

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL TRANSPORTE
FÉRREO DE LA RED PACÍFICA COLOMBIANA

AMIR JOHAN DUARTE CUADROS

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
MAYO 2020

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL TRANSPORTE
FÉRREO DE LA RED PACÍFICA COLOMBIANA

AMIR JOHAN DUARTE CUADROS

Trabajo de Grado Para Optar Al Título De Magíster En Ingeniería, Énfasis
Ingeniería Industrial

Director:
MARIO JOSÉ BASALLO TRIANA
MSC. Ingeniería, énfasis Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
MAYO 2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Mayo 11 de 2020

A todos aquellos que permitieron el alcance de este logro. Su apoyo, enseñanza y dedicación fueron fundamentales.

“Mi máximo respeto y mi máxima admiración a todos los ingenieros, especialmente al mayor de todos ellos, que es Dios” (T. A. Edison).

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Los profesores de la Maestría en Ingeniería, énfasis Ingeniería Industrial, especialmente a los PhD. Leonardo Rivera Cadavid y Pablo Cesar Manyoma Velásquez; al director del trabajo de grado Msc. Mario José Basallo Triana por sus continuas y bien libradas orientaciones.

Al G.I.T. Proyectos Férreos y Portuarios de la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, Dina Rafaela Sierra Rochels Gerente de Proyecto – 9, Carlos Augusto Arboleda Arjona Experto G3 - Grado 7, y Flabio Andrés Aguirre Otalora Gestor - T1 G12 por la gentil autorización y suministro de información sobre la concesión férrea pacífico.

La empresa interventora del contrato de concesión férrea Consorcio Trenes del Pacifico – CTP, Ing. Ramiro Rivera Roldan Coordinador General e Ing. de operaciones Ricardo Mauricio Hernández Gómez por su acompañamiento y orientación en el análisis y depuración de información caracterizadora de la red férrea.

Y demás personal que compartió sus conocimientos y experiencia de este hermoso y poco distinguido sector transporte férreo en Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TABLA DE CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE ILUSTRACIONES	10
RESUMEN	11
INTRODUCCION	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo General:	17
2.2. Objetivos Específicos:	17
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Capacidad Ferroviaria	18
3.2. Factores y parámetros determinantes de capacidad:	19
3.3. Métodos de medición de capacidad férrea	20
3.4. Casos prácticos	24
3.5. Selección software	27
3.5.1. AMPL	28
3.5.2. Tranus	30
3.5.3. Decisión	32
4. CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE TRANSPORTE FÉRREO RED PACIFICO COLOMBIANO	33
4.1. Obtención de Datos	33
4.2. Red férrea pacífico colombiano	33
4.3. Factor infraestructura	35
4.3.1. Estado de la vía	35
4.3.2. Tipo de trocha	36
4.3.3. Material rodante	37

4.3.4.	Mantenimiento de vehículos.....	40
4.3.5.	Sistemas de señalización y control de tráfico.....	40
4.3.6.	Número y largo de vías	41
4.3.7.	Velocidad de líneas	42
4.3.8.	Terminales Intermodales de carga	44
4.4.	Factor tráfico.....	46
4.4.1.	Composición del tren.....	46
4.4.2.	Programación de servicio.....	47
4.4.3.	Prioridades	47
4.5.	Factor operacional	47
4.5.1.	Consumo combustible.....	47
4.5.2.	Interrupciones o paros de operación	48
4.5.3.	Paros comerciales.....	48
4.5.4.	Tiempo estándar de servicio	48
4.5.5.	Tiempo y distancia de separación de trenes en movilización.....	49
4.5.6.	Tiempos de holgura.....	49
4.5.7.	Calidad del servicio	49
5.	METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN	50
6.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	54
6.1.	Origen y Cálculo de Parámetros.....	54
6.1.1.	Parámetros únicos	54
6.1.2.	Parámetros qr y $nrdisp$	54
6.1.3.	Parámetros Matrices $n \times n$	55
6.2.	Resultados.....	56
6.2.1.	Óptimo del Modelo Intermodal Propuesto	56
6.2.2.	Óptimo Adaptado a las Terminales Actuales	57
6.2.3.	Óptimo Considerando Solo Modo Férreo.....	58
6.3.	Análisis de Sensibilidad	58
7.	CONCLUSIONES.....	61
8.	RECOMENDACIONES	62
9.	BIBLIOGRAFÍA	63

10. ANEXO	69
10.1. CAPITULO 1 – DEFINICIONES – REGLAMENTO MOVILIZACIÓN DE TRENES. FERROVÍAS	69
10.2. MATRIZ ORIGEN DESTINO VALLE DEL CAUCA – PRINCIPALES NODOS (En miles de Toneladas).....	77
10.3. MATRIZ DISTANCIAS – MODO VIAL(En Kilómetros)	79
10.4. MATRIZ COSTO (En Toneladas-Kilómetros).....	81
10.5. MATRIZ DISTANCIAS – MODO FÉRREO (En Kilómetros)	83
10.6. MATRIZ FACTOR CORRECCIÓN DISTANCIAS MODO VIAL Y FÉRREO (En Kilómetros).....	85
10.7. MATRIZ VELOCIDADES – MODO FÉRREO (En Kilómetros por hora)	87
10.8. MATRIZ FRECUENCIA DIARIA – MODO FÉRREO (Número de veces)	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Software optimización y funcionalidad	22
Tabla 2 – Inventario cruces a nivel Buenaventura-Buga.....	36
Tabla 3 – Material Rodante Infraestructura.....	37
Tabla 4 – Material Rodante de Operaciones	37
Tabla 5 – Capacidad de arrastre por tipo locomotora tren sencillo promedio	40
Tabla 6 – Tipos de Vía	41
Tabla 7 – Capacidad según tipos de vía en No. de vehículos	42
Tabla 8 – Velocidad estipulada por cantón en contrato de concesión	42
Tabla 9 – Velocidad promedio estipulada Empresa Eurolatina.....	43
Tabla 10 – Tabla de velocidades máximas concesionario 2015.....	44
Tabla 11 – Capacidad Operativa en No. vehículos férreos por estación de cargue	44
Tabla 12 – Toneladas netas mensuales promedio 2015 según Origen Destino Terminal de Carga	46
Tabla 13 – Tiempos de recorrido de los servicios entre estaciones.....	48
Tabla 14 Tiempos de holgura o demoras esperadas por servicio.....	49
Tabla 15 – Cantidad y Capacidad Neta de Trenes Tipo	55
Tabla 16 - Optimo Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas	56
Tabla 17 - Tren tipo utilizado por ruta	57
Tabla 18 – Optimo condiciones actuales: Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas	57
Tabla 19 – Optimo condiciones actuales tren tipo utilizado por ruta	58
Tabla 20 – Optimo actual Solo Modo Férreo : Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas	58
Tabla 21- Optimo actual Solo Modo férreo: Tren tipo utilizado por ruta.....	58
Tabla 22 – Análisis sensibilidad parámetro p	59
Tabla 23 - Análisis sensibilidad parámetro α	59
Tabla 24- Análisis sensibilidad parámetro qr	60
Tabla 25 – Análisis sensibilidad parámetro $nrdisp$	60

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Participación Porcentual - Carga por modo de transporte en Colombia 2002-2003.....	13
Ilustración 2 – Plan de inversión del PMTI.....	14
Ilustración 3 Participación porcentual modalidad en movilización de carga interna por país.....	15
Ilustración 4 - América Latina y El Caribe. Tonelaje Transportado por los operadores ferroviarios	15
Ilustración 5 – Calculo CUI	21
Ilustración 6 – Determinación de capacidad de consumo.....	21
Ilustración 7 – Concepto Software Opentrack.....	23
Ilustración 8 - Modelo general de capacidad de transporte del sistema ferroviario - perspectiva de infraestructura.....	25
Ilustración 9 – Modelo general de capacidad de transporte del sistema ferroviario – perspectiva operacional del tren	25
Ilustración 10 -Interfaz AMPL en visual basic Windows.....	29
Ilustración 11 – Estructura del Modelo de localización de actividades y del Modelo de Transporte.....	30
Ilustración 12 - Componentes operativos del sistema Tranus	31
Ilustración 13 - Interfaz gráfica del sistema Tranus.....	31
Ilustración 14 – Red férrea del Pacífico	34
Ilustración 15 – Km 342 Prominex – La Tebaida	35
Ilustración 16 – Comparativo trocha yárdica y estándar	36
Ilustración 17 - Carromotor	38
Ilustración 18 – Locomotora.....	38
Ilustración 19 - Plataforma	39
Ilustración 20 - Tolva.....	39
Ilustración 21 – Otros Equipos de Operaciones e Infraestructura.....	40
Ilustración 22 – Tipo Señalización en vías.....	41
Ilustración 23 – Ejemplo Tipo de Carga movilizad a en estaciones férreas	45

RESUMEN

La determinación de la capacidad de carga del transporte férreo de la red pacífica colombiana fue abordada a través de la revisión bibliográfica enfocada a los métodos de determinación de capacidad, a saber, analítico, de optimización y de simulación, optando por utilizar el método de optimización. Posterior caracterización de la red con sus propias características vigentes, lo cual permitió conocer las variables y parámetros a utilizar en el modelo planteado. El modelo toma como base el problema de localización de *hubs*, o centro de radios, y se adapta a las condiciones férreas dadas, evaluando su capacidad y pertinencia con el mínimo costo de transporte intermodal. AMPL es el software plataforma utilizado para correr y dar solución al modelo planteado. La actual situación no es llamativa comparada con el uso del transporte por carretera por la poca capacidad y largo de los trenes tipo, esto debido por el trazado y condiciones altimétricas y la capacidad de las terminales y secciones de cruce, sin embargo, con un adecuado plan de transporte férreo se explotarán sus capacidades y ventajas.

Palabras claves: Capacidad, Optimización, AMPL, Concesión Red Férrea Pacífico, Terminal Intermodal, Hub and Spoke, Composición Del Tren, Matriz Origen Destino, Ficha UIC 405

INTRODUCCION

En los últimos años, las naciones han entendido que con mayor integración de los diferentes medios de transporte, se puede ser más eficientes en tiempos y costos de operación, en impacto ambiental y uso de la infraestructura; por tal motivo han realizado estudios de análisis y creado políticas nacionales para incentivar y evaluar el uso del transporte multimodal.

El sistema férreo es uno de estos medios de transporte, con un gran potencial y cualidades que lo diferencia de los demás; en Colombia actualmente existen tres secciones férreas activas: La del Atlántico, la Central y la del Pacífico; de estas tres solo opera constantemente la del Atlántico con movimiento de carga en generalidad de carbón. La red pacífica durante los últimos 17 años ha funcionado inconstantemente debido a falta de liquidez financiera, sin embargo, estos años han generado conocimientos y experiencia que le permiten tener un gran potencial en el movimiento de carga desde el puerto de Buenaventura al puerto seco de La Tebaida en el departamento del Quindío y proyectarse a una rehabilitación de la vía férrea Zarzal - La Felisa Caldas.

Con las condiciones actuales de la red pacífica se desconocía cuál sería la capacidad férrea óptima de los 343 km operables desde Buenaventura hasta La Tebaida, pues solo se ha dado uso desde Buenaventura hasta el municipio de Yumbo, operando 155 km (45.18%); esto motivó el presente trabajo para determinar la capacidad de carga del transporte férreo de la red pacífica colombiana.

Durante el documento se detalla sobre el porqué del proyecto y la necesidad en Colombia de impulsar este medio de transporte, tomando como marco teórico los conceptos base de capacidad ferroviaria y su medición, en estos destaca el trabajo de Abril, et al (2008), Rotoli, et al (2016) y los métodos y estándares de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC); sus aplicaciones en redes férreas europeas y el caso en Colombia para la sección férrea de Facatativá – Bogotá año 2016.

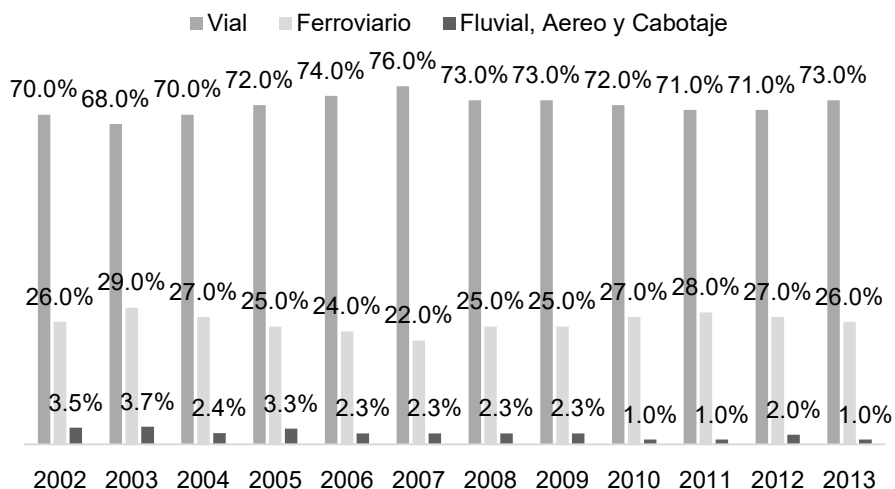
El conocimiento práctico de las condiciones y características propias de la red férrea y el comportamiento de su entorno es de vital importancia para la toma de decisiones operacionales, por ende, se realizó una caracterización de la red férrea pacífica clasificado por cada uno de los factores determinantes de capacidad. La información fue obtenida a través de la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI y el Consorcio Trenes Del Pacifico – CTP.

Por último, se definió el modelo a utilizar enfocado a la optimización y basado en el problema de localización de *hubs*, adaptado al sistema; el software AMPL permitió modelarlo y analizar las diferentes variables evaluadas como capacidad tipo tren, No. trenes, costos, No. de viajes por sección de vía y nuevas terminales intermodales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia goza de una destacada ubicación estratégica, que combinada con acuerdos comerciales internacionales de los últimos años y su crecimiento económico, ofrece una perspectiva próspera para el país; sin embargo, sus sistemas de transporte, base para cumplimiento de entregas de importación y exportación de productos, solo está basado, en su mayoría, en transporte vial o carretera (Para el 2013 representaba el 73% (Kohon, Jorge; Champin, Jorge; Rodriguez, Manuel; Cortés, René; 2016)); este medio presenta además un flagelo de paros o protestas, que no le permite satisfacer las necesidades continuas de transporte. En la última medición del índice de desempeño logístico (2018) realizado por el Banco Mundial a 167 países, Colombia se ubica en el ranking No. 58 por debajo de Chile, Panamá, México y Brasil, los factores que afectan la medición son la calidad de la infraestructura de transporte y comercio, y la eficiencia en las operaciones logísticas, lo cual origina un costo logístico por encima del promedio de América Latina e incomparable con los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Ilustración 1 Participación Porcentual - Carga por modo de transporte en Colombia 2002-2003



Fuente: Adaptado de Kohon, et al. Desafíos del Transporte Ferroviario de Carga en Colombia, 2016

El multimodalismo es una alternativa para mejorar la competitividad del transporte interno en Colombia, es decir, combinar diferentes medios de transporte como el fluvial, el férreo, el aéreo y vial, esto se ha reflejado en el Plan Maestro de Transporte Intermodal – PMTI 2015-2035 (Ver Ilustración 2) y recomendado por la Comisión Económica para América Latina – CEPAL en integrar los diferentes modos de transporte y no considerarlos de forma aislada, pues son grandes las brechas en

América Latina (Wilmsmeier & Spengler, 2015) (Ver Ilustración 3 y 4); esto permitirá disminuir la dependencia de un medio de transporte y el aumento de la eficiencia de la infraestructura existente. Para ejemplificar el uso y atraso del multimodalismo en Colombia, según estadísticas del año 2010 la carga movida por este medio representaba el 1.5%, mientras que en Europa alcanzaba el 60% (ANIF y CCI, 2014).

Ilustración 2 – Plan de inversión del PMTI



Fuente: MINTRANSPORTE. Plan Maestro de Transporte Intermodal. Colombia: Ministerio, 2015.

El modo férreo es una gran alternativa (después del transporte fluvial o marítimo y por ductos) ya que permite transportar grandes tonelajes de carga por viaje, reduciendo costos e impactos ambientales; empero, dichas ventajas deben estar soportadas con un buen nivel de servicio que ofrezca regularidad, confiabilidad y continuidad. En Colombia el modo férreo ha sido impulsado por la concesión del Atlántico a cargo de Ferrocarriles del Norte de Colombia (FENOCO) y la concesión del Pacífico a cargo de Ferrocarril del Pacífico (FDP) (Kohon, Jorge; Champin, Jorge; Rodriguez, Manuel; Cortés, René;, 2016).

FENOCO ha logrado una especialización en el transporte de carbón en el departamento del Cesar movilizand el 99% de carga por modo férreo en el país,

pero dejó desarticulada y a cargo de la nación el resto de la red. La concesión del pacífico no ha logrado estabilidad, posiblemente por sobreestimar la dimensión de la demanda y en un uso ineficiente de sus recursos

Vasco (2008) citado por Márquez (2017), considera que el fracaso de los ferrocarriles en Colombia puede ser por la ausencia de institucionalidad del Estado, errores de los contratos de concesión y en las condiciones geográficas del territorio nacional.

Ilustración 3 Participación porcentual modalidad en movilización de carga interna por país

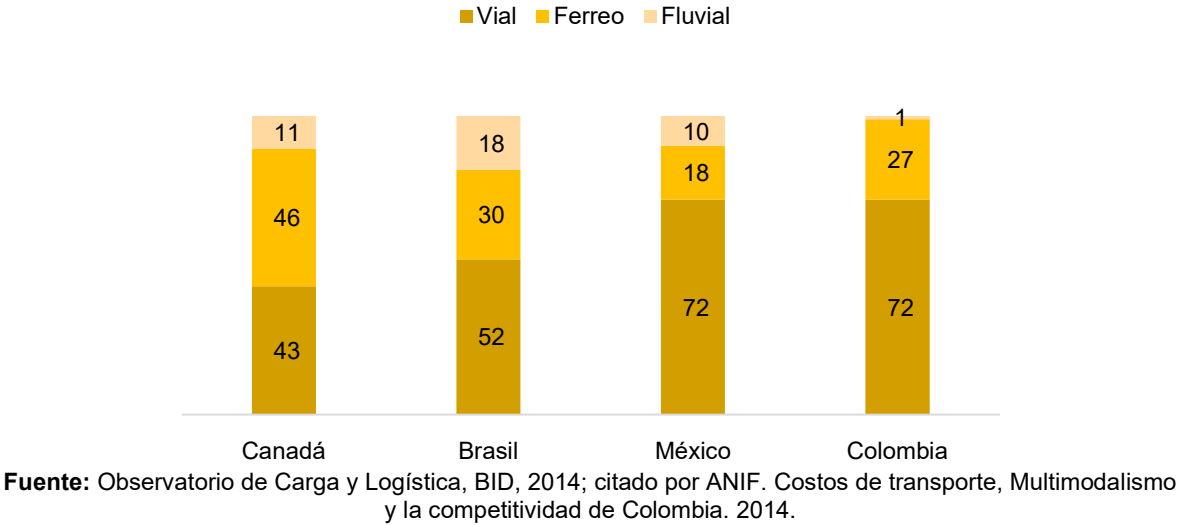
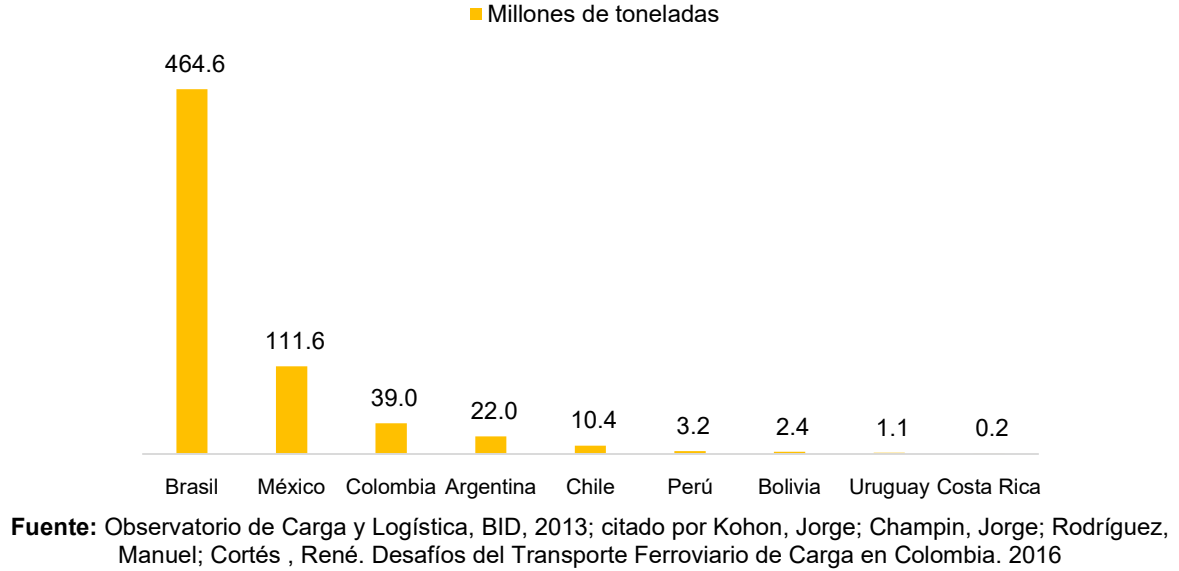


Ilustración 4 - América Latina y El Caribe. Tonelaje Transportado por los operadores ferroviarios



No obstante, la concesión pacífico ha establecido un punto de equilibrio para el movimiento de carga el cual ronda las 40.000 toneladas de carga mensuales. Para garantizar este movimiento con los recursos actuales, es necesario realizar un análisis técnico para establecer cuál es su capacidad óptima del transporte de carga ferroviario. Debido a la carencia de formación ferroviaria a nivel técnica, tecnológica y profesional en América Latina, a excepción de Brasil y Argentina (Kohon, Jorge; Champin, Jorge; Rodriguez, Manuel; Cortés , René;, 2016), los análisis anteriormente realizados pueden carecer de esta tecnicidad al estar basados en empirismo, lo que puede conllevar a subestimar o sobreestimar las condiciones actuales y generar congestión, tiempos de espera, pérdida de demanda y búsqueda de servicios sustitutos, esto como consecuencia de un desconocimiento de la capacidad ferroviaria y de sus equipos, demostrado por Invensys Rail Group - IRG (2007), SKM Colin Buchanan (2012), Frost & Watson(2012) y Bachok, et al (2012).

