado de obstáculos (fundamentalmente los obstáculos metálicos).
4. Un sistema electrónico que modifica en tiempo real, el “tiempo de anuncio de un tren” según la velocidad del tren que ingresa al circuito del cruce. Esto resulta útil para acortar dicho tiempo con trenes lentos, que inquietan a conductores impacientes por la espera que el tren lento pase por el cruce.

En EFE se usa de siempre la tecnología 1, ahora ya se incorporó la tecnología 2, queda pendiente aplicar las tecnologías 3 y 4.

A.8.2.2.4 Las señales de un cruce automatizado y sus tiempos y distancias

Ilustración 51. Automatización de la vía férrea y la carretera de un cruce ferroviario



Fuente: Empresa ENYSE

- ✓ Las señales ferroviarias auxiliares (SFA y SFB) para pasos a nivel (PaN), advierten al maquinista del estado en que se encuentran los dispositivos de protección de los PaN automáticos tradicionales a la carretera (barreras y señales semafóricas al camino SC-1 a SC-4). Las señales SFA y SFB se sitúan a una distancia D_s del cruce, tal que un tren pueda detenerse en caso de anomalía antes de llegar a la intersección con

la carretera. Se instalan a ambos lados de la vía férrea única principal, como también si la hay en una segunda vía principal, incluso en doble vía banalizada (con tráfico ferroviario en ambos sentidos en ambas vías).

- ✓ El cálculo de la distancia **D_s** según la norma europea NTC-020.94 depende de los siguientes factores:
 - La Distancia de frenado del tren según su velocidad (para trenes de carga normalmente como promedio se necesitan 100 m. para reducir su velocidad en 10 Km/h, por ejemplo; un carguero a 60 Km/h requiere 600 m. para detenerse, en todo caso, el poder de freno de un automotor de pasajeros es mucho mayor).
 - La Declividad de la vía.
 - El Tiempo de reacción del maquinista sobre el freno del tren.
 - La desaceleración media por frenado del tren para cada velocidad.
- ✓ El valor de **D_s** para $V = 160$ Km/h se establece entre 1.500 y 1.600 m.
- ✓ El valor de **D_s** para $V = 100$ Km/h se establece entre 800 y 1.000 m.
- ✓ Toda señal debe ser reconocida con la antelación suficiente para que sea asimilada, para ello, se requiere de una distancia que se le llama “distancia de visibilidad” **D_v** y que se establece en 300 m. para cualquier velocidad máxima de tren.
- ✓ Se llama **D_A** a la distancia entre el punto de activación del circuito del cruce PA o PB (eclisa aislada, pedalera, AFO u otro detector) y el punto de detección de la señal por el ojo del maquinista, lo que corresponde a la distancia recorrida por el tren a su velocidad máxima durante los tiempos **T_P + T_B**
 - **T_P** = 8 segundos, tiempo de pre-aviso.
 - **T_B** = 10 segundos, tiempo de bajada de barreras.
- ✓ Entonces la distancia entre el punto de activación del circuito del cruce y la señal ferroviaria SFA o SFB corresponde a **D_v + D_A** (distancia que recorre el tren en un

tiempo, tiempo que debe ser menor al tiempo máximo a ocupar por las barreras para bajarse).

FORMULAS SIMPLES DE LAS DISTANCIAS INVULUCRADAS:

- Caso para $V_{MÁX} = 160 \text{ Km/h}$:

$$D_A = (T_P + T_B) * (160.000 / 3.600) = (8 + 10) * (160.000 / 3.600) = 800 \text{ m.}$$

De la figura anterior $D_V + D_A = 300 \text{ m} + 800 \text{ m} = 1.100 \text{ m}$.

- Caso para $V_{MÁX} = 100 \text{ Km/h}$:

$$D_A = (T_P + T_B) * (100.000 / 3.600) = (8 + 10) * (100.000 / 3.600) = 500 \text{ m.}$$

De la figura anterior $D_V + D_A = 300 \text{ m} + 500 \text{ m} = 800 \text{ m}$.

DISTANCIAS TOTALES DEL CIRCUITO VÍA DEL CRUCE A CADA LADO DE ESTE:

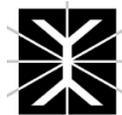
- Para $V = 160 \text{ Km/h}$ se tiene $D_S + D_V + D_A = 1.500 + 300 + 800 = \mathbf{2.600 \text{ m}}$.
- Para $V = 100 \text{ Km/h}$ se tiene $D_S + D_V + D_A = 800 + 300 + 500 = \mathbf{1.600 \text{ m}}$.

Aspectos que presentan las señales de aviso al tren de un cruce

PaN protegido (cruce sin fallas) ordena al maquinista con aspecto blanco fijo, que el cruce está protegido y sin fallas, entonces el tren puede franquear el cruce normalmente.



PaN semi-protegido (cruce con fallas leves) ordena al maquinista con aspecto blanco destellante, que el cruce está protegido, pero presenta algunos fallos leves, y el tren puede franquear el cruce con máxima precaución. Además, el maquinista debe reportar al PCC esta circunstancia.



PaN sin protección (cruce con fallas graves) ordena al maquinista con aspecto amarillo destellante, que el cruce no está protegido, y que presenta fallos graves, y el tren no puede franquear el cruce mientras no se hayan adoptado las medidas de seguridad suficientes. Además, también el maquinista debe reportar al PCC esta circunstancia. Cuando la señal este apagada se procederá de la misma forma.



Ilustración 52. Señal al tren antes del cruce



Fuente: Empresa ENYSE

Sistema detector de obstáculos en el cruce

Las instalaciones de protección de un PaN garantizan la seguridad del tránsito viario y ferroviario, sin embargo, existen situaciones que escapan al control de estas instalaciones, como:

- Bloqueos de la carretera.
- Fallos mecánicos de vehículos de carretera.
- Imprudencias de los conductores.
- Vehículo atrapado entre barreras (cuando las hay de entrada y salida).