Al proponer un modelo para determinar la capacidad de carga del transporte férreo de la red pacífica colombiana, que involucre los recursos actuales como líneas férreas, estaciones de paso, estaciones principales, patios de almacenamiento, locomotoras, plataformas, planes de mantenimiento, restricciones de vía, topografía, personal, tipo de carga, etc.; permitirá validar objetivamente, si los análisis actuales son fiables para la operación, como también arrojar el insumo para futuras decisiones en la habilitación de nuevos puntos de la vía férrea pacífica, que contribuya a la competitiva logística del país.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

Diseñar un modelo para determinar la capacidad de transporte del actual sistema férreo de la red pacífica colombiana de acuerdo con las limitantes del servicio.

2.2. Objetivos Específicos:

- a) Caracterizar el sistema de transporte férreo de la red pacífica, para la obtención de las variables y parámetros de entrada del modelo a proponer.
- b) Construir y probar el modelo de capacidad de carga, para la obtención y análisis de resultados.
- c) Proponer alternativas de mejora y probarlas en el modelo, para la maximización de los beneficios y uso de la red de transporte férreo.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En materia de análisis de capacidad ferroviaria son dos trabajos muy citados a nivel internacional y que son la base para partir, en cualquier trabajo relacionado con el análisis de capacidad ferroviaria; estos dos trabajos son:

- ✓ UIC. UIC 406 R Code Capacity. 1st edition. Paris – Francia: UIC, 2004. 21 p.
- ✓ ABRIL, M., BARBER, F., INGOLOTTI, L., SALIDO M.A., TORMOS, P., LOVA, A. An assessment of railway capacity. En: Transportation Research Part E, 44, 2008. p.774-806.

En estos documentos se establece y se definen los conceptos básicos a tener en cuenta como son:

3.1. Capacidad Ferroviaria

Se afirma que es de difícil definición pues depende de los recursos, uso, necesidades y contexto de las situaciones a evaluar¹, sin embargo, se allegan a una definición en común, como es: Frecuencia de viajes en una sección de vía férrea concreta, con horarios de viaje y condiciones de operación dadas. Esta frecuencia de viajes es equivalente al número de trenes en circulación o volumen de tráfico (toneladas de carga movidas y/o número de pasajeros movilizados); cuando el tráfico es mixto (trenes de carga y de pasajeros) es más complejo medir la capacidad.

Adicionalmente la capacidad ferroviaria se divide en cuatro tipos, según Abril, et al (2008):

Capacidad Teórica: Es el máximo ideal de tráfico sobre la vía férrea.

Capacidad Práctica: Es el valor límite razonable de tráfico que en lo razonable se puede operar.

Capacidad Utilizada: Es el tráfico férreo actual sobre el sistema, este es menor o igual a la capacidad práctica.

Capacidad Disponible o sin utilizar: Es la diferencia entre la capacidad práctica y la capacidad utilizada, siendo mayor o igual a cero.

¹ PÓLVORA FIALHO (2013) p. 11

3.2. Factores y parámetros determinantes de capacidad:

En dichos conceptos hace juego un número importante de factores y parámetros:

Factor infraestructura: Hace referencia al estado de la vía, las condiciones dadas en un sistema férreo determinado (traviesas, rieles, fijaciones, balasto, radios, etc.), el material rodante existente, sistemas de señalización y control de tráfico, número de vías, el largo de las vías, secciones de cruce, estaciones férreas de cargue y descargue, el tipo de trocha.

Factor tráfico: Este factor es determinado por la composición del tren, es decir, si es homogénea la carga o dispareja; la programación de viaje de los trenes y la prioridad que puedan tener, por ejemplo: el tren de pasajeros tiene prelación sobre el tren de carga.

Factor operacional: Está dado por interrupciones o paros de operación en la línea férrea determinados por causas naturales (derrumbes), fatiga y ruptura de rieles, traviesas, etc., accidentes, paros comerciales; también por tiempo estándar de viaje, tiempos y distancia de separación de trenes en un mismo sentido, tiempos de holgura para cruces, y la calidad del servicio ofrecida.

Cada uno de estos factores determina la velocidad y el tiempo de operación, la capacidad en volumen y peso a transportar, siendo la velocidad inversamente proporcional al tiempo de viaje y peso transportado.

A su vez a través de un adecuado análisis y uso de estos factores se puede aumentar la capacidad férrea con los siguientes métodos Frost (2012):

1. Incrementar la frecuencia (trenes por hora).
2. Horario eficiente y reducción tiempos de parada en estaciones.
3. Variación precios para cambiar la demanda de pasajeros horas pico.
4. Reconfiguración de tren tipo para optimizar su uso y capacidad cuando sea necesario.
5. Alargamiento de trenes y plataformas.
6. Incremento capacidad en estaciones
7. Eliminación de secciones de tráfico lento y adicción de nuevas líneas.

Los cuatro primeros puntos son los más económicos a implementar y desarrollar en el corto plazo, los puntos e y f requieren mediana inversión y plazo, el último punto es el más costoso en inversión y orientado a largo plazo como una estrategia de expansión. Sin embargo, no da claridad sobre cual establece mejor relación con el incremento de capacidad.

IRG (2007) analizó el incremento de capacidad sobre la inversión realizada (persona o tonelada por hora sobre inversión por kilómetro), y concluyó que el alargamiento de trenes y la modernización de sistemas de señalización son los métodos más eficientes, que la rehabilitación férrea es más rentable que las nuevas construcciones, que la ampliación de la infraestructura es la forma más costosa de incrementar la capacidad, sin embargo, en entornos densamente poblados, por sus limitadas opciones de crecimiento, nuevos metros son la mejor relación entre aumento de capacidad e inversión realizada.

3.3. Métodos de medición de capacidad férrea

Se conocen tres métodos para la medición de la capacidad férrea: el analítico, de optimización y de simulación:

Métodos analíticos: Son métodos sencillos basados en expresiones algebraicas o análisis probabilísticos para obtener la capacidad férrea, siendo generalmente la capacidad teórica y luego a través de porcentajes de corrección la capacidad práctica. Son utilizados para tener datos preliminares o realizar comparaciones de resultados determinando cuellos de botella o mayores restricciones. Un ejemplo de estos métodos es el desarrollo por La unión internacional de ferrocarriles (UIC) en la década de los ochenta:

$$C = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}}$$

Donde,

C = Capacidad (Numero de trenes que circularán en el periodo T)

T = Periodo de referencia (horas)

t_{fm} = Tiempo mínimo de separación entre trenes con un uso intensivo de la vía (horas).

t_r = Tiempo medio de circulación dentro de la sección (horas)

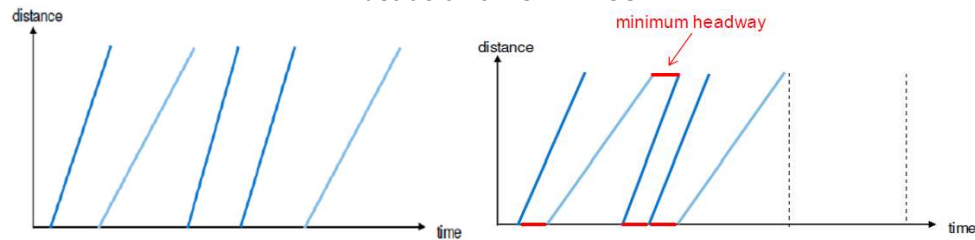
t_{zu} = Tiempo de holgura (horas)

Este método ha dejado de ser utilizado y se le ha realizado algunas modificaciones de acuerdo a los autores.

SKM COLIN BUCHANAN (2012) y Rotoli, et al (2016) citan el Índice de Utilización de Capacidad – CUI por sus siglas en inglés, mide la cantidad de espacio libre en tiempo y secuencia de servicios determinados; o, la proporción de tiempo predeterminado que ocupan los servicios programados. Se calcula comprimiendo los servicios programados en el horario seleccionado, tanto como permita el intervalo de holgura mínimo sin realizar reordenación de los servicios (Ilustración No. 5); es utilizado para analizar la capacidad de absorción de las demoras

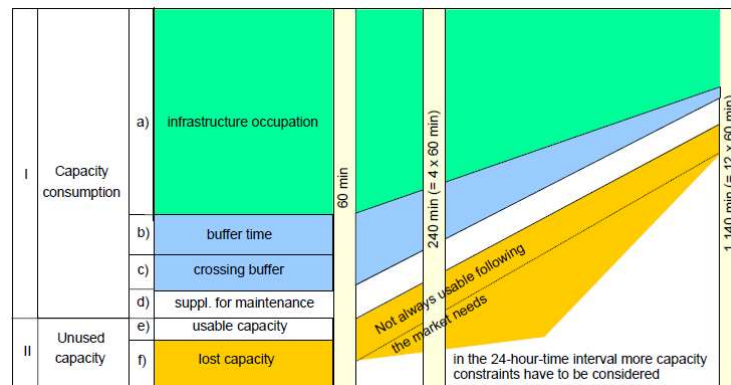
imprevistas en una programación de trenes, sin embargo, no considera si hay una programación de trenes optima.

Ilustración 5 – Calculo CUI



Fuente: SKM COLIN BUCHANAN. Assessment of capacity allocation and utilisation on capacity constrained parts of the GB rail network. Londres – Inglaterra: Sinclair Knight Merz Agosto 2012. P 23

Ilustración 6 – Determinación de capacidad de consumo



Fuente: UIC. UIC 406 R Code Capacity. 1st edition. Paris – Francia: UIC, 2004. p. 16.

Métodos de optimización: Se basan en técnicas de programación matemática y enumeración de algoritmos para obtener la mejor solución; el caso más común es el de optimizar los horarios de los trenes bajo la saturación o congestión. La UIC en el 2004 propuso un método para tal fin (Ilustración No. 6) y se basa en:

$$K = \frac{k}{U} * 100$$

Donde,

K = Capacidad de consumo (%)

U = Ventana de tiempo seleccionada en minutos (I+II)

k = Tiempo total de consumo en minutos

Para lo cual,

$$k = A + B + C + D$$

Donde,

A = Ocupación de la infraestructura en minutos

B = Tiempo de holgura en minutos

C = Tiempo de cruce en minutos

D = Tiempo en minutos designado a labores de mantenimiento

Para la UIC, la capacidad optima se logra con la integración adecuada de cuatro parámetros: No. de trenes, velocidad media, estabilidad y heterogeneidad del sistema lo cual determina una utilización rentable de la infraestructura ferroviaria.

La programación matemática se puede implementar a través de software de plataforma y de solución como AMPL y GAMS, Cplex, Gurobi y Xpress respectivamente.

Tabla 1 – Software optimización y funcionalidad

Software	Functionality	Type	Website
GAMS	Algebraic modeling language (AML)	CSS	www.gams.com
AMPL	Algebraic modeling language (AML)	CSS	www.ampl.com
Python	Programming language	OSS	www.python.org
Julia	Programming language	OSS	julialang.org
R	Programming language	OSS	www.r-project.org
Pyomo	Algebraic modeling library (Python-based)	OSS	www.pyomo.org
JuMP.jl	Algebraic modeling library (Julia-based)	OSS	www.juliaopt.org
IpSolve	Algebraic modeling library (R-based)	OSS	ipsolve.r-forge.r-project.org
CPLEX	Solver	CSS	www.cplex.com
Gurobi	Solver	CSS	www.gurobi.com
MOSEK	Solver	CSS	www.mosek.com
CLP	Solver	OSS	www.coin-or.org/Clp
GLPK	Solver	OSS	www.gnu.org/software/glpk
ECOS	Solver	OSS	www.embotech.com/ecos

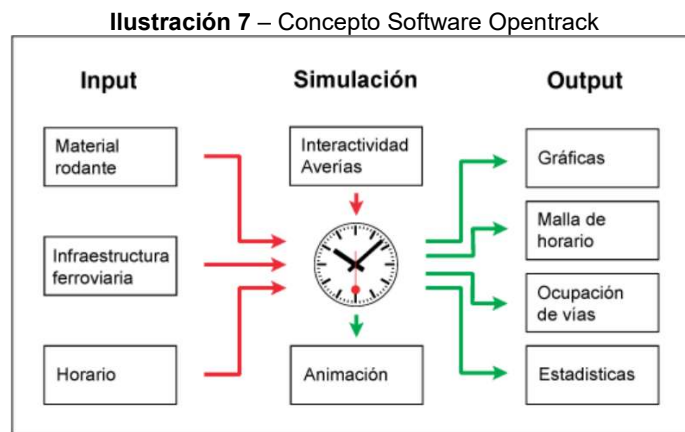
Fuente: WEIBEZAHN, Jens y KENDZIORSKI, Mario. Illustrating the Benefits of Openness: A Large-Scale Spatial Economic Dispatch Model Using the Julia Language. *Energies* 2019, 12, 1153, p 5.

AMPL es muy rápido y fácil de leer y trabajar, pero GAMS tiene mucho más solucionadores. Los solucionadores de código abierto tienen la desventaja sobre los comerciales en la velocidad de respuesta, pero se puede apoyar en servidores gratuitos en internet como Neo Server de la Universidad de Wisconsin-Madison².

² <https://ampl.com/faqs/how-does-ampl-compare-to-other-modeling-languages-and-systems/> ; <https://www.gams.com/optimization-solvers/> ; <https://neos-server.org/neos/>

Chen, et al (1996) sobre AMPL y GAMS afirmó: aunque ambos son efectivos para modelamiento y solución, AMPL tiene todas las características de GAMS y es más flexible e interactivo.

Métodos de simulación: Se usa software de simulación para representar el sistema férreo real, con la facilidad de plantear escenarios y evaluar las variables que puedan afectar la capacidad ferroviaria. Este tipo de software son comerciales, por lo cual son restringidos para uso académico, sin embargo, en Chile se utilizó el software libre Transus para simular viabilidad de los proyectos ferroviarios según Libra (2011). Los software especializados más utilizados son Opentrack, Multirail y Simone, con costos promedio de USD 50.000 más USD 5.000 de mantenimiento anual. La Ilustración No. 7 muestra el concepto del software Opentrack.



Fuente: http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_s/opentrack_s.html

Este tipo de método es considerado por Abril, et al (2008) y Pólvora Fialho (2013) como la medición mas profunda de la capacidad ferroviaria, siendo los dos métodos anteriores, necesarios para llegar a un método de simulación.

Adicionalmente a los software especializados para simulación férrea, es necesario tener en cuenta software genéricos que puedan permitir este mismo planteamiento de simulación a través de su interfaz, entre ellos Promodel, Simul8, Arena y Flexsim conocidos por su comercialización internacional, sus características radican en:

Promodel fue uno de los software pioneros en simulación y uno de los más conocidos comercialmente; para su optimo uso y aprovechamiento se requiere conocimientos avanzados en programación y manejo de datos, carece de funcionalidad estadística, no tiene módulos predeterminados o variables por defecto pero si puede cambiar fácilmente los escenarios sin tener que guardar varios copias, su interfaz es menos amigable que Arena, este solo se ve en desventaja con Promodel en la presentación de escenarios, aunque también carece de

funcionalidad estadística, este interactúa fácilmente con Microsoft logrando análisis rigurosos (Doncel González y Torres Vivas, 2005).

Arena y Flexsim permiten simular modelos combinados de variables continuos y discretas, sin embargo, Flexsim es más amigable con el usuario gracias a su interfaz en 3D y su amplia sección de preconstruidos lo cual disminuye la complejidad de programación y ha contribuido a los diferentes sectores de producción y servicios en la toma de decisiones (Simón Marmolejo y Granillo Macías, 2013).

Simul8³ también incluye sección de preconstruidos lo cual lo hace rápido y fácil de aprender, con compatibilidad con Microsoft y C++, permite trabajar en escritorio y en línea en la web, apuesta solo a la visualización 2D, analiza tanto eventos discretos como continuos.

3.4. Casos prácticos

Una vez realizada la revisión bibliográfica, los autores presentan la aplicación de dichos conceptos en ferrocarriles de su entorno, siendo el más completo el de Abril, et al (2008) donde se aplican las herramientas MOM (Modulo Optimizador de Mallas) y ERTMS (European Rail Traffic Management System) enfocadas en modelos analíticos y de optimización, en líneas férreas españolas, demostrando la importancia y afectación de la capacidad a través de parámetros como velocidad y señalización.

Guasch, et al (2009) evalúa la capacidad de respuesta del sistema ferroviario, que alimenta los puntos de almacenamiento de bobinas en acero en caliente de una Fábrica industrial, al incrementar la producción; y a su vez minimiza el número de viajes tren para reabastecer los puntos de almacenamiento. Construye el modelo a través de redes Petri coloreadas CPN y aprovecha compatibilidad con el software Arena para la modelación del sistema logístico con eventos discretos.

Boysen (2012) propone un modelo de análisis diferente al convencional para determinar la capacidad ferroviaria, basado en la inclusión de los interesados o stakeholders; dicho modelo se centra en transporte (carga o pasajeros) de masa y de volumen visto desde la infraestructura y de la operación del tren (Ilustración No. 8 y 9).

³ <https://www.simul8.com/>

Ilustración 8 - Modelo general de capacidad de transporte del sistema ferroviario - perspectiva de infraestructura

- Mass transport capacity (high density goods)

$$\boxed{\text{Trains/day}} \times \underbrace{\boxed{\text{Train length}} \times \boxed{\text{Meter load}}}_{\text{Train gross wagon mass}} \times \boxed{\text{Payload/gross mass}}$$

- Volume transport capacity (low density goods)

$$\boxed{\text{Trains/day}} \times \boxed{\text{Train length}} \times \boxed{\text{Length utilization}} \times \boxed{\text{Useful cross section}}$$

Fuente: BOYSEN, H. E. General model of railway transportation capacity. En: Computers in Railways XIII, Vol. 127. 2012. p. 340

Ilustración 9 – Modelo general de capacidad de transporte del sistema ferroviario – perspectiva operacional del tren

- Mass transport capacity (high density goods)

$$\boxed{\text{Speed}} \times \underbrace{\boxed{\text{Train length}} \times \boxed{\text{Meter load}}}_{\text{Train gross wagon mass}} \times \boxed{\text{Payload/gross mass}}$$

- Volume transport capacity (low density goods)

$$\boxed{\text{Speed}} \times \boxed{\text{Train length}} \times \boxed{\text{Length utilization}} \times \boxed{\text{Useful cross section}}$$

Fuente: BOYSEN, H. E. General model of railway transportation capacity. En: Computers in Railways XIII, Vol. 127. 2012. p. 341

SKM COLIN BUCHANAN (2012) realiza un análisis sobre el incremento del No. de pasajeros y la subutilización de la capacidad del tren en las horas no pico. Para conocer la capacidad total de una red se debe conocer sus restricciones y analizarlas, estas son similares a los factores mencionados en el apartado 3.2. Resalta las ventajas del Índice de Utilización de Capacidad - CUI y su interacción con los retrasos ocasionados por la congestión de vía. Presenta estudios de caso de la red británica utilizando un modelo de pronósticos especializado denominado MOIRA, aclara que sus suposiciones y resultados son teóricos sujetos a una evaluación operativa detallada, evalúa los escenarios de acuerdo al impacto sobre la red de transporte, la industria y la sociedad.

Pólvora Fialho (2013) aplica el método UIC 406 encontrando cuellos de botella en algunas secciones férreas del trayecto Lisboa-Madrid, y aplica simulación con el software Opentrack; concluye que, si la infraestructura actual se mantiene, la demanda de transporte de pasajeros disminuiría por los altos tiempos de retrasos del servicio.

Woroniuk & Marinov (2013) y Singhanian & Marinov (2017) analizaron los niveles de utilización de secciones férreas y su posibilidad de incrementar el número de trenes de carga sin afectar las condiciones dadas, los estudios se realizaron en la sección férrea Silla-Castellbisbal del este de España y en área urbana de Edimburgo-Escocia sección Waverley-Haymarket, a través del uso de software simulación Arena y Simul8 respectivamente, los resultados obtenidos fueron comunes: el incremento de trenes de carga no afectaría las demás programaciones de movilización, esto representa un aumento en la utilización de vías, por tanto la capacidad es mayor que la demanda.

Valentinovic y Sivilevicius (2014) aplican el método UIC 406 con la finalidad de demostrar que la tecnología actual que manejan en el centro de gestión de tráfico en Lituania esta anticuada (método de medición), y es menester cambiarla para ser más eficientes en la programación de trenes; a través del proyecto se disminuyen los tiempos de holgura que se tenían propuestos anteriormente. Su metodología se basa en tres pasos en el sistema tecnológico: El primero es calcular la programación de horarios con las rutas asignadas, el segundo es detectar los problemas de la programación y resolverlos de acuerdo a prioridades, y el tercero es optimizar la programación con las demoras presentadas por las prioridades del paso 2.

Kontelj y Jakomin (2014) realizan un análisis sobre el impacto de las inversiones en infraestructura férrea, aplicado en las líneas Divača – Koper y Ljubljana – Divača en Eslovenia, incluye tres escenarios de inversión proyectados a 2030, basados en modernización de sistemas informáticos como ERTMS y ETCS (European Train Control System) y construcción de nuevas líneas férreas; para obtener la capacidad de línea utilizan el método analítico propuesto por la UIC en su ficha 405, adicionalmente hacen distinciones de diversos tipos de tren tipo para correr en el modelo y análisis de tráfico intermodal a través del software PTV Visum. El interés es contar con un sistema de transporte completo y competitivo en el país, sus conclusiones son dadas a justificar las inversiones en infraestructura férrea, pues contribuye al crecimiento de la economía y la productividad, haciendo empresas eslovenas más competitivas.

Lindfeldt (2015) se enfocó en simular a través de los software Railsys y TingerSim el sistema ferroviario sueco con operaciones de doble vía, y reducción de retrasos o tiempos muertos por congestión, en dicho proceso se plantearon cientos de escenarios.

Zamorano (2015) propone una metodología para evaluar la congestión de tráfico de una red logística de transporte por carretera bajo el uso del software de simulación Flexsim adaptándolo como un modelo de tráfico vehicular, enseña diferentes escenarios de acuerdo a inversiones sobre infraestructura de transporte.

Rotoli, et al (2016) al servicio de la Comisión Europea, aplicaron en Italia los métodos descritos en el apartado 3.3., en caso específico Napoli - Salerno, comprobando la importancia de la velocidad y de la heterogeneidad de los horarios de servicios; el fin del estudio, es ser apoyo científico a la formulación de políticas europeas tras previsión de aumento de tráfico ferroviario y congestión de su infraestructura.

Por último, en Colombia los autores Cadena y Silva (2016) utilizaron los métodos UIC 405 y 406 para determinar la capacidad ferroviaria del corredor Facatativá – Bogotá, sus resultados son una frecuencia de 15 y 20 trenes diarios; este trabajo fue propuesto para optar al título de grado de ingeniería civil y apoyado con información por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

En general, los casos de aplicación son muy similares, enfocados a la optimización de la programación de horarios y aumento de la utilización de capacidad, de acuerdo a los factores normales de funcionamiento de los sistemas férreos, los resultados son disminución de los tiempos de espera y de holgura. Como datos de entrada al software de simulación, se tiene los recolectados por software de control de tráfico, que los mismos trenes van alimentado en sus recorridos diarios en los países más desarrollados. Aunque en la literatura revisada no se refiere a problemas sociales como invasiones del área de seguridad férrea por viviendas y el uso ilegal de las vías por otros vehículos, como es el caso en Colombia, esta afectación se podría incluir en el factor operacional.

3.5. Selección software

Una vez ilustrado con una fracción del marco teórico posible a utilizar se procede a realizar selección del método de trabajo a seguir. Conocido que para la Concesión ya se ha implementado por Eurolatina Consultores Ltda. (2009) un método analítico basado en la Ficha UIC 405 para la determinación de la capacidad teórica, y en la práctica, según estadísticas, está lejos de la realidad, es menester avanzar y construir un modelo de optimización o simulación de la situación actual del sistema férreo del pacífico colombiano, o un modelo integrado que incluya la optimización y la simulación de esta manera completando el ideal de la gestión de capacidad. Por condiciones de costos de licencias y conocimiento practico de software, hay dos opciones para utilizar: AMPL, un software plataforma de optimización en programación lineal y no lineal, y Transus, un software de simulación de redes de transporte intermodal con complemento de análisis de uso de suelos. Para la selección del software se describirá detalladamente sus características y usos.

3.5.1. AMPL

AMPL es un lenguaje de modelación algebraico para programación matemática, creado primero para resolver problemas relacionados con las comunicaciones por la empresa AT&T Bell Laboratories. Sus autores los PhD Robert Fourer, David M. Gay y Brian Kernighan lo instauraron hacia los años de 1985 y lo difundieron a partir del año 1993. AMPL expresa variables, restricciones y objetivos, a través de conjuntos y parámetros. Es interactivo, usa modelos separados y archivos de datos. En su inicio incluía los solucionadores MINOS, XA y OSL. AMPL está disponible para los sistemas Macintosh, Linux y Windows.

Para su ejecución requiere la elaboración de dos tipos de archivos: uno para definir los límites de las variables, los nombres de las constantes, la función objetivo y restricciones del problema de optimización, y otro para establecer los valores de las constantes. Funciona con base a comandos terminado en punto y coma (;). Dado un problema de programación lineal o no lineal con la forma estándar (Chen, et al, 1996):

Función Objetivo:

$$F(x) + c^T x + d^T y$$

Restricciones líneas y no lineales:

$$f(x) + A_1 y = b_1$$

$$A_2 x + A_3 y = b_2$$

Límite de variables:

$$l \leq (x, y) \leq u$$

Donde los vectores (c, d, b_1, b_2, l, u) y las matrices (A_1, A_2, A_3) son constantes, donde $F(x)$ es una función escalar suave, y $f(x)$ un vector de función suave, la sintaxis de AMPL es:

Archivo .Mod:

```
# Se define los límites de las variables
var x ≥ l, ≤ u;
var y ≥ l, ≤ u;

# Se define el nombre de las constantes
param CT;
param DT;
param A1;
param A2;
param A3;

# Se define la función Objetivo (minimizar o maximizar)
minimize obj: F(x)+CTx+ DTy;

# Se define las restricciones como ecuaciones
subject to CON1: f(x)+ A1y=b1;
subject to CON2: A2x+ A3y=b2;
```

Archivo. dat

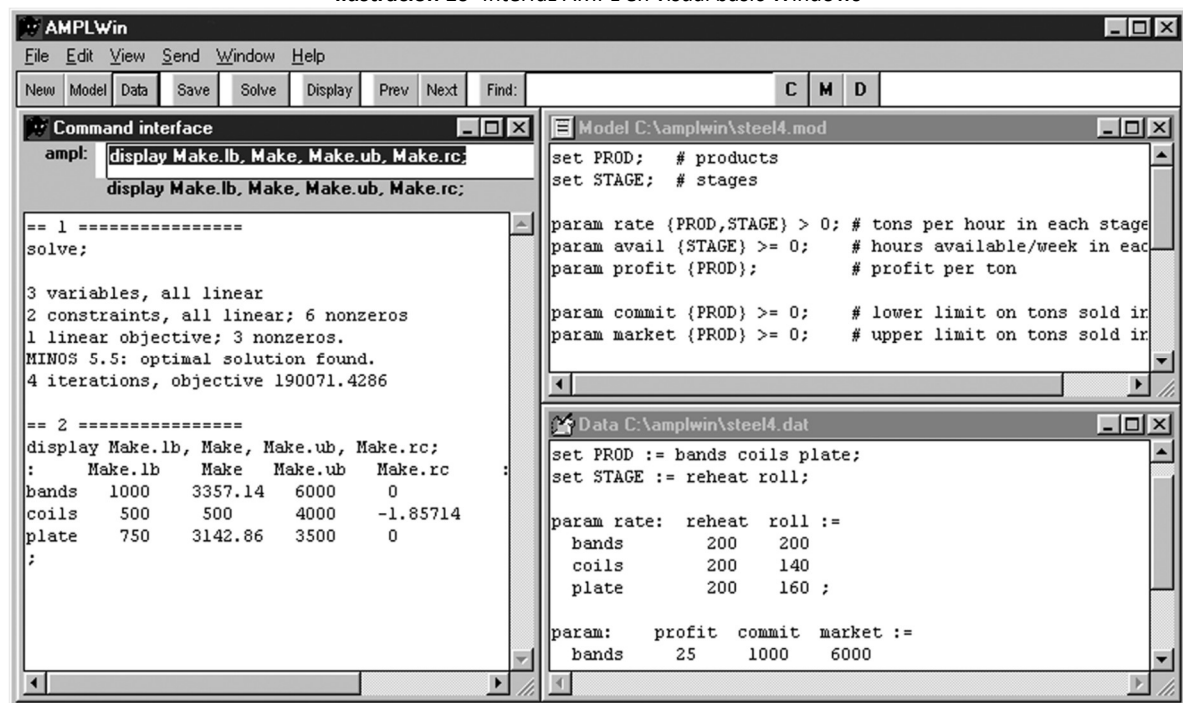
Se definen los valores de las constantes

```
param CT:=value...;  
param DT:=value...;  
param A1:=value...;  
param A2:=value...;  
param A3:=value...;
```

Los archivos con extensión .mod y archivo .dat se pueden editar en archivos de texto, ambos archivos se deben guardar en la misma ubicación; para ejecutarlos se puede usar los solucionadores: MINOS, viene por defecto, soluciona problemas lineales y no lineales, Cplex, sirve para problemas lineales y con variables enteras y binarias, también puede seleccionarse los solucionadores DONLP2, Gurobi, KNITRO, LOQO, Ip_solve, SNOPT, WSAT (OIP), y otros de forma remota a través del sitio web de Neos. Si en la sintaxis se presenta un error, sea en el archivo .mod o archivo .dat, la interfaz presentará la indicación del mismo. Permite visualizar los resultados y los valores de las variables obtenidas, también realizar análisis de sensibilidad.

Su licencia es comercial, no obstante, posee una licencia académica con restricciones, que se limita a problemas de 300 variables y 300 restricciones máximo.

Ilustración 10 -Interfaz AMPL en visual basic Windows



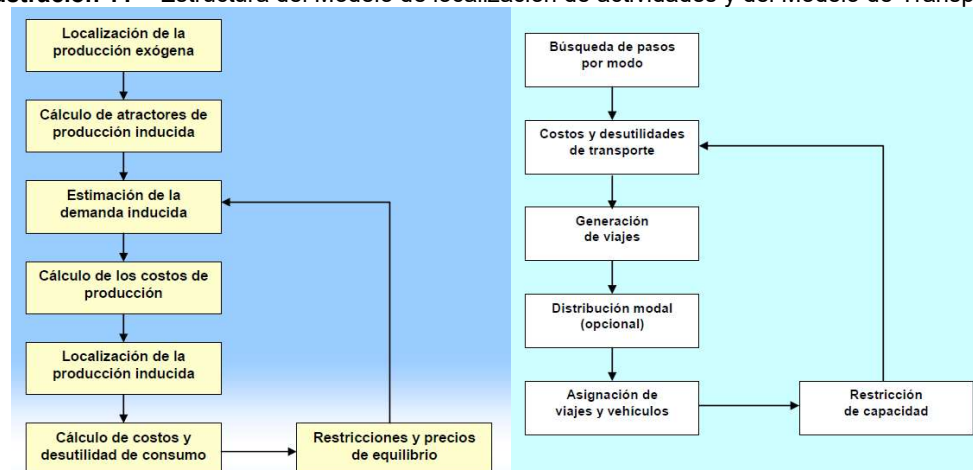
Fuente: FOURER, Robert; GAY, David M.; y KERNIGHAN, Brian W. AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming. Segunda Edición, 2003. p. 20

3.5.2. Tranus

Tranus surgió a partir de la tesis doctoral de Tomas de la Barra presentada en el año de 1979 en la Universidad de Cambridge -UK, Universidad que impulso y facilitó la publicación como libro en 1989; como software se desarrolló a partir de 1982 con el apoyo de Beatriz Pérez, Juancarlo Añez y la fundación del Grupo Modelistica, quien ofrece servicios de consultoría en las áreas de planeación urbana y transporte.

Tranus es un software gratuito de simulación que integra las áreas de transporte, localización de actividades y usos de suelo, orientado a aplicar políticas y diversos proyectos a nivel local y regional, evaluando su impacto social, económico, financiero, energético y ambiental. Se puede utilizar el modelo integrado o solo el sistema transporte, este último recomendado para análisis de corto plazo; de esta manera Tranus se compone de un Modelo de Localización de Actividades y un Modelo de Transporte. El modelo de transporte permite representar diferentes tipos de movimientos como carga y pasajeros en transporte público y privado y sistemas multimodales. Permite trabajar con cualquier tipo de coordenadas geográficas e importar imágenes vectoriales georreferenciadas, importar archivos para creación masiva de nodos, arcos, definición y asignación de rutas, prohibiciones de giros. Posee una interfaz y ambiente grafico de Windows, amigable, flexible y de fácil uso, orientado a objetos con manejo de árbol de escenarios, una serie de indicadores estadísticos como resultados de la simulación, y la virtud de comunicar errores en la red y modelo construido a través de diálogos. Para usuarios avanzados a través de comandos, se puede utilizar 5 programas de reportes adicionales (EVAL, IMPLOC, IMPTRA, MATS y MATESP) y extraer los resultados obtenidos de cada uno de los modelos individualmente o a través de matrices resumen, en un archivo de texto y consultarlos en hoja de cálculo, estos datos son complementarios a los adquiridos a través de la interfaz.

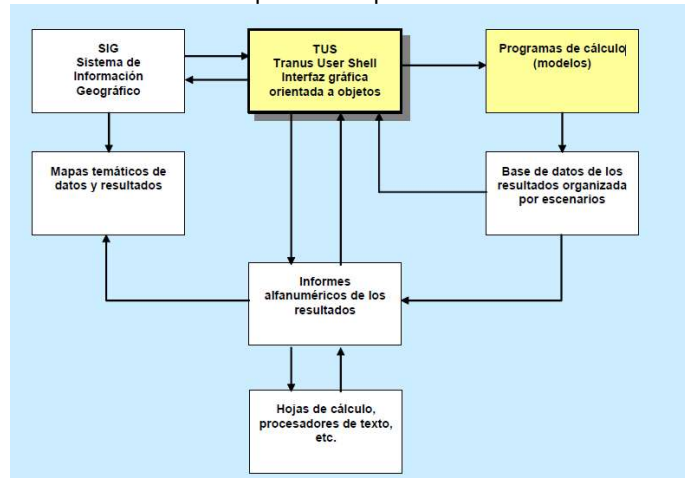
Ilustración 11 – Estructura del Modelo de localización de actividades y del Modelo de Transporte



Fuente: DE LA BARRA, Tomas. Formulación Matemática. Tranus-Modelistica. 2012, p. 8 y 34

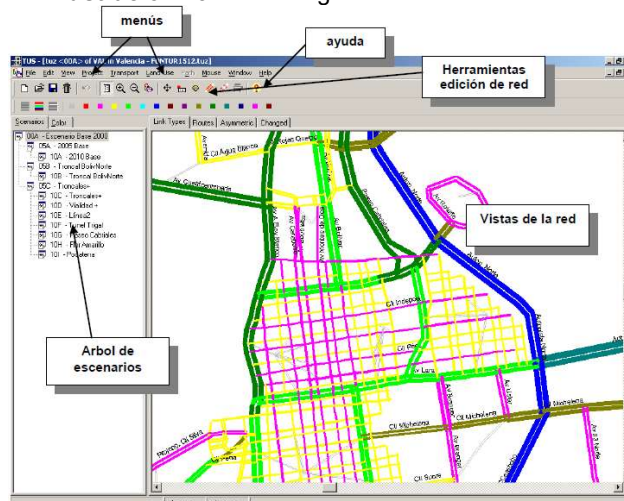
El marco teórico soporte del software incluye microeconomía espacial, modelos de gravedad y entropía, modelos de insumo producto, modelos de decisión discretos (Logit y Probit multinomial) y utilidad aleatoria, teoría de grafos, redes, colas y algoritmos de búsqueda de pasos, lo cual lo hace muy completo y único. Para el modelo de actividades, el elemento central es el modelo de insumo-producto, en el modelo de transporte lo son la demanda y la oferta. Sus cálculos internos están basados en una sólida base matemática y algorítmica que permite relacionar e integrar ambos modelos con una adecuada convergencia.

Ilustración 12 - Componentes operativos del sistema Tranus



Fuente: DE LA BARRA, Tomas. TUS: Interfaz gráfica y base de datos. Tranus-Modelística. 2012, p. 6

Ilustración 13 - Interfaz gráfica del sistema Tranus



Fuente: DE LA BARRA, Tomas. Descripción General. Tranus-Modelística. 2011, p. 33

El software y su metodología se puede aplicar en: Planes de desarrollo urbanístico; controles a los usos del suelo; impacto de proyectos puntuales, como industrias o complejos residenciales; planes de desarrollo regional; planes habitacionales e incentivos a la construcción; programas de protección del medio ambiente, a través de controles sobre áreas especiales; nueva vialidad y mejoras a la vialidad existente; reorganización del sistema de transporte público (nuevas rutas, tarifas, etc.); vías exclusivas para buses; sistemas de transporte masivo de pasajeros (metro, LRT, etc.); autopistas de peaje, urbanas o regionales; vías exclusivas para automóviles de alta ocupación; restricciones en la circulación de automóviles; políticas de precios, tales como impuestos a los combustibles o a estacionamientos; park-and-ride; tarificación vial selectiva o tarificación por congestión; rehabilitación de carreteras interurbanas; políticas de mantenimiento de carreteras; proyectos ferroviarios o mejora de los existentes; nuevas facilidades portuarias o relocalización de las existentes; reubicación de aeropuertos de carga y pasajeros. Un ejemplo de las aplicaciones prácticas es su uso en Europa, Asia y América, a través de estudios prácticos y académicos como: Sistema de evaluación de medida de políticas alternativas para una metrópoli basada en Tranus desde el punto de vista de la sostenibilidad (Vichiensan, et al, 2005); Estudio de la aplicabilidad de TRANUS a la asignación de redes de transporte (Fuentealba, 2009); Optimización del rendimiento y costos de Operación para el corredor arterial del sistema integrado de transportación urbana en la ciudad de Loja (SITU) (Pesántez, 2010); Uso de modelos de simulación de transporte TRANUS para evaluar la factibilidad de un aeropuerto (Merola, 2012); El Modelo de Chile: Insumo-Producto y Asignación Multimodal de Carga y Pasajeros (De la Barra, et al, 2012); Modelación de los principios de sustentabilidad en TRANUS. Estudio de la porción oriental de León, Guanajuato (López, 2017); Análisis modelación de transporte plan maestro de infraestructura (Sectra, 2017) y otros.