Estas situaciones requieren de un sistema que las detecte, informando al tren mediante el aspecto “PaN sin protección”, que la vía férrea no está despejada. Este sistema se llama “**Detector de Obstáculos**” y avisa la ocupación indebida del gálibo de la vía férrea en la zona del cruce. Su instalación se destina a PaN que:

- Dan acceso a carreteras que producen atascos.
- Tengan acceso a vehículos pesados, lentos y/o con cargas peligrosas.
- Cruces de alta densidad de tráfico vial.
- Cruces de mala visibilidad.
- Cruces de más de 2 vías férreas.
- Cruces de más de 2 pistas viales.

El sistema detector de obstáculos es de naturaleza magnética, y el área a cubrir estará delimitada por un hilo conductor (espira) enterrado a pocos centímetros de profundidad. Este conductor eléctrico está conectado a un equipo electrónico que toma la decisión de considerar si el cruce esta con o sin obstáculos, la información es recibida al variar las frecuencias con el ingreso, paso y salida de los vehículos.

Ilustración 53. Espiras de detección de obstáculos en un cruce



Fuente: Empresa ENYSE

Actualmente EFE está ejecutando la automatización de 114 cruces, tarea que se proyecta terminar durante el primer semestre del año 2020, por lo que su estado ya se denomina “como terminado”.

De estos 114 cruces, 92 de ellos consideran una velocidad máxima de 140 Km/h mientras que los 22 restantes a 100 Km/h como máximo, estos últimos, a cargo de la empresa eléctrica ENYSE.

Se muestra a continuación, un listado con el estado actual de los cruces públicos analizados en el presente informe desde Santiago a Chillán. Este listado presenta una columna que indica la velocidad máxima del tren, la cual está asociada al estándar de la vía, que en este caso es clase “E”.

Tabla 68. Estado de actual de la automatización de los cruces de Santiago a Chillán.

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
139	1	S/N	3,500	no regulado	regularizar a Art 1°						697.822	33.128
140	2	S/N	4,900	no regulado	desnivelar						5.288.723	53.383
141	3	S/N	7,250	no regulado	regularizar a Art 1°						37.487	25.206
142	4	Lo Espejo	9,600	1° y Paso Inferior	Solo de emergencia	TECDRA				Solo Emergencias		
143	5	Las Ovejas	11,622	1°	desnivelar			Desmontada		Cruce Desnivelado	5.610.814	71.676
144	6	Lo Blanco	13,650	1°	desnivelar				Desmontada	Cruce Desnivelado	10.749.990	180.680
145	7	La Selva	18,615	1°	seguir en Art 1°				Desmontada	Cruce Desnivelado	1.338.611	95.650
146	8	S/N	19,408	no regulado	regularizar a Art 1°						58.622	36.568
147	9	Sur Est Nos	20,910	1°	desnivelar				Desmontada	Cruce Desnivelado	14.542.004	93.330

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
148	10	El Recurso	28,000	1°	seguir en Art 1°			TECDRA		Curva sur puente Maipo	591.566	15.056
149	11	L. Guindos	29,800	1°	desnivelar			TECDRA			2.576.654	15.540
150	12	Linderos	35,200	1°	desnivelar			TECDRA		Mala visibilidad	2.227.574	26.040
151	13	Bascuñán	37,600	1°	desnivelar			SEC		En proceso de Desnivelación	2.182.271	53.725
152	14	Paine	40,950	1°	desnivelar				SEC	En proceso de Desnivelación	5.007.998	104.14 8
153	15	R. de Paine	43,880	1°	seguir en Art 1°				TECDRA	Poco uso	1.456.903	10.467
154	16	Las Mulas	47,240	no regulado	regularizar a Art 1°						958.978	9.807
155	17	Aguila Sur	51,650	1°	volver a Art 2°				SEC	Barrera Senelec.Sil.4	2.980	2.499
156	18	Prat	60,375	1°	seguir en Art 1°				TECDRA		1.044.042	11.438
157	19	S/N	62,178	no regulado	regularizar a Art 1°				SEC	Patria Nueva	119.124	2.592
158	20	Codegua	67,165	2°	seguir en Art 2°				TECDRA	Poco uso	523	16.992

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL					OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B	IP		MC	
159	21	Graneros	70,230	1°	desnivelar				Desmontada	Cruce Desnivelado	2.849.615	102.59 2	
160	22	L Coloradas	78,320	1°	seguir en Art 1°				SEC	En proceso de Desnivelación	1.051.963	29.388	
161	23	S/N	82,200	no regulado	desnivelar						3.735.030	80.847	
162	24	Lo Conty	85,475	1°	desnivelar				SEC	Barrera Senelec.Sil.4	2.358.777	34.323	
163	25	S/N	86,200	no regulado	regularizar a Art 2°						854	4	
164	26	Los Lirios	88,825	1°	seguir en Art 1°				TECDRA/SEC		904.546	42.528	
165	27	S/N	90,675	no regulado	regularizar a Art 1°						172.373	1.449	
166	28	S/N	91,670	no regulado	regularizar a Art 1°						123.171	1.512	
167	29	S/N	92,742	no regulado	regularizar a Art 1°				SEC	Las Cabras	70.572	1.386	
168	30	Requinoa	95,920	1°	seguir en Art 1°				TECDRA/SEC		160.881	16.080	

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
169	31	S/N	96,630	no regulado	regularizar a Art 1°						765.426	12.936
170	32	Los Boldos	97,750	1°	seguir en Art 1°			TECDRA/SEC			462.306	23.604
171	33	Lo de Lobos	105,830	2°	ya señalizado			SEC			512.860	11.991
172	34	Egenau	109,430	1°	desnivelar				SEC		2.313.664	54.131
173	35	S/N	110,426	no regulado	desnivelar						2.222.258	77.526
174	36	Chapetón	111,530	2°	ya señalizado			TECDRA			62.268	1.315
175	37	Portezuelo	113,950	2°	ya señalizado			TECDRA			93.766	1.350
176	38	San Luis	115,340	1°	seguir en Art 1°				SEC		977.511	15.162
177	39	Cementerio	118,150	2°	ya señalizado				TECDRA	Alto tráfico Vial	236.559	1.071
178	40	Roma	126,650	2°	ya señalizado			TECDRA			122.733	8.456
179	41	La Paloma	129,230	2°	ya señalizado			TECDRA			157.886	8.170
180	42	Junin	133,610	1°	Eliminar				SEC	Lado cabina N San Fdo		
181	43	MRodríguez	133,687	1°	desnivelar			TECDRA		Lado cabina N San Fdo	4.070.082	77.760
182	44	Tinguiririca	139,350	2°	ya señalizado			TECDRA			266.331	20.245