Disfruta de un grupo de discusión y resolución de dudas activo a través de la plataforma groups de Google: <http://groups.google.com/group/tranus> , y un amplio soporte a través de guías, manuales, aplicaciones y documentación referente que puede ser consultada a través de: <http://modelistica.com.mx/> y www.tranus.com.

3.5.3. Decisión

Los dos programas de cómputo, ofrecen características que permiten la determinación de la capacidad de carga, sin embargo, se optará primero en realizar un estudio cabal de optimización, la etapa de simulación se dejará para otro proyecto.

El software AMPL permitirá la determinación de la capacidad de carga de transporte férreo a través de modelación y uso de los parámetros actuales del sistema, esto nos conduce a conocer las características de la red férrea pacífica.

4. CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE TRANSPORTE FÉRREO RED PACIFICO COLOMBIANO

De acuerdo a las necesidades y el cumplimiento del primer objetivo específico, los siguientes fueron los factores necesarios a conocer para tener un insumo del modelo propuesto:

Factor infraestructura:

Estado de la vía en cantidad y tipo: Traviesas, rieles, fijaciones, balasto, radios, pasos y cruces a nivel, puentes y túneles etc.; material rodante existente, activo y capacidad; mantenimiento de vehículos; sistemas de señalización y control de tráfico; número y largo de vías; secciones de cruce; velocidades de línea; terminales intermodales de carga; tipo de trocha.

Factor tráfico:

Composición del tren; programación de servicios y horarios; prioridades.

Factor operacional:

Consumo combustible; interrupciones o paros de operación; tiempo estándar de servicio; tiempo y distancia de separación de trenes en movilización en un mismo sentido; tiempos de holgura para cruzamientos; calidad de servicio ofrecido.

4.1. Obtención de Datos

En la obtención de datos se remitió oficio a la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, para el acompañamiento, suministro y autorización de manejo de la información, quien a través de respuesta con radicado de salida No. 20173070288591 se trasladó el apoyo directo a la firma interventora del Contrato de Concesión No. 09-CONP-98, Consorcio Trenes del Pacifico – Sede Cali. La información suministrada no compromete la cláusula No. 81 de confidencialidad del contrato de concesión. Se presentó dificultad en el análisis y depuración de la información, las estadísticas son de periodos diferentes de tiempo y condiciones de trabajo operacionales distintas, redunda información en diferentes archivos, se apoya en conocimiento empírico. A partir de la información obtenida y de su depuración se elaboran tablas resumen de cada uno de los temas a presentar en la caracterización del sistema férreo del pacifico colombiano.

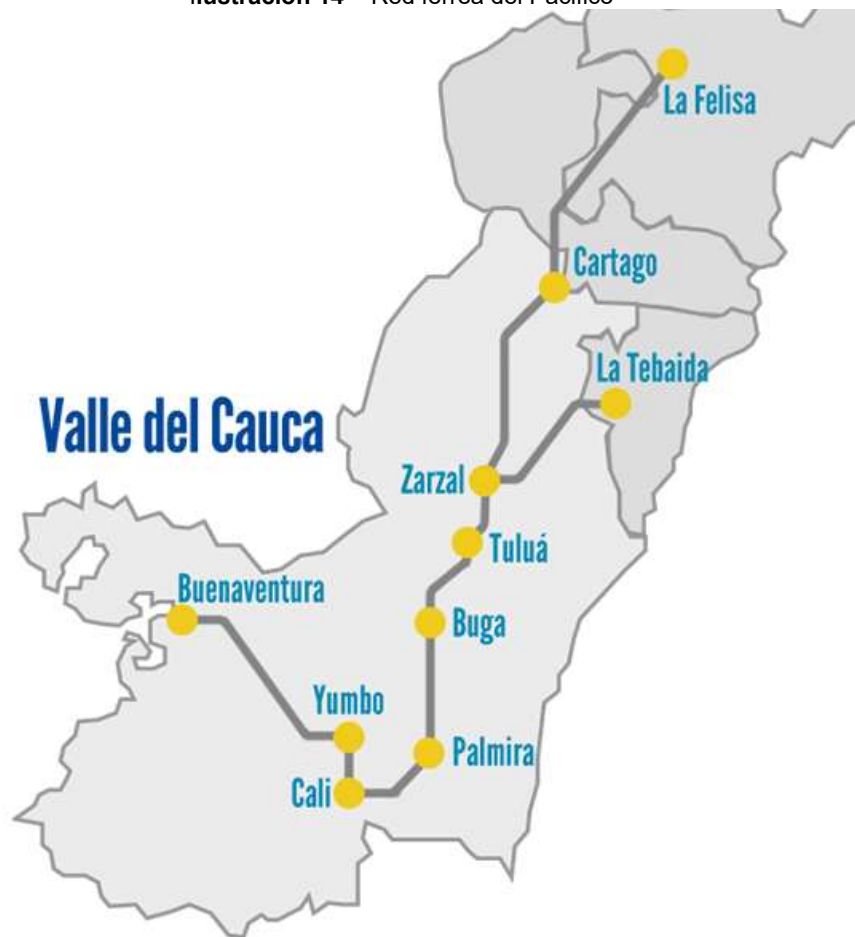
4.2. Red férrea pacífico colombiano

Se inicio a construir el 15 de septiembre de 1878 y se inauguró el 01 de enero de 1915, conectó el puerto marítimo de Buenaventura con la ciudad de Cali aportando

al progreso urbano y agroindustrial del suroccidente colombiano. El apogeo del sistema férreo inicio hacia la década de 1950 donde se dio prioridad al transporte por carretera; lo que llevo a la liquidación en el gobierno del presidente Virgilio Barco Vargas en el año de 1988 (Guerra, 2017).

Finalizando el siglo XX, se reestructura el sistema férreo en el país y se concede el contrato de concesión férrea No. 09-CONP-98 con la sociedad Tren de Occidente con periodo de vigencia 2030, en este se incluye la rehabilitación de los 498 km de vías férreas que la componen (Kohon, Jorge; Champin, Jorge; Rodriguez, Manuel; Cortés , René;, 2016).

Ilustración 14 – Red férrea del Pacífico



Fuente: http://investpacific.org/es/images/porque/c6_1.jpg

Para el año 2017 la red férrea del pacifico cuenta con las siguientes características de acuerdo a los factores definidos anteriormente.

4.3. Factor infraestructura

4.3.1. Estado de la vía

Cuenta en su mayoría con traviesas o durmientes en concreto, aún posee durmientes de madera los cuales están para reemplazo por deterioro y terminación de vida útil; estos soportan rieles de 90lb con fijaciones tipo clics a un 50% sobre la vía. Balasto o triturado como soporte de la superestructura férrea con tramos pendientes de desencarnar, alinear y reemplazar.

Ilustración 15 – Km 342 Prominex – La Tebaida



Fuente – Consorcio Trenes Del Pacifico

La vía férrea cuenta con curvas de radio mínimas de 70 metros y máximas de 148 metros, lo cual permitiría, en condiciones óptimas, operar con velocidades mínimas de 30km por hora y máximas de 50 km por hora en este tipo de curvaturas; sin embargo, aún no se llega a satisfacer 100% las necesidades de infraestructura de la vía. Una limitante a la velocidad promedio son los pasos o cruces a nivel encontrados a lo largo de los 343 km operables de Buenaventura y La Tebaida, quienes en su mayoría no son autorizados por la Concesión y el Estado, esto lleva a reducir la velocidad operacional a 5km por hora y a parar en sitio para evitar arrollamiento y descarrilamiento por obstrucción de la vía; de los 305 cruces inventariados en el tramo de Buenaventura-Buga solo 23 son concesionados y se encuentran en plan de regularización y control con señalización y barreras automáticas (Ver Tabla 2), para las demás vías aún no se cuenta con inventario de los cruces.

Sesenta y seis (66) puentes operables comprendidos en un largo total de 1,445.0 mts sobre los 343 km y 20 túneles con un largo total de 2,198.3 mts los cuales solo están comprendidos en el trayecto Buenaventura-Yumbo de acuerdo a su geografía.

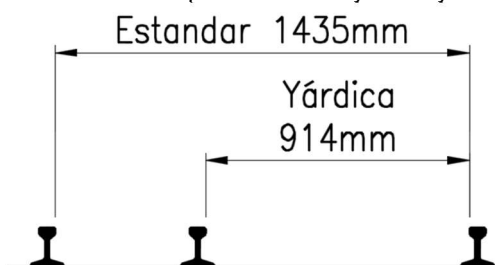
Tabla 2 – Inventario cruces a nivel Buenaventura-Buga

Ciudad	Irregular	Regular	Total
Dagua	59	2	61
Buenaventura	56	2	58
La Cumbre	54	1	55
Palmira	36	4	40
Yumbo	36	1	37
Guacarí	22	0	22
Cali	9	12	21
El Cerrito	10	0	10
Buga	0	1	1
Totales	282	23	305

Fuente – Adaptado del Plan de Regularización de Pasos a nivel tramo Buenaventura-Buga 2015

4.3.2. Tipo de trocha

Es una trocha angosta yárdica, es decir, de un ancho o distancia de riel a riel de 914mm; esto representa desventajas al compararse con la trocha estándar o normal de 1435mm utilizada en su mayoría por los países europeos, asiáticos y de Norteamérica.

Ilustración 16 – Comparativo trocha yárdica y estándar

Fuente – CADENA MORA, Camilo Andrés y SILVA DIAZ, Cristyan Jesús. Determinación de la capacidad ferroviaria del corredor Facatativá – Bogotá con sus características físicas actuales. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá, D.C.: Universidad Católica De Colombia. Facultad De Ingeniería. Programa De Ingeniería Civil, 2016. Pp.26.

Este tipo de trocha no permite ser eficiente en uso de la velocidad, capacidad en toneladas, estabilidad y los costos de adquisición de equipos son más altos por ende

su mantenimiento o reparación. Sin embargo, en óptimas condiciones, permite movilizar volúmenes considerables de carga.

4.3.3. Material rodante

Se ha clasificado en dos, de infraestructura y operaciones; son aquellos que se desplazan sobre los rieles o vía férrea:

Tabla 3 – Material Rodante Infraestructura

Tipo de equipos	Activo	Inactivo	Cantidad
Tractivo	3	3	6
Carromotor	3	3	6
Rodante	65	18	83
Coche litera	1		1
Grúa vapor	2		2
Plataforma	28		28
Tanque acpm		2	2
Tanque agua		1	1
Tolva balasto	31	11	42
Tolva volcó	2	4	6
Tq. Fumigación	1		1
Totales	68	21	89

Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

Tabla 4 – Material Rodante de Operaciones

Tipo de equipo	Activo	Inactivo	Cantidad
Tractivo	16	3	19
Deutz	1		1
Loco R22	2		2
Loco R23	1		1
Loco R24	1		1
Loco U10	5	1	6
Loco U12	4	1	5
Loco U18	2		2
Loco U6		1	1
Rodante	103	63	165
Góndola grane		22	22
Plataforma	103	41	143
Totales	119	66	184

Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

De esta manera se podría resumir los equipos férreos como carromotores, locomotoras, plataformas, tanques, tolvas y otros. A continuación, una pequeña definición de cada uno de ellos, de acuerdo a las vivencias propias del caso particular:

Carromotor: Pequeño vehículo tractivo que cumple actividades de desplazamiento de obreros de obra y personal de supervisión de vías.

Ilustración 17 - Carromotor



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacífico

Locomotoras: Vehículo que tracciona por si solo y conduce un tren de un destino a otro, también dependiendo de su capacidad de arrastre son utilizados para maniobras en patios férreos de carga, descarga y armado de trenes.

Ilustración 18 – Locomotora



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacífico

Plataformas: Son vehículos no tractivos tipo plancha remolcados por locomotora y adecuados para cargue de contenedores o carga suelta (incluye actividades de infraestructura).

Tanques: Son vehículos no tractivos tipo cisterna para cargue de líquidos (Combustible, agua, fungicidas) utilizados especialmente para actividades de infraestructura o mantenimiento de vías.

Ilustración 19 - Plataforma



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

Tolvas: Son vehículos no tractivos para cargue de solidos (tierra, desechos vegetales, balasto, piedras) utilizados especialmente para actividades de infraestructura.

Ilustración 20 - Tolva



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

Otros: En este grupo se encuentran vehículos férreos no remolcados como coche litera, grúa y góndolas, los activos solo operan para el área de infraestructura o actividades de rescate.

Los equipos tractivos operan con tecnología Diésel, las locomotoras oscilan de peso entre 60 y 90 toneladas cada una; para su capacidad de arrastre ver Tabla No. 5, esta capacidad depende de la potencia de las locomotoras y el terreno de tránsito. Los equipos remolcados oscilan entre 12 y 20 toneladas con promedio de 12.5, su capacidad de carga es de 40 toneladas. En longitudes, las locomotoras promedian 19 mts y los equipos remolcados 12.5 mts.

Ilustración 21 – Otros Equipos de Operaciones e Infraestructura



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

Tabla 5 – Capacidad de arrastre por tipo locomotora tren sencillo promedio

Locomotoras	Capacidad Arrastre (Ton)
U10	130
U12	260
U18	360
R22	450

Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

4.3.4. Mantenimiento de vehículos

El concesionario cuenta con un taller especializado para el mantenimiento de vehículos ferroviarios en la ciudad de Palmira, en las terminales intermodales de Buenaventura y Yumbo cuenta con personal para el desempeño de actividades de revisión de pestañas y ejes, revisión de zapatas (frenos), revisión de twistlock en plataformas, actividades de soldadura, indicación de estado operación de vehículos, mecánica de motores Diesel y revisión de circuitos. Los vehículos tractivos se monitorean para programar revisiones de 2000 km, 5000 km y 12000 km, también se revisan luego de finalizar un servicio.

4.3.5. Sistemas de señalización y control de tráfico

Cuenta con un centro de control de operaciones férrea quien dirige y autoriza los movimientos y el sentido de los trenes a lo largo de la línea férrea activa, opera con un software especializado que permite la trazabilidad al recorrido del tren en tiempo real. Sistemas de señalización física en la vía, como kilometraje, precaución, puentes, túneles, pasos a nivel, entre otros; está en proceso la automatización con barreras en los pasos a nivel concesionados autorizados, y aviso de aproximación de trenes con dispositivos taws, se restringe la instalación por vandalismo, cultura ciudadana y costo mantenimiento.

Ilustración 22 – Tipo Señalización en vías



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacífico

4.3.6. Número y largo de vías

De los 498 km de red solo hay operables 343 km, es decir, Buenaventura – Zarzal – La Tebaida, los 155 km que constituyen Zarzal – Cartago – La Felisa no han sido habilitados. Se dispone de una sola vía que maneja dos sentidos de tránsito, esto ralentiza las labores de operación, para disminuir los tiempos se cuenta con estaciones de paso o zonas intermedias de bloqueo – ZIB, las cuales permiten el avance seguro de los trenes y/o el cruce de los mismos sin lugar a choque. De acuerdo a lo anterior serian 54 vías o secciones en que se divide la red férrea activa del pacífico.

Tabla 6 – Tipos de Vía

Tipo de Vía	Cantidad	Longitud en Km
Cantón	32	328.68
Estación Secundaria	9	4.21
Sección de Cruce	8	5.45
Terminal Intermodal de Carga	3	1.66
Transbordo Caña	2	0.75
Totales	54	340.75⁴

Fuente: Elaboración propia

⁴ La diferencia sobre los 343 km es la línea férrea de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura SPRBUN

Solo los cantones ferroviarios cuentan con una capacidad u ocupación de un solo tren por espacio de tiempo y sin importar dirección de avance, ni longitud del tren; para los cuatro (4) restantes se requiere conocer la cantidad de vehículos que puede albergar las líneas secundarias, este dato se presenta en la Tabla No. 7.

Tabla 7 – Capacidad según tipos de vía en No. de vehículos

Tipo Vía	Cuenta de Tipo	No. Vías - Incluye principal y muertas	Cap. vehículos Tope
Terminal Intermodal de Carga	3	14	385
Estación Secundaria	9	32	885
Sección de Cruce	8	22	876
Transbordo Caña	2	4	76
Totales	22	72	2,222

Fuente: Elaboración propia

Para la capacidad medida en vehículos, se tuvo en cuenta el promedio de longitud de 12.5 mts, la ocupación de las líneas férreas principales y líneas muertas o tope, esto considera la ocupación del 100% de las secciones evaluadas, lo cual, en la práctica es inviable. La longitud y capacidad de las vías internas varía desde 3 hasta 190 vehículos, sin embargo, de acuerdo a las vías más transitadas se promedia en 24 vehículos por vía.

4.3.7. Velocidad de líneas

En este campo se encontró cuatro análisis distintos de las velocidades permitidas dentro de los cantones férreos, el primero de ellos es el entregado a través del anexo 5 del contrato de concesión No. 09-CONP-98, donde finalizada la rehabilitación de la vía y realizado pruebas se obtuvo lo siguiente:

Tabla 8 – Velocidad estipulada por cantón en contrato de concesión

Cantón o Trayecto	Velocidad estipulada Km/hora
Buenaventura (Km0)-Vásquez Cobo (Km55)	30
Vásquez Cobo (Km 55)-Loboguerrero (Km68)	20
Loboguerrero (Km68)-Cali (Km174)	30
Cali (Km174)-Cartago (Km347)	40
Zarzal (Km304)-La Tebaida (Km343)	30

Fuente: Adaptado Consorcio Trenes Pacifico. 2017. Informe Mensual de Interventoría N° 14. p 97

Para el año 2009 el concesionario con la empresa Consultora Eurolatina realizó un estudio basado en los radios y peraltes de las curvas encontradas a lo largo de la red férrea y las características plano-altimétricas del trazado, este estudio teórico arrojó las siguientes velocidades promedio estipuladas para tránsito suponiendo un buen estado y mantenimiento de las vías, se presenta una agrupación y a la vez desagregación de los cantones:

Tabla 9 – Velocidad promedio estipulada Empresa Eurolatina

Cantón o Trayecto	Velocidad estipulada Km/hora
Buenaventura (Km0)–Yumbo (Km155)	30
Yumbo (Km155)– Palmira (Km196)	40
Palmira (Km196) – Zarzal (Km301)	50
Zarzal (Km301) – La Tebaida (Km343)	40
Zarzal (Km301)– Cartago (Km347)	50
Cartago (Km347) – La Felisa (Km458)	40

Fuente: Adaptado EuroLatina Consultores Ltda. 2009. Estudio de la Capacidad del corredor ferroviario Buenaventura – Zarzal – La Tebaida. pp. 6

El estudio anterior no tuvo en cuenta los pasos a nivel y las desaceleraciones causadas por los mismos en los trayectos. El concesionario bajo la forma documental de instructivo, aprobó a finales de 2015 la tabla de velocidades, está de acuerdo al estado actual de la vía y las restricciones analizadas por el área de infraestructura; en este documento las velocidades no superan los 25 km/hora, y los trayectos están más desagregados. Sin embargo, las estadísticas de operación durante los años 2015 y 2016 promedian 14.39 km/h, esto es explicado por las precauciones de vía tomadas en los pasos a nivel y puntos críticos pendientes de mantenimiento que se encuentran a lo largo de la red férrea.