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
183	45	S/N	141,680	no regulado	regularizar a Art 1°						23.005	348
184	46	S/N	141,981	no regulado	regularizar a Art 1°						17.746	693
185	47	S/N	142,454	no regulado	regularizar a Art 2°						6.539	84
186	48	S/N	143,929	no regulado	regularizar a Art 1°						33.558	591
187	49	La Cuesta	145,151	1°	seguir en Art 1°				TECDRA		504.246	14.924
188	50	Porvenir	146,129	2°	ya señalizado			TECDRA			112.461	3.744
189	51	Pisagua	148,450	1°	seguir en Art 1°				SEC		832.369	37.225
190	52	La Lucana	152,950	2°	ya señalizado			TECDRA		Blanco	84.724	3.936
191	53	S/N	157,725	no regulado	regularizar a Art 1°						13.975	537
192	54	S/N Aurora	166,060	no regulado	regularizar a Art 2°	TECDRA				Monterilla	6.819	750
193	55	Bellavista	170,408	1°	seguir en Art 1°				SEC	Estación Teno	849.329	21.032

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
194	56	S/N	171,765	no regulado	regularizar a Art 2°						6.676	152
195	57	S/N	173,400	no regulado	regularizar a Art 1°						19.191	408
196	58	Sarmiento N	177,720	2°	ya señalizado			TECDRA			166.442	5.430
197	59	Sarmiento S	178,450	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				215.839	7.616
198	60	El Litre	179,550	2°	ya señalizado			TECDRA			615.469	15.696
199	61	El Boldo	181,760	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				163.966	16.449
200	62	Santa Fe	183,950	2°	ya señalizado				SEC		1.035.739	17.325
201	63	C Henríquez	184,895	1°	desnivelar			SEC		Lado cabina N Curico	3.344.980	31.178
202	64	Billouta	185,705	1°	seguir en Art 1°			TECDRA		Lado cabina S Curico	1.627.430	29.148
203	65	Dr. Osorio	186,350	1°	seguir en Art 1°				SEC		1.414.430	34.620
204	66	S/N	191,620	no regulado	regularizar a Art 1°						46.296	198
205	67	Quecherregua	197,120	2°	regularizar a Art 1°	TECDRA					657.682	1.485

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL					ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B	OBSERV	IP	MC
206	68	La Huerta	198,240	1°	volver a Art 2°	TECDRA					947	11
207	69	Molina	199,890	1°	seguir en Art 1°				SEC	Estación Molina	561.323	17.403
208	70	Itahue	207,685	2°	ya señalizado				TECDRA/SEC		186.168	264
209	71	Camarico	217,740	1°	seguir en Art 1°				SEC	Estación Camarico	427.625	4.575
210	72	S/N	231,932	no regulado	regularizar a Art 2°						2.308	150
211	73	S/N	232,542	no regulado	regularizar a Art 2°						205	126
212	74	S/N	235,557	no regulado	regularizar a Art 2°						3.425	422
213	75	S/N	239,070	no regulado	regularizar a Art 2°						1.862	200
214	76	Pelarco	240,870	1°	seguir en Art 1°				TECDRA	Panguilemu	83.084	10.614
215	77	S/N	241,830	no regulado	eliminar							
216	78	S/N	243,350	no regulado	regularizar a Art 2°						6.049	154

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL					ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B	OBSERV	IP	MC
217	79	Los Molinos	251,230	2°	ya señalizado			SEC			162.196	103.370
218	80	S/N	253,565	no regulado	regularizar a Art 2°						7.879	231
219	81	Maule	260,030	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				1.973.526	28.252
220	82	S/N	261,703	no regulado	regularizar a Art 1°						19.897	12
221	83	Cantera M	263,120	2°	ya señalizado				TECDRA/SEC		123.607	180
222	84	S/N	267,810	no regulado	regularizar a Art 2°						7.001	320
223	85	San Javier	269,200	1°	seguir en Art 1°				TECDRA		481.242	7.056
224	86	S/N	269,817	no regulado	regularizar a Art 1°						750.678	7.161
225	87	Pangal	271,700	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				195.099	8.617
226	88	El Durazno	277,360	2°	ya señalizado	TECDRA				Poco uso	149.408	126
227	89	Villa Alegre	279,800	1°	seguir en Art 1°		TECDRA		SEC		1.215.785	14.511
228	90	Putagán N	287,790	2°	ya señalizado	TECDRA					138.242	156
229	91	Putagán Sur	288,300	2°	ya señalizado	TECDRA					41.238	60

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
230	92	Guadantun	291,250	2°	ya señalizado	TECDRA					25.532	88
231	93	S/N	292,400	no regulado	regularizar a Art 1°						41.261	1.608
232	94	S/N	294,400	no regulado	regularizar a Art 1°						20.197	300
233	95	Las Monjas	298,480	1°	seguir en Art 1°				SEC		1.197.078	25.554
234	96	Maipú	300,100	1°	seguir en Art 1°			TECDRA		Frente cabina Linares	1.783.378	37.000
235	97	Las Delicias	300,210	1°	desnivelar				TECDRA	V Letelier	2.105.855	54.704
236	98	S/N	300,500	no regulado	regularizar a Art 1°						1.631.118	19.105
237	99	S/N	303,610	no regulado	regularizar a Art 2°				SEC		9.755	320
238	100	El Huapi	304,670	2°	ya señalizado	TECDRA					18.041	32
239	101	Las Motas	306,590	2°	ya señalizado	TECDRA				Accesos en desnivel	46.308	64
240	102	Miraflores	309,290	1°	seguir en Art 1°		TECDRA		SEC		623.055	7.356
241	103	La Granja	311,910	2°	ya señalizado	TECDRA					178.319	124