Tabla 10 – Tabla de velocidades máximas concesionario 2015

DE INSTALACIÓN o ESTACION	ABCISADO (Km)	A INSTALACIÓN o ESTACION	ABCISADO (Km)	DISTANCIA (km)	Velocidad Máxima En trayecto
BUENAVENTURA	3	CORDOBA	20	17	16 km/h
CORDOBA	20	BODEGAS	32	12	18 km/h
BODEGAS	32	CISNEROS	52	20	18 km/h
CISNEROS	52	LOBOGUERRERO	65	13	20 km/h
LOBOGUERRERO	65	DAGUA	79	14	20 km/h
DAGUA	79	EL PALMAR	95	16	20 km/h
EL PALMAR	95	LOMITAS	106	11	20 km/h
LOMITAS	106	BITACO	117	11	20 km/h
BITACO	117	LA CUMBRE	126	9	20 km/h
LA CUMBRE	126	YUMBO	155	29	18 km/h
YUMBO	155	CALI	171	16	15 km/h
CALI	171	PALMIRA	196	25	15 km/h
PALMIRA	196	MANUELITA	203	7	15 km/h
MANUELITA	203	GUACARI	223	13	20 km/h
GUACARI	223	BUGA	238	15	25 km/h
BUGA	238	TULUA	261	23	25 km/h
TULUA	261	BUGALAGRANDE	277	16	25 km/h
BUGALAGRANDE	277	ZARZAL	301	24	25 km/h
ZARZAL	301	ALVAREZ - SALAS	317	16	25 km/h
ALVAREZ - SALAS	317	LA TEBAIDA	341	24	25 km/h
LA TEBAIDA	341	PROMINEX	343	2	25 km/h

Fuente: Adaptado Tabla de Velocidades 2015

4.3.8. Terminales Intermodales de carga

Son tres: Buenaventura, Yumbo y La Tebaida, esta última es la más pequeña y de menor capacidad, pero de acuerdo a su ubicación geoestratégica se proyecta a modo de gran crecimiento. Cada una de las estaciones ofrece intercambio modal con servicio de última y primera milla, según sea el caso de importación o exportación; servicio de almacenamiento, consolidación y desconsolidación de carga; montacarga y reach stacker.

Tabla 11 – Capacidad Operativa en No. vehículos férreos por estación de cargue

Buenaventura	Yumbo	La Tebaida
100	70	15

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23 – Ejemplo Tipo de Carga movilizada en estaciones férreas



Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

En el periodo 2003-2008 se movió en promedio anual 77,443.0 (6,500.0 mensuales) toneladas, luego superó las 157,023.0 toneladas anuales, con un promedio mensual de 12,000.0 toneladas; el concesionario a partir del año 2015 logro movilizar 18,000.0 toneladas mensuales de carga con recorrido de cerca de 13,000.0 kilómetros, este movimiento de carga fue reducido a principios del año 2016 por decisiones internas de la compañía. La carga está representada en un 31% contenerizada y 69% suelta. La estimación del concesionario es movilizar 80,000.0 toneladas netas mensuales, de esta manera aproximarse al millón anual. Ese movimiento de carga solo incluye las terminales de Yumbo y Buenaventura, La estación de La tebaida empezó operación en los finales de 2015 hasta principios de 2016 logrando movilizar 640 toneladas.

La siguiente tabla resume la cantidad promedio de toneladas comerciales movidas mensualmente en las terminales durante el año 2015:

Tabla 12 – Toneladas netas mensuales promedio 2015 según Origen Destino Terminal de Carga

Origen	Ton. Netas Mes	Destino	Ton. Netas Mes
Buenaventura	15,132.44	Yumbo	15,014.80
		La Tebaida	117.64
Yumbo	3,200.52	Buenaventura	3,200.52
		La Tebaida	-
La Tebaida	41.08	Yumbo	-
		Buenaventura	41.08
Totales	18,374.04		18,374.04

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente al movimiento comercial por estas terminales, se transporta y almacena diversos materiales para trabajo de infraestructura como arena, balasto, cunetas, guarda cunetas, traviesas, rieles, entre otros; tampoco se tuvo en cuenta el peso de vehículos vacíos desplazados para recoger carga en alguna de las estaciones.

El 21.17% de la carga comercial no se descarga o carga, según el caso, en las terminales intermodales, allí solo se consolida y se distribuye, para posteriormente ser transportada y descargada en apartaderos férreos o líneas privadas adaptadas para la entrega donde el cliente final.

4.4. Factor tráfico

4.4.1. Composición del tren

Varía de acuerdo al aprovechamiento de la capacidad de arrastre de las locomotoras, el terreno a transitar, las oportunidades de cruzamiento en vías secundarias, las radios o curvas de la vía y las necesidades de carga a transportar.

En general se utiliza el acople de dos locomotoras para duplicar la potencia y capacidad de arrastre con n cantidad de plataformas, sin embargo, se utilizan también trenes con una sola locomotora. N cantidad de plataformas según estadísticas de los servicios de la red férrea pacifico van de 1 hasta un máximo de 20 con un promedio de 7 y desviación estándar de 5. Para los trenes denominados de trabajo, los cuales son exclusivos para actividades de transporte de maquinaria, equipos e insumos para mantenimiento de vías, en su mayoría están compuestos por una sola locomotora remolcando entre 1 y 5 vehículos.

4.4.2. Programación de servicio

Se realiza en cálculos manuales basados en la experiencia, los tiempos de viaje entre cantones y líneas que permiten el cruzamiento de los trenes, y las necesidades de transporte. Esta programación muy poco se cumple debido a variables del servicio como congestión en estaciones, daños de vía, obstáculos, accidentes, condiciones climáticas, invasiones de la vía, esperas de personal, entre otros, que producen demoras y dilatan el cumplimiento y cruzamiento de los trenes en los puntos indicados. Esto refleja la necesidad de analizar el sistema férreo pacífico como un todo para una adecuada programación en los horarios de salida y llegada de los diferentes servicios. Para el año 2015 se estaban programando en base a 3.70 trenes en cada sentido de movilización por día, para 2016 había disminuido a 1.85 trenes promedio por sentido. Dentro de esta programación solo se tiene en cuenta el tráfico comercial, no se incluye los demás trenes quienes pueden interferir en los tiempos programados. Los trenes de trabajo por las necesidades de la vía tienen una frecuencia total de dos por día, a estos también los acompañan los 5 carromotores asignados a cada cuadrilla de obreros a cargo de 70 km de vía aproximadamente quienes se movilizan bajo autorización por la línea férrea hacia el sitio de trabajo asignado.

4.4.3. Prioridades

Un tren de pasajeros o mixto (pasajeros y carga) precede a un tren comercial de transporte de carga. La red férrea Pacífica se ha orientado solo a transporte comercial de carga, debido a los tiempos de transporte, los cuales no permiten competir con el transporte de pasajeros por carretera, a raíz de esto, sus prioridades están centradas al cumplimiento y satisfacción del cliente en los tiempos de entrega y almacenamiento. Solo si la vía férrea está cerrada por daño u obstáculo se da prioridad al tren de trabajo, con la finalidad de dar pronto paso al tren comercial, los carromotores están sometidos a dar vía al tren comercial.

4.5. Factor operacional

4.5.1. Consumo combustible

Depende de la potencia utilizada, los equipos y trayectos recorridos, el consumo va de 0.72 galones por kilómetro hasta 1.83 gal/km por locomotora, claro está que la capacidad de arrastre de este último es mayor que el primero.

4.5.2. Interrupciones o paros de operación

Son dados por diversas causas que acontecen durante la operación, estos pueden ser daño de locomotora, patinamiento de locomotora, desenganche de tren, daño de vehículo remolcado, irregularidad de la carga o fijación, daño de Carromotor, daño de vía infraestructura, inundaciones, neblina, incendio en la vía, derrumbes, obstáculo en la vía, descarrilamiento, arrollamiento, volcamiento, sabotajes, entre otros. Estas interrupciones generan demoras o tiempos perdidos en la operación comercial mientras se da solución, según su clasificación puede ocurrir un cierre temporal de 30 minutos o de días, por lo cual puede promediar 3 horas diarias según estadísticas.

4.5.3. Paros comerciales

Suelen darse principalmente por el punto anterior, sin embargo, el concesionario toma decisiones de paros temporales o totales para avanzar en el mantenimiento y rehabilitación de la vía concesionada, para exigir al estado control de las invasiones del área de seguridad de la vía, por cambio de concesionario e inversionista.

4.5.4. Tiempo estándar de servicio

Sucede lo mismo que con el estándar de las velocidades estipuladas por trayecto, según Eurolatina (2009), recorrer Buenaventura - Yumbo demoraría 5 horas, en el supuesto de contar con una línea en óptimas condiciones de infraestructura y con pasos a nivel autorizados y señalizados, en datos operacionales promedio 2015 se recorre en 11.76 horas, es decir más del doble; lo mismo acontece en el trayecto Yumbo - La Tebaida con un estimado de 4 horas y 5 minutos, pero en la práctica se acerca a las 12 horas de recorrido. La siguiente tabla establece un estándar acorde a la realidad 2015-2016 en el sentido Buenaventura – Yumbo, el tramo de más movilización.

Tabla 13 – Tiempos de recorrido de los servicios entre estaciones

ESTACION ORIGEN	ESTACION DESTINO O PASO	TIEMPO DE RECORRIDO
BUENAVENTURA	CORDOBA	67 MINUTOS
CORDOBA	TRIANA	67 MINUTOS
TRIANA	CISNEROS	40 MINUTOS
CISNEROS	LOBO GUERRERO	56 MINUTOS
LOBO GUERRERO	DAGUA	47 MINUTOS
DAGUA	EL PALMAR	53 MINUTOS
EL PALMAR	LOMITAS	37 MINUTOS
LOMITAS	BITACO	37 MINUTOS
BITACO	LACUMBRE	30 MINUTOS
LA CUMBRE	YUMBO	97 MINUTOS
YUMBO	CALI	43 MINUTOS
CALI	PALMIRA	100 MINUTOS
PALMIRA	MANUELITA	42 MINUTOS

Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

4.5.5. Tiempo y distancia de separación de trenes en movilización

Los trenes en la concesión, no se tienen separados por tiempo, esto representaría un riesgo de colisión de trenes, al no tener un control y notificación 100% en tiempo real de su ubicación y velocidades de los precedentes; si dispone de separación por cantón o zonas intermedias de bloqueo, esto significa que se autoriza el avance del tren hasta cierto punto kilométrico y no puede rebasar este punto hasta que el centro de control lo autorice, de esta manera se protege de colisiones y se adelanta en la red férrea.

4.5.6. Tiempos de holgura

No solo para cruzamientos se ha estipulado un tiempo estándar, también para otras actividades que pueden ser necesarias y obligatorias durante la operación, estas sumarían una hora y 45 minutos al tiempo tipo de movilización si se llegarán a necesitar todas. Es de resaltar que puede ocurrir más de un cruzamiento durante la movilización.

Tabla 14 Tiempos de holgura o demoras esperadas por servicio

Ítem	Demora esperada
Cruzamiento	20 min
Cambio de tripulación	15 min
Revisión de tren en estaciones intermedias	15 min
Maniobras en estaciones intermedias	25 min
Aprovisionamiento de arena	30 min

Fuente: Consorcio Trenes Del Pacifico

4.5.7. Calidad del servicio

No ha podido ser medida estadísticamente por los vaivenes de la concesión, y no se cuenta con la subjetividad para realizarlo.

5. METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN

Para la modelación en AMPL , se tomó como base una formulación matemática del problema *Hub and Spoke* o centro de radios para la selección de terminales de consolidación y desconsolidación de carga, en el caso particular las seleccionadas serán intermodales, propuesto por Ernst & Krishnamoorthy (1998) y citado por Alumur & Kara (2008), Santos, et al (2015) y Lang (2018) con su aplicación en el norte de Colombia, lo cual permitirá evaluar el estado actual de las terminales intermodales, como también su capacidad optima de acuerdo al costo del sistema de transporte intermodal. Se hace una adaptación, al incluir las condiciones propias del sistema férreo pacífico y tener en cuenta el tipo de trenes disponibles, su capacidad, la frecuencia tren máxima por día, y la necesidad mínima de pasar por dos terminales (*hubs*), el modelo a utilizar será el siguiente:

Conjuntos

N	Conjunto de nodos de la red
H	Conjunto de localizaciones alternativas de las terminales $H \subseteq N$
R	Conjunto de tipos de trenes

Parámetros

p	Número de terminales a localizar
α	Factor de descuento por el transporte en tren, en lugar del camión
w_{ij}	Demanda entre el nodo i y el nodo j , [ton/año], $i, j \in N$
d_{ij}	Distancias entre los nodos i y j , se considera una distancia simétrica, esto es $d_{ij} = d_{ji}$, [km], $i, j \in N$
c_{ij}	Costo de transporte entre los nodos i y j , [\$/ton-km], $i, j \in N$
η_{ij}	Diferencial de distancia o factor de corrección entre los nodos i y j vía carretera en comparación con la vía férrea, $i, j \in N$.
τ	Número de días en un año [$\tau = 360$ días por año]
q_r	Capacidad del tren tipo r [ton netas], $r \in R$
$n_{kl}^{\max}$	Número máximo de trenes que pueden transitar desde la terminal k hasta la terminal l en un día
n_r^{disp}	Número de trenes tipo r disponibles, $r \in R$

Variables

h_k	Binaria con valor de 1 si una terminal se ubica en el nodo k , $k \in H$
z_{ik}	Flujo del nodo i al nodo k [ton/año], $i \in N$; $k \in H$

y_{kl}^i Flujo que se origina en el nodo i y es transportado entre las terminales k y l [ton/año], $i \in N; k, l \in H$
 x_{lj}^i Flujo que se origina en el nodo i pasando por la terminal l hacia el nodo j [ton/año], $i, j \in N; l \in H$
 e_{ij} Flujo de transporte directo entre los nodos i y j [ton/año], $i, j \in N$
 v_{kl}^r Número de trenes tipo r a usar entre las terminales k y l , $r \in R; k, l \in H$.

Función objetivo

Minimizar los costos de transporte totales:

$$\min \sum_{i \in N} \left(\sum_{k \in H} c_{ik} d_{ik} z_{ik} + \sum_{k \in H} \sum_{l \in H} \alpha c_{kl} (d_{kl} - \eta_{kl}) y_{kl}^i + \sum_{l \in H} \sum_{j \in N} c_{lj} d_{lj} x_{lj}^i \right) + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} d_{ij} e_{ij}.$$

Restricciones

Por el número de terminales a localizar:

$$\sum_{k \in H} h_k = p.$$

Por la cantidad de carga enviada desde cada nodo:

$$\sum_{k \in H} z_{ik} + \sum_{j \in N} e_{ij} = \sum_{j \in N} w_{ij}, \quad \forall i \in N.$$

Por el cumplimiento de demanda:

$$\sum_{l \in H} x_{lj}^i + e_{ij} = w_{ij}, \quad \forall i, j \in N.$$

Restricciones de balance:

$$\sum_{l \in H} y_{kl}^i + \sum_{j \in N} x_{kj}^i = \sum_{l \in H} y_{lk}^i + z_{ik}, \quad \forall i \in N, k \in H.$$

Restricciones de flujo hacia terminales abiertas:

$$z_{ik} \leq \left(\sum_{j \in N} w_{ij} \right) h_k, \quad \forall i \in N, k \in H.$$

$$\sum_{i \in N} x_{lj}^i \leq \left(\sum_{i \in N} w_{ij} \right) h_l, \quad \forall i, j \in N; l \in H.$$

Restricciones de flujo terminales:

$$\sum_{i \in N} y_{kl}^i \leq \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_{ij} \right) h_k, \quad \forall i, j \in N; l \in H.$$

$$\sum_{i \in N} y_{kl}^i \leq \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_{ij} \right) h_l, \quad \forall i, j \in N; l \in H.$$

Restricciones de capacidad del tren:

$$\frac{1}{\tau} \sum_{i \in N} y_{kl}^i \leq \sum_{r \in R} q_r v_{kl}^r, \quad \forall k, l \in H.$$

Por el número de trenes a usar:

$$\sum_{r \in R} v_{kl}^r \leq n_{kl}^{\max} h_k, \quad \forall k, l \in H.$$

$$\sum_{r \in R} v_{kl}^r \leq n_{kl}^{\max} h_l, \quad \forall k, l \in H.$$

$$\sum_{k \in H} \sum_{l \in H, l > k} v_{kl}^r \leq n_r^{\text{disp}}, \quad \forall r \in R.$$

El número de viajes tren por ruta nodo k es igual al sentido contrario:

$$v_{kl}^r = v_{lk}^r$$

Restricciones obvias:

$$x_{lj}^i, y_{kl}^i, z_{ik} \geq 0, \quad \forall i, j \in N; k, l \in H.$$

$$h_k \in \{0, 1\}, \quad \forall k \in N.$$

$$v_{kl}^r \in \mathbb{Z}^+, \quad \forall r \in R; k, l \in H.$$

Para la obtención de la frecuencia máxima de trenes por día según tramo-ruta a recorrer, se utilizará un modelo analítico, semejante al recomendado en la ficha UIC 405, propuesto por la American Asociación of Rail-roads (AAR) y citado por Eurolatina (2009):

$$n_{kl}^{\max} = \frac{a * T * k}{t_{kl} + t_{lk} + n_c t_c}$$

Donde:

a	Constante, para única línea es igual a 2.
T	Ventana de tiempo analizada en minutos
k	Factor de disponibilidad en tiempo vía de acuerdo a la ventana analizada
t_{kl}	Tiempo desplazamiento nodo k a l
t_{lk}	Tiempo desplazamiento nodo l a k
n_c	No. cruces dentro del sector analizado
t_c	Tiempo en minutos por cruce efectuado

Para los demás datos necesarios, se contará con la información del Capítulo 4. Caracterización Sistema De Transporte Férreo Red Pacifico Colombiano, literatura de costes de transporte, bases de datos del Ministerio de Transporte – Colombia y Google Maps ®.

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se prestó atención a cada uno de los detalles del modelo para obtener resultados confiables y sujetos a la realidad. A continuación, se aclarará el origen de los datos usados.

6.1. Origen y Cálculo de Parámetros

6.1.1. Parámetros únicos

Los parámetros p , α , τ son de valor de única constante; p parte de contar con tres (3) terminales intermodales en el sistema estudiado (Buenaventura, Yumbo y La Tebaida); α es tomado de la literatura de Anif (2014), la relación costo transporte férreo-vial es de 84.78%, se ve reflejado por menor consumo de combustible (relación 2.5) y mayor uso de capacidad de carga; y τ incorpora los días promedios por año de operación, se tomó 360 días.

6.1.2. Parámetros q_r y n_r^{disp}

Para su definición se requirió establecer los trenes tipo dadas las condiciones del sistema evaluado (Capítulo 4.); se analizó la cantidad máxima de vehículos de acuerdo a capacidad de líneas de cruce, capacidad promedio de arrastre de locomotoras, capacidad utilizada de los vagones, número total de vagones y locomotoras disponibles para operación, y el trazado y topografía de la vía. Se precisó que tren tipo R22, U12 y U18 sería tren múltiple⁵ y U10 sencillo; la tonelada promedio por capacidad de vagón sería de 32.5 (lo cual representa un uso del 81.25% de la capacidad de cargue de los vehículos). Para encontrar el número de vagones ideal por tren tipo se utilizó la opción buscar objetivo de Microsoft Excel® redondeando al número entero más cercano.

De acuerdo a las características de los equipos férreos disponibles se supondrá que el transporte de carga será tipo suelta y contenedorizada.

El estándar del largo de trenes convencionales se encuentra entre 450 y 750 metros (Janic, 2008), sin embargo, las condiciones del pacífico dan para trenes de longitud de 290 metros máximo.

En conclusión, se contará con seis (6) servicios disponibles diariamente, cuatro (4) tipos de tren; el resto de locomotoras U10 disponibles forma parte de actividades en patios de terminal intermodal y trenes de trabajo.

⁵ Constituye de dos locomotoras acopladas traccionando juntas, esto duplica la capacidad de arrastre.

Tabla 15 – Cantidad y Capacidad Neta de Trenes Tipo

Tren Tipo	No. vagones	Cap. Arrastre Bruta	Peso Bruto Veh.	Cap. Neta Tren	Largo Tren mts
R22	20	900	250.00	650.00	288.00
R22	20	900	250.00	650.00	288.00
U18	16	720	200.00	520.00	238.00
U12	11	520	137.50	382.50	175.50
U12	11	520	137.50	382.50	175.50
U10	4	160	50.00	110.00	88.00

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Parámetros Matrices $n \times n$

Esta dado por los parámetros w_{ij} , d_{ij} , c_{ij} , η_{ij} y $n_{kl}^{\max}$. El parámetro w_{ij} representa la generación y atracción de carga; se obtuvo a través de la base de datos del Registro Nacional Despacho de Carga – RNDC del Ministerio de Transporte⁶. La matriz generación – atracción de carga para el Valle del Cauca Año 2019 presenta demanda asimétrica, y los nodos generan demanda para sí mismos, presenta a nivel nacional una relación de 734x1154, es decir 734 orígenes y 1154 destinos, para un total de 34,292,127.575 toneladas, siendo en generación de carga 25,784,875.360 y atracción de carga de 8,507,252.215. Para el modelo, se simplificó a una matriz de 32X32 con los nodos más importantes de generación y atracción de carga, los cuales representan el 69.04% del total, estos treinta y dos (32) nodos incluyen diez (10) con acceso a vía férrea, y un total de doce (12) ubicados en el Valle del Cauca (Anexo 10.2).

El parámetro d_{ij} fue computado con la base de datos Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga – SICETAC – del Ministerio de Transporte Colombiano⁷, y Google Maps ® para los que no se encontraban en el aplicativo. Se consideraron distancias simétricas, estas distancias no son euclidianas, por ende, no satisfacen la desigualdad del triángulo en la matriz de distancias, en general. Ver Anexo 10.3.

El parámetro c_{ij} se tomó del simulador SICETAC para las rutas disponibles en el aplicativo, para las que no, se usó el promedio de los consultados. Se consideraron costos simétricos (Anexo 10.4).

Para determinar el parámetro η_{ij} se construyó la matriz distancias modo férreo (Anexo 10.5), tomando cero (0) para aquellos nodos que no tienen acceso a vía

⁶ <https://rndc.mintransporte.gov.co/MenuPrincipal/tabid/204/language/es-MX/Default.aspx?returnurl=%2F>

⁷ <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>

férrea, las distancias son simétricas. η_{ij} es la matriz de diferencias entre las distancias modo vial y férreo (Anexo 10.6).

El ultimo parámetro definido $n_{kl}^{\max}$ como la frecuencia diaria de trenes entre nodos kl. Se cálculo para los diez (10) nodos que tienen conexión vía férrea y para tres (3) nodos adicionales que por su generación y atracción de carga podría evaluarse la construcción y conexión. Las variables utilizadas en el método analítico AAR fueron velocidad, distancia y número de cruces posibles. En velocidad, lo convencional es un rango de 40-50 km/hora para recorridos de 300 a 600 km, de acuerdo a estándar UIC de frenado (Janic, 2008), la red pacífica cuenta con un rango de 15-25 km/hora promedio para recorridos de 343 km, se calcula en base al promedio del instructivo de velocidades entre los nodos propuestos, para los que no cuentan con acceso férreo se coloca el promedio del sector Buenaventura-La Tebaida (Anexo10.7). La cantidad de cruces se determinó por número de km recorridos según análisis de tramos principales Buenaventura-Yumbo y Yumbo-la Tebaida así: 0 cruces hasta 76 km de recorrido, 1 cruce entre 77 y 124 km, 2 cruces entre 125 y 194 km, 3 cruces entre 195 km y 262km, y 4 cruces para recorridos entre 263 y 343 km; con un tiempo por cruce de 15 minutos. Por último, se tuvo en cuenta un Factor de disponibilidad de 83.33%, los resultados se muestran en el Anexo 10.8.

6.2. Resultados

6.2.1. Optimo del Modelo Intermodal Propuesto

El modelo se formó de 20,849 variables (13 binarias, 676 enteras y 20,160 lineales) y 3,830 restricciones, dando como función objetivo un costo mínimo de 1,157,695,633,000.00 COP (1.16 billones) anual de transporte intermodal. Los resultados son interesantes ya que la solución óptima no incluye dos de las terminales intermodales actuales, toma a Cali y Guadalajara de Buga, y confirma La Tebaida como terminal intermodal, esta es la que más atrae carga entre las demás terminales debido al ser la puerta de entrada al interior del país, seguido de la terminal de Cali, en generación, el primer lugar es para Buga, seguido de La tebaida según muestra la Tabla 16.

Tabla 16 - Optimo Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas

	LA TEBAIDA ARMENIA	CALI	BUGA	
	1	5	15	Totales
1	0.00	303,626.94	281,902.93	585,529.87
5	208,788.19	0.00	39,600.00	248,388.19
15	558,900.00	32,899.34	0.00	591,799.34
Totales	767,688.19	336,526.27	321,502.93	1,425,717.40

Fuente: Elaboración propia

Son 1,425,717.40 toneladas anuales que se estaría moviendo por modo férreo. Para cumplir con esta estimación la terminal intermodal de La Tebaida debe ampliar su capacidad férrea, ya que solo cuenta con capacidad de línea de 11 vagones por tren y el modelo considera que el tren tipo R22, U12 y U18 tiene este destino; adicional, las terminales de Cali y Buga deben de estar adaptadas para pasar a ser terminales intermodales. Todos los trenes tipo son utilizados (Tabla 17).

Tabla 17 - Tren tipo utilizado por ruta

	LA TEBAIDA ARMENIA	CALI	BUGA
	1	5	15
1	-	R22, U12	R22, U12, U18
5	R22, U12	-	U10
15	R22, U12, U18	U10	-

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Optimo Adaptado a las Terminales Actuales

Se adicionaron tres restricciones adicionales con el objeto de que sean seleccionadas las terminales intermodales de Buenaventura, Yumbo y La Tebaida, originando el aumento del costo mínimo de transporte intermodal anual, comparado con el escenario anterior, a 1,176,271,237,000.00 COP (1.18 billones), un incremento de 18,575 millones de pesos debido a las distancia recorridas no optimas por el trazado entre Buenaventura y Yumbo, y la terminal de La tebaida pero movilizand 160,082.60 toneladas más en el año. Los resultados de la demanda son simétricos, lo cual en la práctica seria poco probable. Solo se utiliza cuatro (4) trenes tipo, subutilizando el U12 y U10 (Tabla 19). También requiere de la ampliación de la capacidad de línea de la terminal de La Tebaida. Yumbo es la que más genera y atrae carga entre las demás terminales, seguido por Buenaventura según muestra la Tabla 18.

Tabla 18 – Optimo condiciones actuales: Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas

	LA TEBAIDA ARMENIA	BUENAVENTURA	YUMBO	
	1	4	31	Totales
1	0.00	0.00	324,900.00	324,900.00
4	0.00	0.00	468,000.00	468,000.00
31	324,900.00	468,000.00	0.00	792,900.00
Totales	324,900.00	468,000.00	792,900.00	1,585,800.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 – Optimo condiciones actuales tren tipo utilizado por ruta

	LA TEBAIDA ARMENIA	BUENAVENTURA	YUMBO
	1	4	31
1	-	-	U12, U18
4	-	-	R22, R22
31	U12, U18	R22, R22	-

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Optimo Considerando Solo Modo Férreo

En este escenario se excluye el modo vial y se analiza solo el flujo que puede haber entre las terminales actuales. Para tal fin, el modelo es reducido a 102 variables (3 binarias, 36 enteras y 63 lineales) y 125 restricciones. Se consideró demanda origen – destino infinita, con el fin de determinar la capacidad total de la red férrea del pacifico colombiano en las condiciones actuales, obteniendo un tope de 1,861,200.00 toneladas anuales y un costo anual de transporte férreo de 182,188,088,600.00 COP (0.18 billones); este escenario no utiliza el tren tipo U10 (Tabla 21) y es la terminal de Yumbo la que más genera y atrae carga entre las demás terminales (Tabla 20), los resultados son simétricos.

Tabla 20 – Optimo actual Solo Modo Férreo : Carga movilizada por terminal origen-destino mediante el modo férreo – en toneladas

	LA TEBAIDA ARMENIA	BUENAVENTURA	YUMBO	
	1	4	31	Totales
1		234,000.04	421,199.93	655,199.96
4	234,000.04		275,400.04	509,400.07
31	421,199.93	275,400.04		696,599.96
Totales	655,199.96	509,400.07	696,599.96	1,861,200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21- Optimo actual Solo Modo férreo: Tren tipo utilizado por ruta

	LA TEBAIDA ARMENIA	BUENAVENTURA	YUMBO
	1	4	31
1	-	R22	R22, U18
4	R22	-	U12, U12
31	R22, U18	U12, U12	-

Fuente: Elaboración propia

6.3. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad se basó en el óptimo del modelo Intermodal propuesto en el apartado 6.2.1, ya que este analiza como un todo el sistema de transporte. Se

variaron los parámetros p , α , q_r y n_r^{disp} , los demás parámetros no se tuvieron en cuenta para el análisis de sensibilidad, dado que son valores puestos por el mercado y las condiciones geográficas, a excepción de τ y n_{kl}^{max} . Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 22 – Análisis sensibilidad parámetro p

No. Terminales	Toneladas movidas	Costo Total	Terminales	Trenes tipo utilizados
1	0.0	1,175,259,276,000.0	Buga	Ninguno
2	1,064,234.5	1,162,617,340,000.0	La Tebaida, Buga	No utiliza U18, U10
3	1,425,717.4	1,157,695,633,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
4	1,572,197.8	1,154,619,766,000.0	La Tebaida, Buga, Cali, Cartago	Todos
5	1,598,824.2	1,152,965,710,000.0	La Tebaida, Buga, Cali, Cartago, Yotoco	Todos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 - Análisis sensibilidad parámetro α

Factor de descuento	Toneladas movidas	Costo Total	Terminales	Trenes tipo utilizados
65.00%	1,940,400.0	1,150,362,514,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
70.00%	1,933,699.3	1,152,481,812,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
84.78%	1,425,717.4	1,157,695,633,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
90.00%	1,242,481.8	1,159,214,396,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
95.00%	1,237,761.8	1,160,582,276,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos

Fuente: Elaboración propia

La tabla 22 enseña que el aumento del parámetro p , beneficia las toneladas movidas por el modo férreo y minimiza el costo total. Un menor número de terminales disminuye el flujo de carga y el uso de los trenes.

La variación del factor de descuento α permite el uso de todos los trenes disponibles y un significativo aumento en la carga movilizada por modo férreo y disminución del costo total como lo muestra la Tabla 23.

Tabla 24- Análisis sensibilidad parámetro q_r

Variación Capacidad trenes tipo	Toneladas movidas	Costo Total	Terminales	Trenes tipo utilizados
50.00%	970,200.0	1,158,665,079,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
75.00%	1,249,402.6	1,157,843,634,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
100.00%	1,425,717.4	1,157,695,633,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
125.00%	1,474,095.7	1,157,680,983,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
150.00%	1,477,748.3	1,157,679,087,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 – Análisis sensibilidad parámetro n_r^{disp}

No. Trenes disponibles	Toneladas movidas	Costo Total	Terminales	Trenes tipo utilizados
2	842,400.0	1,159,029,485,000.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
4	9	1,175,726.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
6	4	1,425,717.0	La Tebaida, Buga, Cali	Todos
8	3	1,477,748.0	La Tebaida, Buga, Cali	No se utiliza 1, U10
10	3	1,477,748.0	La Tebaida, Buga, Cali	No se utiliza 3, 2U10 y R22

Fuente: Elaboración propia

El modelo intermodal propuesto tiene su límite en movilización de carga en las 1,477,748. 3 toneladas anuales y el uso de siete (7) trenes tipo de mayor capacidad (Tabla 24 y 25), no obstante, la disminución del factor de descuento atrae más carga a movilizar por el modo férreo.

En conclusión, la capacidad en toneladas está dada por la capacidad y numero de trenes tipo y lo atractivo en costo del transporte férreo, y la localización de las terminales está dada por la cantidad de carga origen destino de los nodos analizados, su distancia y costo de transporte; no sufre afectación por otro parámetro.

7. CONCLUSIONES

Los modelos teóricos se pueden adaptar a situaciones reales y esto los hace únicos. Esta adaptación presentó una capacidad de transporte férrea anual entre 1,425,717.40 y 1,861,200.00 toneladas, resultados muy acordes con las estimaciones del concesionario y de expertos ferroviarios. No obstante, de acuerdo a las consideraciones de decisiones de localización propuestas para el aprovechamiento de la capacidad férrea, es de singular importancia prestar atención a los terminales sugeridas como óptimo, especialmente a Buga. En las condiciones actuales el óptimo estaría dado por el mayor flujo de carga entre las terminales de Yumbo y La Tebaida, y no como se ha usado entre las terminales de Buenaventura y Yumbo. En orden de relevancia estaría Yumbo, La Tebaida y por último Buenaventura. Yumbo y Buenaventura presenta desventaja en las distancias férreas con los nodos del interior del país, ya que su trazado no tiene conexión directa, sino está ligado a pasar por los nodos previos de la sección Cali-Buga, esto lleva a que de Buenaventura a La Tebaida se recorran 343km, 134 km adicionales comparado con las distancias viales, razón por la cual no son terminales atractivas para el modelo intermodal utilizado. Una solución a esta coyunda es la planteada por la ANI (2016) y replicada en diferentes medios de comunicación del país, en realizar a corto plazo conexión férrea Yumbo – Vijes – El Cerrito y a largo plazo Loboguerrero – Vijes – El Cerrito.

La cantidad de trenes y sus tipos son casi suficientes para satisfacer la demanda del modo férreo, optimizando el sistema de transporte intermodal relacionada con el Valle del Cauca. Los resultados confirman que el uso de trenes de mayor capacidad es recomendado para largos recorridos y los de menor capacidad para recorridos cortos, el tren tipo U10 solo debería ser usado para entrega de carga en apartaderos, trenes de trabajo, y maniobras en estación, por su baja capacidad de arrastre. El concesionario debe establecer metas para obtener un factor de descuento inferior al citado por Anif (2014), de esta manera estaría atrayendo más carga para movilizar de acuerdo a su capacidad total. Es necesario un aumento en la capacidad de línea de la terminal de La Tebaida, ya que solo tiene capacidad para un tren de 11 vagones, esto incluye la longitud de línea y el número de líneas.

A pesar de contar con un tipo de trocha angosta y un sistema montañoso con condiciones de trazado de vía restrictivas, el sistema férreo de la red pacífica cuanta con una gran capacidad de carga, que permite la disminución de los costos interno de transporte del país. Para poder contar con los índices de demanda calculados, el sector férreo debe estar soportado con un buen nivel de servicio que ofrezca regularidad, confiabilidad y continuidad; sin ello se continuará con el débil aprovechamiento de sus ventajas.

8. RECOMENDACIONES

Se debe evaluar la adaptación de las estaciones de paso de Cali y Buga a terminales intermodales, verificando que la inversión de su infraestructura presente una relación costo beneficio con la disminución del costo total de transporte intermodal y aumento del margen de utilidad del concesionario en un periodo de tiempo razonable; igualmente en la rehabilitación de la vía férrea en el tramo Zarzal-Cartago, la conexión con el municipio de Yotoco, y el aumento de capacidad de la terminal La Tebaida, según análisis de sensibilidad.

Mejorar las condiciones de infraestructura de la vía, esto ayudará a tener una velocidad promedio mayor, y mayor capacidad de transporte por el aumento de frecuencias.

Utilizar los resultados del presente proyecto como insumo para la elaboración del plan de transporte férreo de la red pacífica colombiana.

Mejorar el modelo propuesto con algoritmos de ruteo, costos globales por modo de transporte, como también profundizar sobre la programación horaria de los trenes para evitar saturación de las líneas; a su vez permitirá verificar la evaluación de problemas de conectividad del modelo propuesto.

Continuar el proyecto de determinación de la capacidad de carga de la red férrea del pacífico colombiano utilizando software de simulación como Tranus, Flexsim, Arena o Simul8, así de esta manera, se estará completando el conjunto de los métodos para determinar la capacidad, según literatura revisada, y generando certeza de las capacidades propias de la red, para una adecuada explotación.

Mayor integración entre la academia y el sector transporte férreo, para la documentación de los conocimientos empíricos aprendidos y transmitidos, solución de problemas propios del sector, y enriquecimiento de ambas partes.

9. BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, M.; BARBER, F.; INGOLOTTI, L.: SALIDO M.A.; TORMOS, P. y LOVA, A. An assessment of railway capacity. En: *Transportation Research Part E*, 44, 2008. p. 774-806.

ALUMUR, Sibel y KARA, Bahar Y. Network hub location problems: The state of the art. *European Journal of Operational Research* 190 (2008) 1–21 p.

ANIF. Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia. Elaborado por Anif para la Cámara Colombiana de la Infraestructura. Bogotá: ANIF, 2014. 192 p.

BACHOK, S.; OSMAN, M. M., KHALID, U. A. y ZAINALDIN, M. F. The application of regression analysis on users' tolerance to prolonged waiting times: the case of KTM Komuter Services of Malaysia. En: Brebbia, et al. (eds.), *Computers in Railways XIII*, Vol. 127. 2012. p. 299-310.

BARBERO, José A. La logística de cargas en América Latina y el Caribe: una agenda para mejorar su desempeño. Banco Interamericano de Desarrollo – BID, Notas Técnicas No. IDB-TN-103, 2010. 68 p.

BOYSEN, H. E. General model of railway transportation capacity. En: Brebbia, et al. (eds.), *Computers in Railways XIII*, Vol. 127. 2012. p. 335-347

CADENA MORA, Camilo Andrés y SILVA DIAZ, Cristyan Jesús. Determinación de la capacidad ferroviaria del corredor Facatativá – Bogotá con sus características físicas actuales. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bogotá, D.C.: Universidad Católica De Colombia. Facultad De Ingeniería. Programa De Ingeniería Civil, 2016. 71 p.

CHEN, Xueyu; RAO, Krishnaraj S.; YU, Jufang y PIKE, Ralph W. Comparison of GAMS, AMPL, and MINOS for optimization. En: *Chemical Engineering Education*, Summer 1996, p. 220-227

CONCESIONARIO Contrato No. 09-CONP-98. Plan de regularización de pasos a nivel tramo Buenaventura PK 0003+600 hasta Buga Pk238+000, 2015. 49 p.

CONSORCIO TRENES PACIFICO. 2017. Informe Mensual de Interventoría N° 14, julio 01 a julio 31 de 2017. Pp 97-98

DE LA BARRA, Tomás. Programas Tranus. Tranus-Modelística. 2008, p. 55

_____. Descripción General. Tranus-Modelística. 2011, p. 36

- DE LA BARRA, Tomás. Formulación Matemática. Tranus-Modelistica. 2012, p. 52
- _____. TUS: Interfaz gráfica y base de datos. Tranus-Modelistica. 2012, p. 79
- _____. Guía de Aplicaciones. Tranus-Modelistica. 2014, p. 42
- _____. Tutorial: Ejemplos de aplicación paso a paso. Tranus-Modelistica. 2014, p. 67
- _____. Modelación integrada de usos del suelo y transporte: Cadenas de decisión y jerarquías (Tomás de la Barra, trad.). Instituto de Urbanismo, Universidad Central de Venezuela; 2014 (Obra original publicada en 1989), 186 p
- DE LA BARRA, Tomás; FRANCO, Héctor y RAMOS, Ricardo. El Modelo de Chile: Insumo-Producto y Asignación Multimodal de Carga y Pasajeros. En: Ingeniería De Transporte Vol. 16, N° 02:2 2012, p. 23-33
- DONCEL GONZÁLEZ, Catalina y Mónica Lorena Torres Vivas. «Comparación del desempeño de los simuladores ARENA® y PROMODEL® en un modelo de producción.» Information Technology Track 26 (2005): 1-7.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M.. Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub median problem. European Journal of Operational Research 104, 1998a, 100–112.
- EUROLATINA, Consultores Ltda. Estudio capacidad del corredor ferroviario Buenaventura – Zarzal – La Tebaida. 2009.
- FERROVIAS. Reglamento movilización de trenes. Ministerio de Transporte – Colombia. 188 p.
- _____. Contrato de concesión de la red pacífica. Ministerio de Transporte – Colombia, 1998. 80 p.
- _____. Volumen de anexos y proformas. Contrato de concesión de la red pacífica. Ministerio de Transporte – Colombia, 1998. 160 p.
- FOURER, Robert; GAY, David M.; y KERNIGHAN, Brian W. AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming. Segunda Edición, 2003. 517p.
- FROST, M.W.; ISON, S.G. and WATSON, R., 2012. UK rail transport: a review of demand and supply. Proceedings of the ICE - Transport, 165 (3), pp. 225 - 234

FUENTEALBA ALVARADO, Gonzalo. Estudio de la aplicabilidad de TRANUS a la asignación de redes de transporte. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Concepción, Chile: Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ingeniería. Departamento Ingeniería Civil, 2009. 152 p.