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
242	104	Longaví	315,590	1°	seguir en Art 1°				SEC	Estación Longaví	241.691	28.292
243	105	S/N	319,495	no regulado	regularizar a Art 1°						87.620	1.204
244	106	Talquita	325,860	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				232.228	4.620
245	107	Retiro	328,450	1°	seguir en Art 1°		TECDRA		SEC		87.461	6.610
246	108	S/N Retiro S	331,910	no regulado	regularizar a Art 1°				SEC		54.021	980
247	109	Copihue	333,020	1°	seguir en Art 1°		TECDRA				233.913	3.380
248	110	Cementerio	337,270	2°	ya señalizado	TECDRA					276.283	80
249	111	2S Arauna	340,000	2°	ya señalizado	TECDRA				Estación Parral	1.217.379	20.596
250	112	S/N	342,169	no regulado	regularizar a Art 2°				SEC		722	387
251	113	Perquillauq	351,700	2°	ya señalizado	TECDRA					211.651	88
252	114	S/N	353,945	no regulado	regularizar a Art 2°						317	36
253	115	S Gregorio	357,180	2°	ya señalizado	TECDRA				Estación Ñiquen	138.046	176
254	116	S/N	361,200	no regulado	regularizar a Art 2°						1.602	260

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo DS252	Acción a seguir	SEÑALIZACIÓN ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES	
						Pasiva	Band	Barr	B + B		IP	MC
255	117	Est Buli	356,010	2°	ya señalizado	TECDRA					16.825	60
256	118	Tomás Yavar	372,300	1°	seguir en Art 1°				SEC	Cementerio	584.645	21.832
257	119	VMackenna	372,900	1°	desnivelar				SEC	Lado N S Carlos	4.250.299	30.120
258	120	O'Higgins	374,050	1°	seguir en Art 1°		TECDRA			Lado S S Carlos	415.629	13.464
259	121	S/N	375,310	no regulado	regularizar a Art 2°				SEC	Cementerio	2.097	580
260	122	S/N	377,065	no regulado	regularizar a Art 1°				SEC		13.012	56
261	123	San Pedro	379,020	2°	volver a Art 2°	TECDRA					9.906	60
262	124	Ninquihue	380,700	2°	ya señalizado	TECDRA					17.635	92
263	125	Santa Isabel	382,790	2°	ya señalizado	TECDRA					21.067	52
264	126	San Nicolás	387,880	1°	seguir en Art 1°				TECDRA/SEC		422.398	16.080
265	127	Lantaño	396,868	1°	desnivelar				SEC	Lado Norte Estación Chillán	2.911.550	80.820

Fuente: Elaboración Propia en base a información de EFE, SEC y ENYSE

Con esta información se detectan los cruces pendientes por automatizar. Según la nueva reglamentación propuesta en este informe se definen 16 cruces a automatizar:

Tabla 69. Cruces de Santiago a Chillán que requieren automatización

N° EF E	N°	Nombre	PK	Artículo del D252	Acción a seguir según EFE 2.016	<u>SEÑALIZACIÓN</u> <u>ACTUAL</u>				OBSER V	ÍNDICES		Proyecto Pendiente
						Pasiva	Bander	Barrera	Barr + Band		IP	MC	
154	1	Las Mulas	47,240	no regulado	regularizar a Art 1°						958.978	9.807	Barrera
165	2	S/N	90,675	no regulado	regularizar a Art 1°						172.373	1.449	Barrera
166	3	S/N	91,670	no regulado	regularizar a Art 1°						123.171	1.512	Barrera
169	4	S/N	96,630	no regulado	regularizar a Art 1°						765.426	12.936	Barrera

N° EF E	N°	Nombre	PK	Artículo del D252	Acción a seguir según EFE 2.016	<u>SEÑALIZACIÓN</u> <u>ACTUAL</u>				OBSER V	ÍNDICES		Proyecto Pendiente
						Pasiva	Bander	Barrera	Barr + Band		IP	MC	
183	5	S/N	141,680	no regulado	regularizar a Art 1°						23.005	348	Barrera
184	6	S/N	141,981	no regulado	regularizar a Art 1°						17.746	693	Barrera
186	7	S/N	143,929	no regulado	regularizar a Art 1°						33.558	591	Barrera
191	8	S/N	157,725	no regulado	regularizar a Art 1°						13.975	537	Barrera
195	9	S/N	173,400	no regulado	regularizar a Art 1°						19.191	408	Barrera
204	10	S/N	191,620	no regulado	regularizar a Art 1°						46.296	198	Barrera
205	11	Queche rreguas	197,120	Artículo 2°	regularizar a Art 1°						657.682	1.485	Barrera

N° EF E	N°	Nombre	PK	Artículo del D252	Acción a seguir según EFE 2.016	<u>SEÑALIZACIÓN</u> <u>ACTUAL</u>				OBSER V	ÍNDICES		Proyecto Pendiente
						Pasiva	Bander	Barrera	Barr + Band		IP	MC	
220	12	S/N	261,703	no regulado	regularizar a Art 1°						19.897	12	Barrera
224	13	S/N	269,817	no regulado	regularizar a Art 1°						750.678	7.161	Barrera
231	14	S/N	292,400	no regulado	regularizar a Art 1°						41.261	1.608	Barrera
232	15	S/N	294,400	no regulado	regularizar a Art 1°						20.197	300	Barrera
243	16	S/N	319,495	no regulado	regularizar a Art 1°						87.620	1.204	Barrera

Fuente: Elaboración Propia en base a información de EFE, SEC y ENYSE

Los valores unitarios actuales obtenidos de automatización de un cruce público a nivel, se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 70. Valores de Automatización de un Cruce en UF

Nº	NOMBRE CRUCE	KM	BLOCK	RAMAL	Nº de VÍAS	FECHA	COSTO MATERIALES	COSTO SERVICIO	COSTO DIRECTO	GG + Utilidad + Imprevistos (variable)	VALOR NETO	IVA	VALOR BRUTO	EMPRESA	OBSERVACIONES
1	CMPC 1	9,000	Coigue-Nacimiento	Nacimiento	1	1-12-19	2.526,16	1.531	4.057	406	4.463	848	5.311	TRAIN-SERVICES	Sin paso peatonal
2	CMPC 2	9,000	Coigue-Nacimiento	Nacimiento	1	1-12-19	2.778,52	1.531	4.309	431	4.740	901	5.641	TRAIN-SERVICES	Incluye barrera peatonal
3					1	3-01-20	2.205,50	898	3.104	1.397	4.500	855	5.355	ENYSE	Barrera CENELEC SIL-4 (con Señal al Tren)

N°	NOMBRE CRUCE	KM	BLOCK	RAMAL	N° de VÍAS	FECHA	COSTO MATERIALES	COSTO SERVICIO	COSTO DIRECTO	GG + Utilidad + Imprevistos (variable)	VALOR NETO	IVA	VALOR BRUTO	EMPRESA	OBSERVACIONES
4					1	3-01-20	2.590,00	858	3.448	1.552	5.000	950	5.950	ENYSE	Barrera CENELEC SIL-4 (sin Señal al Tren)
						TOTALES	10.100	4.818	14.918	3.785	18.703	3.554	22.256		
						PROMEDIO	2.525	1.204	3.729	946	4.676	888	5.564		

Fuente: Elaboración Propia en base a información entregada por empresas TRAIN-SERVICES y ENYSE

Costo total de la automatización de los 16 cruces pendientes:

- 16 x 5.564 UF = **89.025 UF**

La prioridad de las automatizaciones debe ser según el valor creciente del Índice de Peligrosidad (**IP**):

Tabla 71. Prioridad de las Automatizaciones Pendientes según valor del **IP**

N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo del DS252	Acción a seguir según EFE 2.016	<u>SEÑALIZACIÓN</u>				ÍNDICES		Proyecto Pendiente	
						<u>ACTUAL</u>				OBSERV	IP		MC
						Pasiva	Banderista	Barrera	Barr + Band				
154	1	Las Mulas	47,240	no regulado	regularizar a Art 1°						958.978	9.807	Barrera
169	2	S/N	96,630	no regulado	regularizar a Art 1°						765.426	12.936	Barrera
224	3	S/N	269,817	no regulado	regularizar a Art 1°						750.678	7.161	Barrera
205	4	Quecherreguas	197,120	2°	regularizar a Art 1°						657.682	1.485	Barrera
165	5	S/N	90,675	no regulado	regularizar a Art 1°						172.373	1.449	Barrera
166	6	S/N	91,670	no regulado	regularizar a Art 1°						123.171	1.512	Barrera
243	7	S/N	319,495	no regulado	regularizar a Art 1°						87.620	1.204	Barrera
204	8	S/N	191,620	no regulado	regularizar a Art 1°						46.296	198	Barrera

SEÑALIZACIÓN													
N° EFE	N°	Nombre	PK	Artículo del DS252	Acción a seguir según EFE 2.016	ACTUAL				OBSERV	ÍNDICES		Proyecto Pendiente
						Pasiva	Banderista	Barrera	Barr + Band		IP	MC	
231	9	S/N	292,400	no regulado	regularizar a Art 1°						41.261	1.608	Barrera
186	10	S/N	143,929	no regulado	regularizar a Art 1°						33.558	591	Barrera
183	11	S/N	141,680	no regulado	regularizar a Art 1°						23.005	348	Barrera
232	12	S/N	294,400	no regulado	regularizar a Art 1°						20.197	300	Barrera
220	13	S/N	261,703	no regulado	regularizar a Art 1°						19.897	12	Barrera
195	14	S/N	173,400	no regulado	regularizar a Art 1°						19.191	408	Barrera
184	15	S/N	141,981	no regulado	regularizar a Art 1°						17.746	693	Barrera
191	16	S/N	157,725	no regulado	regularizar a Art 1°						13.975	537	Barrera

Fuente: Elaboración Propia en base a información obtenida de EFE y SEC

A.8.2.3 Valorización total de desnivelación y señalización pendiente

El recuento de la valorización de la desnivelación y la señalización pendiente, según la reglamentación propuesta en este informe, para los cruces del sector en estudio Santiago – Chillán es la siguiente:

- Por desnivelación de 23 cruces 5.163.377 UF
- Por automatización de 16 cruces 89.025 UF
- Costo de ambos ítems **5.252.402 UF**

Se puede apreciar según los valores unitarios de la desnivelación y la señalización de un cruce:

- Paso Inferior 240.213 UF
- Paso Superior 202.104 UF
- Automatización 5.564 UF

Que el costo de la automatización completa de un cruce, es solo un 2,32% de desnivelar un cruce con un paso inferior. Con lo cual se debe activar la automatización de los cruces, lo que permitirá diferir la desnivelación de varios cruces, al menos hasta que el MC no crezca demasiado (sobre 50.000).

A.8.2.4 Carta Gantt de implementación

Lo primero para una buena programación de las desnivelaciones pendientes por ejecutar, es establecer un criterio de priorización para las desnivelaciones en un determinado tramo de vía, en nuestro caso de Santiago a Chillán, por las lógicas disponibilidades presupuestarias requeridas que estas obras mayores significan. Respecto de la definición de prioridades para

comenzar las desnivelaciones, se estima muy importante indicar a continuación la usada en España, por ser un buen criterio usar en Chile:

A.8.2.4.1 Criterio de priorización para las desnivelaciones pendientes

Se define como (P) al índice que define las priorizaciones para la desnivelación de cruces públicos a nivel, por la fórmula:

$$P = I \times MC/C$$

En que:

- I = Índice que integra los 4 grupos de parámetros que identifican un cruce.
- MC = A x T = Volumen de tráfico creciente en el tiempo del cruce en análisis.
- C = Volumen del costo de la desnivelación del cruce.