GAY, David M. The AMPL Modeling Language — an Aid to Formulating and Solving Optimization Problems. 2014. p. 22

GUASCH, Antoni; FIGUERAS, Jaume y FONSECA, Pau. Factory Railway System. En: Y. Merkuyev et al. (eds.), Simulation-Based Case Studies in Logistics pp1-18. Springer 2009

GUERRA Rincón, Fernando. «Macondo tuvo tren: sin ferrocarriles no hay desarrollo.» La palabra: Periódico cultural de la Universidad del Valle Diciembre de 2017: 20.

INCOPLAN. Estudio técnico sectorial: Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puerto. Ministerio de Minas y Energía – Colombia, 2010. 186 p.

INSTITUTO DEL TRANSPORTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN. Planeamiento Estratégico del Transporte: la Experiencia Internacional. Argentina: Ministerio, 2015. 314 p.

INVENSYS RAIL GROUP - IRG. Transport Capacity Research Paper: A comparison of the costs of different methods of increasing capacity in road & rail environments. Reino Unido. 2007. 32 p

JANIC, Milan. An assessment of the performance of the European long intermodal freight trains (LIFTS).En: Transportation Research Part A 42, 2008. 1326–1339 p.

KOHON, Jorge. Más y mejores trenes: Cambiando la matriz de transporte en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo – BID, Nota Técnica No. IDB-TN-303, 2011. 117 p.

KOHON, Jorge; CHAMPIN, Jorge; RODRIGUEZ, Manuel y CORTES, Rene. Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia. Colombia: BID, 2016; 130 p.

KONTELJ, Monika e Igor Jakomin. «Transport Modelling of Freight Flows in Accordance with Investments: Case Study of Slovenian Railways.» Promet – Traffic&Transportation 26.5 (2014): 429-436.

LANG CAMARGO, Karina Gineth. Localización Óptima De Terminales Logísticas Multimodales En Ambientes Competitivos: Un Enfoque P-Hub. Trabajo de grado

Magister En Ingeniería Civil, Énfasis: Ingeniería De Transporte. Barranquilla, Colombia: Universidad Del Norte. División De Ingeniería, Departamento De Ingeniería Civil Y Ambiental, 2018. 69 p.

LEGISCOMEX. Infraestructura Logística en Chile y sus Perspectivas. Chile: LEGISCOMEX, 2013. 23 p.

LIBRA. Análisis del transporte ferroviario de carga. Elaborado por Libra para la Subsecretaria de Transportes. Chile: Ministerio, 2011. 274 p.

LINDFELDT, Anders. Railway capacity analysis: Methods for simulation and evaluation of timetables, delays and infrastructure. Doctoral Thesis in Infrastructure. Estocolmo: KTH Royal Institute of Technology. School of Architecture and the Built Environment. Department of Transport Science, 2015. 67 p.

LÓPEZ, Patricia. Modelación de los principios de sustentabilidad en TRANUS. Estudio de la porción oriental de León, Guanajuato. En: Montejano & Caudillo (eds.), Densidad, Diversidad y Policentrismo: ¿planeando ciudades más sustentables?, 2017. p. 215-256

MÁRQUEZ, Luis. El ferrocarril colombiano: 4 temas recurrentes en la literatura. En: Estudios Gerenciales 33, (2017) 187–194 p.

MEDINA RAMIREZ, Salvador. El transporte ferroviario en México. En: Comercio Exterior, Vol. 63, Núm. 4. 2013. p. 7-13

MEROLA CH., Carmine. Uso de modelos de simulación de transporte TRANUS para evaluar la factibilidad de un aeropuerto. Trabajo de grado Especialización en Planificación del Transporte. Caracas: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Instituto de Urbanismo, 2012. 48 p.

MINTRANSPORTE. Manual De Normatividad Férrea Parte II: Definición De Aspectos Técnicos De Mantenimiento Y Seguridad Ferroviaria. Ministerio de Transporte - Colombia, 2013. 215 p.

_____. Plan Maestro de Transporte Intermodal – PMTI: Una política de estado para hacer de Colombia un país más competitivo. Ministerio de Transporte - Colombia, 2015. 92 p.

_____. PMTI: Documentos de apoyo técnico. Ministerio de Transporte - Colombia, 2015. 243 p.

NOMBELA, Gustavo. Modelos de capacidad de infraestructuras de transporte. España: CEDEX, 2009. 80 p.

PESÁNTEZ JIMÉNEZ, Jhon Fernando. Optimización del rendimiento y costos de Operación para el corredor arterial del sistema integrado de transportación urbana en la ciudad de Loja (SITU). Trabajo de grado Ingeniería Civil. Loja, Ecuador: Universidad Técnica particular de Loja. Escuela de Ingeniería Civil, 2010. 114 p.

PÓLVORA FIALHO, João Pedro. Simulation for Railway Capacity Determination: An incremental capacity approach on the case study of the insertion of the Lisbon – Madrid High-Speed corridor on the Portuguese railway network. Tesis of Master of Science Degree In Complex Transport Infrastructure Systems. Lisboa: Técnico Lisboa, 2013. 75 p.

ROTOLI, Francesco; NAVAJAS CAWOOD, Elena y SORIA, Antonio. Capacity assessment of railway infrastructure: Tools, methodologies and policy relevance in the EU context. España: Comisión Europea, 2016. 59 p.

SANTOS, Bruno F.; LIMBOURG, Sabine y CARREIRA, Joana S. The impact of transport policies on railroad intermodal freight competitiveness – The case of Belgium. En: Transportation Research Part D 34, 2015. 230–244 p.

SECTRA. Análisis modelación de transporte plan maestro de infraestructura. Chile. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2017. 620 p.

SENA. Caracterización ocupacional: El transporte férreo. Ministerio de la Protección Social – Colombia, 2006. 120 p.

SIMÓN MARMOLEJO, Isaías, et al. «La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido.» Científica 17.1 (2013): 39-49. <www.redalyc.org/articulo.oa?id=61428315005>.

SINGHANIA, Vatsal Rakesh y MARINOV, Marin. An Event-based Simulation Model for Analysing the Utilization Levels of a Railway Line in Urban Area. En: Promet – Traffic&Transportation, Vol. 29, No. 5, 2017, pp 521-528

SKM COLIN BUCHANAN. Assessment of capacity allocation and utilisation on capacity constrained parts of the GB rail network. Londres – Inglaterra: Sinclair Knight Merz Agosto 2012. 98 p

SUGAR. Case 5 Urban rail logistics: Monoprix, Paris (France). En: City Logistics Best Practices: a handbook for Authorities. Italia: SUGAR, 2011. p. 41-45

UIC. UIC 406 R Code Capacity. 1st edition. Paris – Francia: UIC, 2004. 21 p.

VALENTINOVIC, Larisa y SIVILEVICIUS, Henrikas. Railway line capacity methods analysis and their application in “Lithuanian Railways” justification. En: The 9th

International Conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”, 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania. 10 p.

VICHIENSAN, Varameth; ROYCHANSYAH, Muhammad Sani; MIYAMOTO, Kazuaki y TOKUNAGA, Yoshiyuki. Evaluation system of policy measure alternatives for a metropolis based on tranus from the view point of sustainability. En: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 2005, pp. 3803 – 3818.

WEIBEZAHN, Jens y KENDZIORSKI, Mario. Illustrating the Benefits of Openness: A Large-Scale Spatial Economic Dispatch Model Using the Julia Language. *Energies* 2019, 12, 1153, p 1-21

WILMSMEIER, Gordon y SPENGLER, Thomas. La evolución de la distribución modal del transporte de mercancías en América del Sur entre 2000 y 2013. En: Cepal (ed.), Boletín Fal, edición No 343, número 7 de 2015. 12 p.

WORLD BANK. (2018). Connecting to compete 2018: Trade logistics in the global economy. World Bank. Retrieved from <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/576061531492034646/pdf/128355-WP-P164390-PUBLIC-LPIfullreportwithcover.pdf>

WORONIUK, Clare y MARINOV, Marin. Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route. En: Journal of Transport Literature, Manaus,. Vol. 7, n. 2, 2013, pp. 235-252.

ZAMORANO LABBÉ, Matías Ignacio. Simulación de una red logística específica de la región del Biobío. Trabajo de grado Ingeniería Civil Industrial. Concepción, Chile: Universidad Católica De La Santísima Concepción. Facultad De Ingeniería, 2015. 78 p.

10.ANEXO

10.1. CAPITULO 1 – DEFINICIONES – REGLAMENTO MOVILIZACIÓN DE TRENES. FERROVÍAS⁸

1. Definiciones.

Para unificar criterios, se definen en este capítulo algunos términos relacionados con los aspectos físicos, de personal y técnicos de la operación de trenes.

1 .1 Aspectos Físicos.

1 .1 .1 Línea principal.

La línea principal es la carrilera que une las estaciones.

En las estaciones, la línea principal es aquella por la cual se pasa sin hacer desvío en los cambiavías.

Si la principal es una línea intermedia, la línea segunda será aquella que, junto con la principal, se emplea usualmente para cruzar los trenes.

1 .1 .1.1 Abscisado de la línea principal.

El abscisado de la línea principal es el sistema que permite identificar la localización de cada sitio de ella.

El abscisado de la línea principal está constituido por los postes o hitos que indican los kilómetros y por los postes numerados de la línea telefónica.

Los postes telefónicos de cada kilómetro están numerados en orden, partiendo del número que es el que sigue al poste kilométrico de número inferior. Cada poste telefónico lleva marcado el número del kilómetro y su número de orden.

Para todos los informes relacionados con la movilización de trenes, el sitio se indica citando los números de los dos postes telefónicos entre los cuales se encuentra.

El poste telefónico se designa siempre así:

Kilómetro tal, poste tal

1.1 .2 Cantón.

Se llama cantón al trayecto de la línea principal comprendido entre el cambiavías de salida de una estación y el cambiavías de entrada a la siguiente.

1.1.3 Patio.

⁸ Capítulo 1 tomado de FERROVIAS. Reglamento movilización de trenes. Ministerio de Transporte-Colombia. 8-16 p. Para definiciones más técnicas ver: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual De Normatividad Férrea Parte II: Definición De Aspectos Técnicos De Mantenimiento Y Seguridad Ferroviaria, 2013. 80-115 p.

Se llama patio al conjunto de líneas férreas comprendido entre el cambiavías de entrada a una estación y el cambiavías de salida de la misma.

1.1 .3.1 Límites de patio.

Son señales que indican el trayecto en el cual pueden moverse los vehículos férreos que maniobran en una estación sin que haya necesidad de autorización para ocupar los cantones adyacente a dicha estación.

1 .1 .4 Estación.

Desde el aspecto de la movilización de trenes, la estación es el conjunto de vías férreas e instalaciones situadas entre dos cantones y donde se forman o fraccionan los trenes y éstos pueden cruzar, estacionarse y tomar o dejar vehículos.

1.1.4.1 Estación abierta.

Estación abierta es aquella que está atendida por un empleado que se encarga de la expedición de las órdenes de vía, de las maniobras y de los demás aspectos de la movilización de trenes.

Una estación puede estar abierta permanente o intermitentemente.

1.1.4.2 Estación cerrada.

Es aquella donde no hay empleado que preste los servicios de órdenes de vía, maniobras y todos los demás aspectos relacionados con la movilización de trenes. Una estación puede estar cerrada permanente o intermitentemente.

1.1.4.3 Estaciones colaterales o adyacentes.

Son estaciones colaterales (adyacentes) de una estación, las dos estaciones abiertas inmediatamente siguientes a ella hacia ambos lados.

1 .1 .5 Apartadero.

Es una línea, por lo general de una sola entrada, distinta de las líneas de la estación, y que sirve a una instalación particular o a una instalación especial de **FERROVIAS**.

1.1.5.1 En Estación.

El apartadero puede desprenderse de las líneas de una estación.

1.1.5.2 En la línea principal.

Es el apartadero que se desprende de la línea principal.

1.1.6 Tren.

Tren es el conjunto formado por vehículos férreos traccionados por una 0\más locomotoras.

Los trenes comerciales pertenecen y son operados por las Empresas Operadoras del Transporte Férreo y son de carga o de pasajeros.

Los trenes de servicio interno son de **FERROVIAS** y operados por la misma.

Para efectos de la aplicación de este Reglamento, las normas fijadas para los trenes se aplican también a los autoferros, a los carros-motores y a la maquinaria encarrilada autopropulsada, a menos de que exista indicación en contrario o norma específica para él los.

1.1.6.1 Trenes de Trabajo.

Los trenes de trabajo son los trenes al servicio interno de **FERROVIAS** y operados por la misma, en los cuales se transporta materiales para la conservación de la línea o procedentes del proceso de conservación.

1 .2 Personal.

1.2.1 Maquinista.

Maquinista es el operario que maneja una locomotora.

Los maquinistas de los trenes comerciales, pasajeros o carga, dependen de las Empresas Operadoras de Transporte Férreo.

Los maquinistas de los trenes de servicio interno dependen de **FERROVIAS**, directamente o a través de terceros.

1.2.2 Operador.

Es el ayudante del maquinista en el manejo de la locomotora. Al igual que los maquinistas, los operadores de los trenes comerciales dependen de las Empresas Operadoras del Transporte Férreo y los de los trenes de servicio interno, de **FERROVIAS**.

1.2.3 Auxiliares de Tren.

Son operarios que viajan en el tren y hacen parte integrante de su tripulación, no intervienen en el manejo de la locomotora, pero cumplen funciones relacionadas con la movilización de trenes.

(Manejo de los frenos y de las válvulas del freno de aire, enganches y desenganches, acoples y desacoples, señales, etc.).

Como en los casos anteriores, dependen de las Empresas Operadoras del Transporte Férreo o de **FERROVIAS** , según se trate de trenes comerciales o de servicio interno.

1.2.4 Motorista de autoferro.

Es el operario que conduce un autoferro, bien sea comercial o de servicio interno, y depende de una empresa Operadora del Transporte Férreo o de **FERROVIAS**, según el caso.

1.2.5 Motorista de carromotor.

Es el operario que conduce un carromotor.

1.2.6 Jefe de estación.

Es el funcionario que dirige todos los aspectos de la movilización de trenes en una estación.

Desempeña, además, otras funciones relacionadas con dicha movilización. (Ordenes de Vía, despacho de trenes, dirección de maniobras, relaciones con el CRRCTF).

Todos los jefes de estación dependen de **FERROVIAS**.

1.2.7 Otro personal de Estación.

De acuerdo con el movimiento de la estación, FERROVIAS puede dotarla de ayudantes del jefe de Estación, para que lo asistan en el desempeño de sus funciones.

1.2.7.1 Telefonista.

Es el empleado que, en las Estaciones de gran movimiento, a las órdenes del Jefe de Estación, atiende y transmite las instrucciones de los Profesionales del **CRRCTF**, comunica a dichos Profesionales las informaciones sobre recorrido de los trenes, y puede solicitar y autorizar Ordenes de Vía.

1.2.8 Conductor de tren de pasajeros.

Es el empleado de la Empresa Operadora de Transporte Férreo que viaja a bordo del tren y se encarga de todo lo relacionado con la atención a los pasajeros, el control de pasajes, el orden interno en los coches que forman el convoy, y autoriza el despacho de los trenes de pasajeros de las estaciones) de origen e intermedias, controlando que haya terminado el embarque y/o desembarque de viajeros.

1.2.9 Profesional del Centro Regional de Regulación y Control de Tráfico Férreo.

Es el funcionario del **CRRCTF** que, con base en los datos que le transmiten telefónicamente las estaciones sobre la marcha de los trenes, dirige y regula la movilización de dichos trenes y toma las medidas necesarias para garantizar su eficiencia y para restablecer la normalidad en dicha movilización en el caso de que se presenten circunstancias anormales.

El profesional del **CRRCTF** registra en gráficos y en cuadros la marcha de los trenes, para poder ejercer eficientemente sus funciones.

1.3 Aspectos Técnicos.

1.3.1 Centro Nacional de Regulación y Control de Tráfico Férreo. CNRCTF. El Centro Nacional de Regulación y Control de Tráfico Férreo, **CNRCTF**, es la dependencia de **FERROVIAS** que tiene el mando y la autoridad sobre todos los aspectos de la movilización de trenes en toda la red y a dicha autoridad están sujetos los Centros Regionales de Regulación y Control de Tráfico Férreo, **CNRCTF**.

El CNRCTF ejerce su autoridad a través de los Centros Regionales, atiende las consultas que éstos le formulan y toma las decisiones correspondiente, tanto en condiciones normales como en los casos de accidentes, interrupción de las líneas y toda otra circunstancia anormal.

El **CNRCTF** dirige y controla la movilización de los trenes interregionales, a través de los Centros Regionales.

1.3.2 Centro Regional de Regulación y Control del Tráfico Férreo. CRRCTF.

Es la dependencia de **FERROVIAS** que tiene el mando y la autoridad sobre todos los aspectos de la movilización de trenes en la red a su cargo ya dicha autoridad están sujetos los trenes en movimiento y/o en maniobras, las tripulaciones de dichos trenes y todos los Jefes de Estación de la red a su cargo y el personal auxiliar de estaciones.

El **CRRCTF** ejerce su autoridad a través de los Jefes de Estación, atiende las consultas que éstos le formulan y toman las decisiones correspondientes, tanto en la movilización normal como en los casos de accidente, interrupciones de las líneas y todas la situaciones anómalas.

El **CRRCTF**, dirige y controla, a través de los Jefes de Estación, la marcha de los trenes en las líneas a su cargo.

1.3.3 Señal.

Es un aparato, una instalación o un objeto que permite dar visual o sonoramente órdenes al personal que interviene en la movilización de trenes.

1.3.3.1 Señal Fija.

Es la que está instalada permanentemente en el mismo sitio.

1.3.3.2 Señal Móvil

Es la que se exhibe provisionalmente desde tierra en el sitio en que lo indiquen las normas reglamentarias.

1.3.3.3 Señal a Bordo.

Es la que se exhibe o se da sonoramente desde los vehículos férreos.

1.3.4 Equipo de Tracción.

Se llama equipo de tracción o equipo motor a las locomotoras que remolcan los trenes, a los locotractores de carrilera que se utilizan en las maniobras en las estaciones y a los trackmóviles.

1.3.5 Equipo Remolcado y su Clasificación.

Está constituido por los vehículos sin tracción propia que forman los trenes. El equipo remolcado para el transporte de pasajeros y sus pertenencias se denomina coches y el destinado al transporte de carga se conoce con el nombre genérico de carro.

Existen los siguientes tipos de carros.

Vagones: Son carros cerrados.

Plataformas: Son carros sin paredes laterales ni frontales.

Góndolas: Son carros con paredes laterales y frontales, pero sin techo.

Rejas: Son carros con techo y paredes en celosía, para el transporte de ganado y animales.

Carros-tanques: Son carros con depósitos para el transporte de líquidos a granel.

Tolvas: Son góndolas con dispositivos para descargar por debajo o a sus lados materiales a granel.

Tolvas Graneleras: Son tolvas con techo para transporte de materiales a granel.

Cunas: Son plataformas con su parte central deprimida para transporte de cargas especiales.

Góndolas de vuelco: Son góndolas con dispositivo para descargar, mediante vuelco del cajón, materiales a granel.

1.3.6 Equipo Autopropulsado.

Son las máquinas de carrilera para trabajos específicos, distintos de la tracción, que se mueven con su propio motor.

1.3.7 Troque.

Es el conjunto formado por un bastidor, los resortes y los ejes con sus ruedas sobre los cuales se coloca la carrocería de los vehículos férreos.

1.3.8 Freno de Aire.

Es la instalación, con mando en la locomotora, que se extiende a todo lo largo del tren y que permite frenar la locomotora y los carros mediante el escape del aire que en ella ha inyectado a presión el compresor de la locomotora.