Grupos de Parámetros que definen un cruce:

Nº	PARÁMETRO	SUB-PARÁMETRO	OBSERVACIONES
I1	DE CIRCULACIÓN	MOMENTO DE CIRCULACIÓN $MC = A \times T$	PARA PASARELA PEATONAL $P \times X$ T
I2		Nº DE VEHÍCULOS CARRETEROS	IMD = ÍNDICE MEDIO DIARIO
I3		Nº DE CIRCULACIONES FERROVIARIAS	IMD
I4	DE EXPLOTACIÓN	VELOCIDAD MÁX. DE TREN QUE CIRCULARA	ESTIMACIÓN PARA 10 AÑOS
I5		TIPO DE RED FERROVIARIA	PUEDE SER LA CLASE DE VÍA, LA VELOCIDAD MÁX. DE TREN O EL VALOR DE T.
I6		TIPO DE CARRETERA SEGÚN VIALIDAD	CONSIDERAR: EL VALOR DE A, EL TIPO DE TRÁFICO Y SI ES ZONA URBANA O RURAL.
I7	DE COSTOS	TIEMPO MEDIO DE ESPERA DEL CONDUCTOR ANTES DE FRANQUEAR EL CRUCE.	EN CHILE EL VALOR MÍN. DE ANUNCIO ES DE 25 SEGUNDOS.
I8		COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTO X AÑO (SEÑALES Y CARPETA)
I9		RATIO DE ACCIDENTALIDAD MEDIDO EN % EN UN LAPSO DE 7 AÑOS Y PARA UN TRAMO DEFINIDO.	Nº DE ACCIDENTES EN EL CRUCE / Nº DE ACCIDENTES GENERALES FERROVIARIOS EN EL TRAMO DEFINIDO.
I10	DE VISIBILIDAD	% DE LA VISIBILIDAD DISPONIBLE EN (M) RESPECTO DE 500 M.	DR = ES LA MENOR DE LAS 4 VISIBILIDADES DEL ROMBO.
I11		VISIBILIDAD TÉCNICA (DT) EN M. SEGÚN (VM) LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL TREN Y (N) Nº DE VÍAS FÉRREAS.	$Dt = 1,1 Vm \times (6,25 + n)^{1/2}$

I12		SINGULARIDADES NEGATIVAS DEL CRUCE	FUNDAMENTALMENTE ES LA NIEBLA, SON 20 SINGULARIDADES NEGATIVAS DE LA B1 A LA B20 DEFINIDAS EN LA FICHA DE INSPECCIÓN DE CRUCES (VER ANEXO 4.3).
-----	--	------------------------------------	---

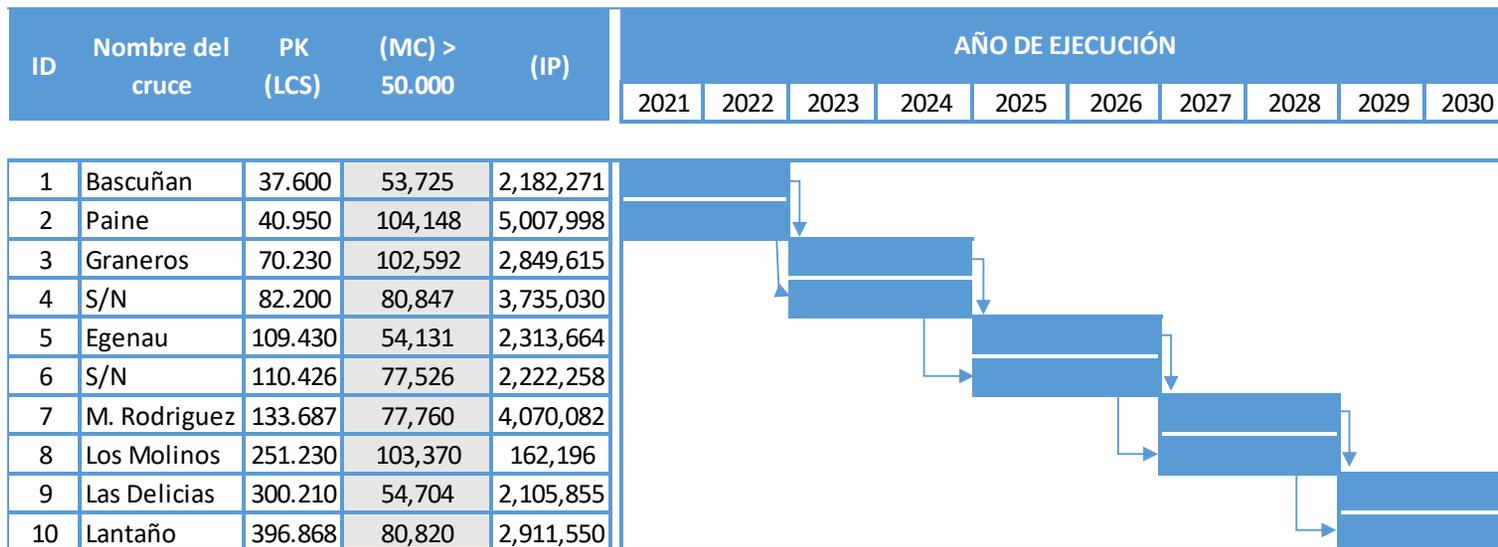
Este conjunto de 12 parámetros, debidamente ponderados, dan la puntuación única que, dentro de la programación para el tramo de vía en análisis, le correspondería a cada cruce, en su programación para su desnivelación. Este índice no es imperativo es solo un elemento de juicio.

A.8.2.4.2 *Posible programación para efe en el tramo Santiago – Chillán*

- En la tabla 62, se indican 31 cruces que deben desnivelarse entre Santiago y Chillan, por tener su IP con valor sobre 1.000.000. De ellos, para el proyecto NosExpress ya se desnivelaron 5 cruces (Bombero Osandon, Las Ovejas, Lo Blanco, La Selva y Nos). Por lo tanto, se requiere programar la desnivelación de solo 26 cruces.
- En la tabla 63, se indican 15 cruces que deben desnivelarse entre Santiago y Chillan, por tener su MC con valor sobre 50.000. De ellos, para el proyecto NosExpress ya se desnivelaron 5 cruces (Bombero Osandon, Las Ovejas, Lo Blanco, La Selva y Nos). Por lo tanto, se requiere programar la desnivelación de solo 10 cruces.
- El Consultor sugiere que de los 26 cruces a desnivelar por tener su IP fuera de rango, es posible bajar el valor de este índice, con 2 acciones:

- Mejorando la visibilidad disponible o real en cada cruce, removiendo los obstáculos que afectan la visibilidad de cada cruce (removiendo muros, garitas, postes, zona de estacionamientos, usando cierros transparentes, tala de árboles, corrigiendo desniveles de los accesos, roce y despaste, etc.)
- Mejorando la automatización de los cruces, usando barreras automáticas modernas dotadas con los 3 implementos mencionados en los puntos A.8.2.2.3. y A.8.2.2.4 del informe final.
- El Consultor sugiere que de los 10 cruces a desnivelar por tener su (MC) fuera de rango, no es posible bajar el valor de este índice, ya que no se pueden modificar los volúmenes de tráfico vial (A) y tráfico ferroviario (T), todo lo contrario, sus tendencias son siempre al alza, particularmente en sectores urbanos y con trenes tipo metro. Por ello, se indica a continuación una carta Gantt tentativa que indica una proposición de plazos de ejecución, de la desnivelación de estos 10 cruces.

Ilustración 54. Carta Gantt



Fuente: Elaboración propia

Supuestos de la Programación recién indicada:

- Ejecutar máximo 2 desnivelaciones al mismo tiempo en el tramo, para no afectar los itinerarios de los trenes de pasajeros entre Santiago y Chillán, con las prevenciones de velocidad que motivaran las obras.
- Demora en cada proyecto de desnivelación, 2 años calendario (522 días hábiles).
- Demora total del proyecto, 10 años calendario (2.609 días hábiles).
- Según los datos proporcionados por EFE, hay un error en el valor de los índices IP y MC del cruce Los Molinos, para lo cual se supuso válido el valor del MC.

El calendario de inversiones asociado a la programación recién mostrada sería el siguiente:

Supuestos de las Inversiones Calendarizadas recién indicadas:

- Según punto A.8.2.1.2. del informe final, los valores unitarios de desnivelación de cruces son los siguientes:
 - Desnivelaciones inferiores en doble vía incluidas expropiaciones 265.812 UF.
 - Desnivelaciones inferiores en simple vía incluidas expropiaciones 205.759 UF.
 - Desnivelaciones superiores en doble vía incluidas expropiaciones 229.293 UF.
 - Desnivelaciones superiores en simple vía incluidas expropiaciones 178.767 UF.

Se ha supuesto que las 10 desnivelaciones se harán como pasos inferiores, en doble y simple según corresponda.

A.8.2.5 Responsabilidades

- La responsabilidad general del ente a cargo de los cruces públicos a nivel, en su parte normativa y técnica siempre estará a cargo de la empresa ferroviaria propietaria de la vía férrea.
- En su parte económica el ente responsable de los cruces, dependerá de la fecha de instalación del cruce. Las responsabilidades abarcan todos los ámbitos del cruce (instalación, operación, mantenimiento, seguridad, señalización, carpeta de rodado, accesos, drenaje, eventual desnivelación, etc.):
 - Para los cruces instalados con anterioridad de la Ley 19.170 de 1992 son de responsabilidad total de las empresas ferroviarias.
 - Para los cruces instalados con posterioridad de la Ley 19.170 de 1992 son de responsabilidad total de las entidades externas al ferrocarril patrocinadoras de los cruces, siendo estas entidades controladas técnica y normativamente por el propietario del ferrocarril.
- En cuanto a la Señalética Pasiva Vertical, la responsabilidad queda definida en la Ley de Tránsito (número 18.290 de 1984) de la siguiente manera:
 - Señal PARE: de cargo del propietario del ferrocarril.
 - Señal Internacional o Cruz de San Andrés: de cargo del propietario de la carretera.
 - Señal Sin Guarda Cruce: de cargo del propietario del ferrocarril.
 - Señal Cruce-Pito: de cargo del propietario del ferrocarril.
 - Cualquier otra señalética informativa o restrictiva: de cargo del propietario de la carretera.

- En cuanto a la Señalización Pasiva Horizontal, la responsabilidad queda siempre a cargo del propietario de la carretera (pintura y machones separadores de pistas).
- En cuanto a la Señalización Activa Vertical, (banderistas automáticos y barreras automáticas), la responsabilidad técnica queda siempre a cargo de la empresa ferroviaria, y los costos de cargo de quien corresponda (ferrocarril o carretera).

A.8.2.6 Conclusiones

Con respecto a las automatizaciones, es necesario tener presente lo siguiente:

- ✓ El costo automatizar un cruce corresponde al 2,32% del costo de una desnivelación inferior.
- ✓ En una automatización intrínsecamente segura (fail safe) no sería indispensable la presencia de un disco PARE, disminuyendo los tiempos de viaje por detenciones y por ende posibles congestiones viales generados en el cruce.

Con respecto a las desnivelaciones:

- ✓ Se debe considerar la desnivelación de cruces solo para aquellos trenes de velocidad máxima mayores a > 100 Km/h.

Con respecto a la distancia de visibilidad:

- ✓ Los cruces de EFE analizados en el tramo en estudio Santiago - Chillán poseen distancias de visibilidad inferiores a 300 m, se recomienda mejorar estas distancias.
- ✓ Para $V = 160$ Km/h (vía Clase “E”) se requiere una visibilidad $d_r = 505,52$ m. para doble vía y de 473,89 m. para simple vía.
- ✓ Si se mejora la visibilidad real d_r de cada cruce, el valor de MC se mantiene constante mientras el IP disminuye, siendo posible evitar desnivelaciones de aquellos cruces que se justifiquen con este nuevo IP rebajado.
- ✓ Con respecto al coeficiente K utilizado para determinar la distancia de visibilidad real de los cruces analizados, este depende directamente de la geometría del cruce y equivale a la relación directa entre $IP / MC = K$, es decir, permite homologar ambos métodos de cálculo (por IP o por MC o ambos a la vez).
- ✓ Para el tramo estudiado en este informe, la relación promedio entre estos indicadores corresponde a $932.659 / 18.593 = 50$, lo que se evalúa como un valor alto

considerando que debiese ser al menos 20 en promedio, como en España (en punto 2.7.2 de memoria de seguridad ferroviaria de la consultora LIBRA de julio 2008).

- ✓ Al aumentar la distancia de visibilidad real **dr** a un valor cercano de la distancia de visibilidad requerida **dr**, el cruce se calificaría con visibilidad suficiente y el **IP** disminuye. Para aquellos casos que el nuevo **IP** sea un valor inferior a 1.000.000 se podría evitar la desnivelación de estos cruces.
- ✓ Para el tramo analizado, la tabla siguiente muestra que de los 23 cruces que requieren una desnivelación por **IP** sobre 1.000.000, solo 7 tienen **MC** > 50.000 que obliga a desnivelar de todas maneras, pues el **MC** no se puede rebajar. Es decir, si se mejora la distancia de visibilidad de los 16 cruces restantes (23 – 7) no sería necesario desnivelarlos.

Tabla 72. Son 23 Cruces con IP > 1.000.000 (7 Cruces con MC > 50.000 + 16 Cruces con MC < 50.000 = 23) Cruces a desnivelar por IP

Nº EFE	Nº	Nombre	PK	Bloc	Nº Vías	Art	Clase Vía	V Nº Veh	T Nº Trenes	(MC) V•T	vel	IP	Dt [m]	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE	Observ
217	1	Los Molinos	251,230	LCS	1	2º	E	10.337	10	103.370	160	162.196	474	510	suficiente	ya señalado	MC > 50.000
161	2	S/N (Sta Julia)	82,200	LCS	2	no regulado	E	8.983	9	80.847	160	3.735.030	474	17	insuficiente	desnivelar	Paso Superior
265	3	Lantaño	396,868	LCS	1	1º	E	13.470	6	80.820	160	2.911.550	474	22	insuficiente	desnivelar	
181	4	M. Rodríguez	133,687	LCS	2	1º	E	12.960	6	77.760	160	4.070.082	474	15	insuficiente	desnivelar	
173	5	S/N	110,426	LCS	2	no regulado	E	12.921	6	77.526	160	2.222.258	474	28	insuficiente	desnivelar	
235	6	Las Delicias	300,210	LCS	1	1º	E	6.838	8	54.704	160	2.105.855	474	21	insuficiente	desnivelar	Linares
172	7	Egenau	109,430	LCS	2	1º	E	7.733	7	54.131	160	2.313.664	474	19	insuficiente	desnivelar	
234	8	Maipú	300,100	LCS	1	1º	E	7.400	5	37.000	160	1.783.378	474	17	insuficiente	seguir en Art 1º	Linares
203	9	Dr. Osorio	186,350	LCS	1	1º	E	11.540	3	34.620	160	1.414.430	474	20	insuficiente	seguir en Art 1º	
162	10	Lo Conty	85,475	LCS	2	1º	E	2.019	17	34.323	160	2.358.777	474	12	insuficiente	desnivelar	
201	11	C. Henríquez	184,895	LCS	1	1º	E	15.589	2	31.178	160	3.344.980	474	7	insuficiente	desnivelar	Curico Norte
257	12	Vic Mackenna	372,900	LCS	1	1º	E	7.530	4	30.120	160	4.250.299	474	6	insuficiente	desnivelar	
202	13	Billouta	185,705	LCS	1	1º	E	9.716	3	29.148	160	1.627.430	474	14	insuficiente	seguir en Art 1º	Curico Sur
219	14	Maule	260,030	LCS	1	1º	E	4.036	7	28.252	160	1.973.526	474	11	insuficiente	seguir en Art 1º	
150	15	Linderos	35,200	LCS	2	1º	E	5.208	5	26.040	160	2.227.574	474	9	insuficiente	desnivelar	Paso Inferior

N° EFE	N°	Nombre	PK	Bloc	N° Vías	Art	Clase Vía	V N° Veh	T N° Trenes	(MC) V•T	vel	IP	Dt [m]	Dr [m]	Visibilidad	Acción según EFE	Observ
233	16	Las Monjas	298,480	LCS	1	1°	E	4.259	6	25.554	160	1.197.078	474	17	insuficiente	seguir en Art 1°	
249	17	Estación Parral	340,000	LCS	1	2°	E	5.149	4	20.596	160	1.217.379	474	14	insuficiente	ya señalizado	
236	18	S/N	300,500	LCS	1	no regulado	E	3.821	5	19.105	160	1.631.118	474	9	insuficiente	regularizar a Art 1°	Linares
200	19	Santa Fe	183,950	LCS	1	2°	E	5.775	3	17.325	160	1.035.739	474	13	insuficiente	ya señalizado	
149	20	Los Guindos	29,800	LCS	2	1°	E	2.220	7	15.540	160	2.576.654	474	5	insuficiente	desnivelar	Paso Superior
227	21	Villa Alegre	279,800	LCS	1	1°	E	2.073	7	14.511	160	1.215.785	474	10	insuficiente	seguir en Art 1°	
156	22	Prat	60,375	LCS	2	1°	E	1.634	7	11.438	160	1.044.042	474	9	insuficiente	seguir en Art 1°	Paso Inferior
153	23	Rinconada	43,880	LCS	2	1°	E	1.163	9	10.467	160	1.456.903	474	6	insuficiente	seguir en Art 1°	Paso Superior
								V	T	MC		IP	D t	D r			
						PROM		7.060	6	39.755		2.081.553	474	35			

Fuente: Elaboración Propia en base a información obtenida de EFE y SEC (ordenamiento por valor de **IP**)

Recomendación para vías férreas de EFE de las clases B y C

La norma de seguridad de EFE establece:

Vías que reúnen todos los requisitos establecidos en esta Norma de Seguridad	Velocidad máxima admisible para trenes de carga [km/H]	Velocidad máxima admisible para trenes de pasajeros [km/H]
Clase A	20	30
Clase B	40	50
Clase C	65	100
Clase D	100	130
Clase E	130	160
Clase F	160	180

En todos los casos, se debe mantener la posibilidad de instalar el tradicional **banderista automático simple sin barreras**, por su menor costo, ya que es de total aplicación en EFE en los tramos de su red, en que la velocidad es menor a 65 Km/h con servicios solo de trenes da carga (para vías clase B y C), esto ocurre en más del 50% de la red actual en servicio de EFE. Esta posibilidad se mantiene en la



proposición de este informe para las categorías de señalización de cruces tipo 1, 2A, 2B y 3A.

Anexo Digital:

http://www.logistica.mtt.cl/media/documentos/Anexos_Estudio_Cruces2019.zip