El freno de aire puede accionarse también desde cualquier vehículo del tren, mediante dispositivos especiales

1.3.9 Llave angular.

Las llaves angulares son aquellas colocadas en los extremos del tubo del freno de cada vehículo y que permiten dar o cerrar el paso al aire.

1.3.9.1 Llave de incomunicar.

Es una llave o válvula que en cada carro o en cada coche abre o cierra la comunicación entre el tubo del freno y la válvula triple.

Esta llave aísla o conecta el equipo del freno del vehículo al tubo del freno.

1.3.10 Válvula de retención.

Es una válvula, conectada por tubería al orificio de escape de la válvula triple del vehículo, que tiene por objeto retener cierta presión en el cilindro del freno o retardar la disminución de esa presión, mientras se reabastece de aire el equipo.

1.3.11 . Válvula triple.

Es la válvula, instalada en cada carro, que carga, aplica y afloja los frenos automáticamente, al producirse cambios de presión en la tubería del freno.

1.3.12 Llave de Emergencia.

Es una llave conectada en cualquier carro a la instalación del freno del tren, y que produciendo escape de aire, aplica los frenos en emergencia.

1.3.13 Manguera de Acople.

Es la manguera con la cual se conecta la tubería de aire del freno entre dos vehículos férreos.

Tanto la locomotora, como todos los coches y carros, llevan una manguera de acople en cada extremo.

1.3.14. Manguera auxiliar

En casos especiales, la manguera de un vehículo férreo no alcanza a conectarse con la del siguiente y se requiere utilizar una manguera adicional que se conoce como manguera auxiliar.

1.3.15 Cilindro del freno.

Es un cilindro instalado en cada vehículo dentro del cual va un émbolo y su vástago conectado, a través del aparejo del freno del vehículo, con las zapatas de frenado, de modo que, cuando el émbolo es forzado hacia afuera por el aire a presión, aplica las zapatas contra las ruedas y, cuando el émbolo retrocede, se afloja la presión de las zapatas sobre las ruedas.

1.3.15.1 Depósito auxiliar.

Es el tanque de almacenamiento del aire del freno en cada vehículo férreo, aire que, al producirse una baja de presión en el tubo del freno, por intermedio de la válvula triple empuja el émbolo del cilindro del freno y acciona las zapatas.

1.3.16 Cabezote.

Es el aditamento que llevan en su extremo las mangueras de acople y que permite unirlos fácilmente.

1.3.17 Encarriladora.

Aparato que se coloca sobre los rieles y contra una rueda descarrilada, y que permite encarrilarla, traccionando o empujando el vehículo.

1.3.18 Pestaña de la rueda.

Es el reborde en la llanta de la rueda que, operando contra la parte interior de la cabeza del riel, permite girar la rueda sin que se descarrile.

1.3.19 Gálibo de libre paso.

Es la figura formada teniendo en cuenta todas las limitaciones de un trayecto de carrilera, tanto hacia los lados como hacia arriba.

Si la sección de un vehículo férreo, abierto y cargado, dibujada sobre el gálibo queda dentro de la figura, el vehículo puede recorrer libremente el trayecto, pero si toca o corta las líneas de la figura, tropieza con una limitación y no puede viajar por el trayecto.

El gálibo de libre paso puede reproducirse a escala natural sobre una carrilera para controlar el paso de los vehículos.

De acuerdo con el gálibo de libre paso, se indican dimensiones para que, al ser cargados los vehículos abiertos, no lo sobrepasen.

1.3.20 Cojinete.

Elemento constituido por una caja con rodillos, que va dentro de una cavidad especial del bastidor del troque, y en él cual se apoya la cabeza del eje. El cojinete cumple la función de soporte y de facilitar que el eje gire con rozamiento mínimo.

1.3.21 Tipos de locomotoras diésel- eléctricas.

El tipo de una locomotora diésel -eléctrica se conoce por el número de troques y el número de ejes de cada troqueo

El número de ejes del troque está dado por una letra, así:

B = Dos ejes por troqueo

C = Tres ejes por troqueo

El número de troques está dado por el número de letras, así:

Locomotora B -B : Tiene dos troques de dos ejes.

Locomotora C -C : Tiene dos troques de tres ejes.

Locomotora C -B -C : Tiene un troque de tres ejes, un troque de dos ejes y otro troque de tres ejes.

1.3.22 EOTF -Empresas Operadoras del Transporte Férreo.

Empresas que, con equipo de tracción y remolcado propio y tripulaciones a su cargo, movilizan trenes por líneas de **FERROVIAS**.

1.3.23 Teléfono Portátil o Ambulante.

Es un Teléfono que se lleva en los vehículos férreos y que mediante dispositivos especiales puede ser conectado a las líneas telefónicas de **FERROVIAS**, en cualquier punto, para establecer comunicación telefónica con las estaciones inmediatas o con el **CRRCTF**.

1.3.24 Tara.

Tara es el peso de un vehículo férreo vacío.

1.3.25 Equipo encarrilado.

Son las máquinas para los trabajos especiales que se mueven por la línea férrea, autopropulsadas o remolcadas.

1.3.26 Tabla de arrastre .

Es el documento que muestra la capacidad de arrastre de cada locomotora, en cada uno de los trayectos y en cada uno de los sentidos, a las velocidades establecidas.

10.2. MATRIZ ORIGEN DESTINO VALLE DEL CAUCA – PRINCIPALES NODOS (En miles de Toneladas)

Origen\Destino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total general
LA TEBADA ARMENIA	0	0	0	82	15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	21	0	130
BARRANQUILLA ATLANTICO	0	0	0	4	98	0	5	0	16	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	1	0	70	0	248
BOGOTA D. C.	0	0	0	254	388	0	4	0	10	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	4	0	118	0	811
BUENAVENTURA	128	39	1,702	2	1,233	154	335	8	294	0	95	2	430	2	1,420	130	133	12	135	364	306	125	722	97	266	35	0	164	291	344	1,055	17	10,044
CALI	31	106	408	194	0	20	15	43	24	0	18	3	33	0	53	21	34	24	54	162	34	14	94	90	79	59	0	36	38	0	74	40	1,801
CALOTO CAUCA	0	0	0	64	66	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	11	0	38	0	216
CANDELARIA	0	33	67	102	44	3	0	6	7	0	0	1	2	0	8	4	2	1	2	18	2	10	6	7	10	3	0	10	10	2	179	1	542
CARTAGENA BOLIVAR	0	0	0	4	148	0	3	0	11	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	2	5	82	0	307
CARTAGO	6	5	46	44	24	1	1	7	0	0	3	0	0	0	26	18	20	1	10	11	22	20	2	35	9	5	0	0	4	1	3	6	328
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	0	0	0	171	1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	51	0	235
DOSQUEBRADAS RISARALDA	0	0	0	26	27	0	2	0	9	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	3	74
EL CERRITO	1	9	26	74	14	1	7	2	0	0	1	0	0	0	14	1	2	0	1	6	0	1	20	0	3	0	0	12	2	0	228	0	424
FUNZA CUNDINAMARCA	0	0	0	39	110	0	2	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	11	0	20	0	195
GUACHETA CUNDINAMARCA	0	0	0	120	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	5	0	131	
GUADALAJARA DE BUGA	20	11	47	67	33	11	95	12	45	0	4	4	50	0	0	31	36	7	7	80	24	19	24	51	74	13	0	2	25	4	60	5	862
IBAGUE TOLIMA																																	
ITAGUI ANTIOQUIA																																	
JAMUNDI																																	
MANIZALES CALDAS																																	
MEDELLIN ANTIOQUIA																																	
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																	
NEIVA HUILA																																	
PALMIRA																																	
PASTO NARIÑO																																	
PEREIRA RISARALDA																																	
POPAYAN CAUCA																																	
TAUSA CUNDINAMARCA																																	
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																	
TULUA																																	
YOTOCO																																	
YUMBO																																	
ZARZAL																																	

OrigenDestino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total general
LA TEBADA ARMENIA																																	
BARRANQUILLA ATLANTICO																																	
BOGOTA D. C.																																	
BUENAVENTURA																																	
CALI																																	
CALOTO CAUCA																																	
CANDELARIA																																	
CARTAGENA BOLIVAR																																	
CARTAGO																																	
CUCUNUBA CUNDINAMARCA																																	
DOSQUEBRADAS RISARALDA																																	
EL CERRITO																																	
FUNZA CUNDINAMARCA																																	
GUACHETA CUNDINAMARCA																																	
GUADALAJARA DE BUGA																																	
IBAGUE TOLIMA																																	
ITAGUI ANTIOQUIA																																	
JAMUNDI																																	
MANIZALES CALDAS																																	
MEDELLIN ANTIOQUIA																																	
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																	
NEIVA HUILA																																	
PALMIRA																																	
PASTO NARIÑO																																	
PEREIRA RISARALDA																																	
POPAYAN CAUCA																																	
TAUSA CUNDINAMARCA																																	
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																	
TULUA																																	
YOTOCO																																	
YUMBO																																	
ZARZAL																																	
	296	401	2,844	2,881	3,530	278	550	150	591	0	200	32	601	3	1,708	320	339	95	359	970	416	298	1,229	556	688	277	0	366	548	362	2,668	121	23,676

10.3. MATRIZ DISTANCIAS – MODO VIAL(En Kilómetros)

OrigenDestino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA	0	968	292	228	170	224	174	923	43	370	48	139	277	382	110	80	247	224	80	288	274	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62
BARRANQUILLA ATLANTICO	968	0	984	1,164	1,106	1,302	1,252	112	930	904	915	1,071	996	893	1,046	1,059	719	1,129	869	673	999	1,210	1,120	1,499	889	1,229	911	1,030	1,042	1,080	1,125	1,002
BOGOTA D. C.	292	984	0	526	468	505	455	1,029	341	89	339	422	19	101	408	187	424	482	272	416	21	299	449	860	317	590	66	46	370	408	453	345
BUENAVENTURA	228	1,164	526	0	164	221	171	1,120	234	596	257	138	501	608	118	314	554	186	307	479	501	557	165	570	249	300	574	543	137	107	152	178
CALI	170	1,106	468	164	0	55	27	1,062	176	551	211	46	456	562	60	256	408	23	249	421	455	374	29	387	191	117	528	499	93	55	12	132
CALOTO CAUCA	224	1,302	505	221	55	0	51	1,133	224	591	256	86	501	602	110	309	455	31	306	467	498	269	69	344	253	93	568	543	137	121	68	177
CANDELARIA	174	1,252	455	171	27	51	0	1,083	174	544	205	35	451	555	60	259	405	52	255	417	448	464	19	387	203	137	518	493	87	71	38	127
CARTAGENA BOLIVAR	923	112	1,029	1,120	1,062	1,133	1,083	0	886	1,016	873	1,044	1,081	1,055	1,002	1,015	678	1,129	824	628	1,083	1,221	1,060	1,455	844	1,185	1,007	1,062	992	1,030	1,075	952
CARTAGO	43	930	341	234	176	224	174	886	0	457	32	142	339	468	116	129	229	202	74	245	338	341	166	569	16	299	434	381	88	126	171	48
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	370	904	89	596	551	591	544	1,016	457	0	412	511	98	23	488	290	474	595	368	463	100	403	537	922	409	721	24	62	459	497	542	433
DOSQUEBRADAS RISARALDA	48	915	339	257	211	256	205	873	32	412	0	173	333	423	148	127	199	233	50	211	316	332	198	591	5	340	388	367	119	157	202	80
EL CERRITO	139	1,071	422	138	46	86	35	1,044	142	511	173	0	418	523	28	227	373	67	223	385	416	432	20	420	171	172	489	461	55	39	38	95
FUNZA CUNDINAMARCA	277	996	19	39,262	456	501	451	1,081	339	98	333	418	0	109	395	197	447	478	286	410	2	309	444	827	316	627	75	49	366	404	449	340
GUACHETA CUNDINAMARCA	382	893	101	608	562	602	555	1,055	468	23	423	523	109	0	499	302	463	607	392	452	111	415	549	934	441	733	35	74	470	508	554	445
GUADALAJARA DE BUGA	110	1,046	408	118	60	110	60	1,002	116	488	148	28	395	499	0	196	345	88	190	361	392	439	46	453	132	183	465	434	28	12	57	70
IBAGUE TOLIMA	80	1,059	187	314	256	309	259	1,015	129	290	127	227	197	302	196	0	324	287	164	350	195	187	252	649	119	379	267	239	174	212	257	148
ITAGUI ANTIOQUIA	247	719	424	554	408	455	405	678	229	474	199	373	447	463	345	324	0	432	185	16	444	585	394	787	201	537	480	537	316	354	399	279
JAMUNDI	224	80	288	274	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																	
MANIZALES CALDAS	80	288	274	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																		
MEDELLIN ANTIOQUIA	288	274	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																			
MOSQUERA CUNDINAMARCA	274	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																				
NEIVA HUILA	290	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																					
PALMIRA	165	559	35	308	348	319	87	125	170	62																						
PASTO NARIÑO	559	35	308	348	319	87	125	170	62																							
PEREIRA RISARALDA	35	308	348	319	87	125	170	62																								
POPAYAN CAUCA	308	348	319	87	125	170	62																									
TAUSA CUNDINAMARCA	348	319	87	125	170	62																										
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	319	87	125	170	62																											
TULUA	87	125	170	62																												
YOTOCO	125	170	62																													
YUMBO	170	62																														
ZARZAL	62																															

Origen	Destino																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA	224	1,129	482	186	23	31	52	1,129	202	595	233	67	478	607	88	287	432	0	283	444	475	397	67	366	231	117	549	520	114	79	38	155
BARRANQUILLA ATLANTICO	80	869	272	307	249	306	255	824	74	368	50	223	286	392	190	164	185	283	0	183	289	414	240	642	45	373	357	320	168	206	251	130
BOGOTA D. C.	288	673	416	479	421	467	417	628	245	463	211	385	410	452	361	350	16	444	183	0	435	599	402	814	203	544	469	524	327	366	411	291
BUENAVENTURA	274	999	21	501	455	498	448	1,083	338	100	316	416	2	111	392	195	444	475	289	435	0	308	442	827	314	576	77	51	364	401	447	337
CALI	290	1,210	299	557	374	269	464	1,221	341	403	332	432	309	415	439	187	585	397	414	599	308	0	387	520	331	270	380	352	379	417	419	353
CALOTO CAUCA	165	1,120	449	165	29	69	19	1,060	166	537	198	20	444	549	46	252	394	67	240	402	442	387	0	401	188	155	514	478	72	56	29	119
CANDELARIA	559	1,499	860	570	387	344	387	1,455	569	922	591	420	827	934	453	649	787	366	642	814	827	520	401	0	584	246	899	817	469	453	420	512
CARTAGENA BOLIVAR	35	889	317	249	191	253	203	844	16	409	5	171	316	441	132	119	201	231	45	203	314	331	188	584	0	314	393	359	117	155	201	77
CARTAGO	308	1,229	590	300	117	93	137	1,185	299	721	340	172	627	733	183	379	537	117	373	544	576	270	155	246	314	0	698	674	223	207	154	262
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	348	911	66	574	528	568	518	1,007	434	24	388	489	75	35	465	267	480	549	357	469	77	380	514	899	393	698	0	39	436	474	519	410
DOSQUEBRADAS RISARALDA	319	1,030	46	543	499	543	493	1,062	381	62	367	461	49	74	434	239	537	520	320	524	51	352	478	817	359	674	39	0	407	445	491	382
EL CERRITO	87	1,042	370	137	93	137	87	992	88	459	119	55	366	470	28	174	316	114	168	327	364	379	72	469	117	223	436	407	0	43	88	41
FUNZA CUNDINAMARCA	125	1,080	408	107	55	121	71	1,030	126	497	157	39	404	508	12	212	354	79	206	366	401	417	56	453	155	207	474	445	43	0	44	79
GUACHETA CUNDINAMARCA	170	1,125	453	152	12	68	38	1,075	171	542	202	38	449	554	57	257	399	38	251	411	447	419	29	420	201	154	519	491	88	44	0	124
GUADALAJARA DE BUGA	62	1,002	345	178	132	177	127	952	48	433	80	95	340	445	70	148	279	155	130	291	337	353	119	512	77	262	410	382	41	79	124	0
IBAGUE TOLIMA																																
ITAGUI ANTIOQUIA																																
JAMUNDI																																
MANIZALES CALDAS																																
MEDELLIN ANTIOQUIA																																
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																
NEIVA HUILA																																
PALMIRA																																
PASTO NARIÑO																																
PEREIRA RISARALDA																																
POPAYAN CAUCA																																
TAUSA CUNDINAMARCA																																
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																
TULUA																																
YOTOCO																																
YUMBO																																
ZARZAL																																

10.4. MATRIZ COSTO (En COP Toneladas-Kilómetros)

Origen\Destino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA																																
BARRANQUILLA ATLANTICO																																
BOGOTA D. C.																																
BUENAVENTURA																																
CALI																																
CALOTO CAUCA																																
CANDELARIA																																
CARTAGENA BOLIVAR																																
CARTAGO																																
CUCUNUBA CUNDINAMARCA																																
DOSQUEBRADAS RISARALDA																																
EL CERRITO																																
FUNZA CUNDINAMARCA																																
GUACHETA CUNDINAMARCA																																
GUADALAJARA DE BUGA																																
IBAGUE TOLIMA																																
ITAGUI ANTIOQUIA																																
JAMUNDI																																
MANIZALES CALDAS																																
MEDELLIN ANTIOQUIA																																
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																
NEIVA HUILA																																
PALMIRA																																
PASTO NARIÑO																																
PEREIRA RISARALDA																																
POPAYAN CAUCA																																
TAUSA CUNDINAMARCA																																
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																
TULUA																																
YOTOCO																																
YUMBO																																
ZARZAL																																
1	0	130	163	158	147	176	176	134	282	176	176	176	176	176	189	254	176	176	228	175	176	149	176	146	318	149	176	176	176	176	176	176
2	130	0	117	130	130	176	176	156	135	176	176	176	176	176	135	114	176	176	129	134	176	113	176	131	131	127	176	176	176	176	176	176
3	163	117	0	147	142	176	176	114	168	176	176	176	446	176	145	161	176	176	173	148	414	144	176	136	159	142	176	242	176	176	176	176
4	158	130	147	0	169	176	176	127	157	176	176	176	176	176	185	160	176	176	154	155	176	139	160	152	155	149	176	176	176	176	164	176
5	147	130	142	169	0	176	176	128	166	176	176	176	176	176	239	154	176	176	146	151	176	137	176	164	146	168	176	176	176	176	651	176
6	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
7	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
8	134	156	114	127	128	176	176	0	133	176	176	176	176	176	132	113	176	176	131	137	176	113	176	127	132	133	176	176	176	176	176	176
9	282	135	168	157	166	176	176	133	0	176	176	176	176	176	185	203	176	176	226	178	176	144	176	144	524	150	176	176	176	176	176	176
10	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
11	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
12	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
13	176	176	446	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
14	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
15	189	135	145	185	239	176	176	132	185	176	176	176	176	176	0	162	176	176	163	147	176	144	176	143	179	165	176	176	176	176	176	176
16	254	114	161	160	154	176	176	113	203	176	176	176	176	176	162	0	176	176	198	175	176	143	176	141	215	143	176	176	176	176	176	176
17	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176

Origen\Destino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
BARRANQUILLA ATLANTICO	228	129	173	154	146	176	176	131	226	176	176	176	176	176	163	198	176	176	0	191	176	146	176	143	292	151	176	176	176	176	176	176
BOGOTA D. C.	175	134	148	155	151	176	176	137	178	176	176	176	176	176	147	175	176	176	191	0	176	122	176	141	187	152	176	176	176	176	176	176
BUENAVENTURA	176	176	414	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
CALI	149	113	144	139	137	176	176	113	144	176	176	176	176	176	144	143	176	176	146	122	176	0	176	176	147	176	176	176	176	176	176	176
CALOTO CAUCA	176	176	176	160	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
CANDELARIA	146	131	136	152	164	176	176	127	144	176	176	176	176	176	143	141	176	176	143	141	176	176	0	138	176	176	176	176	176	176	176	176
CARTAGENA BOLIVAR	318	131	159	155	146	176	176	132	524	176	176	176	176	176	179	215	176	176	292	187	176	147	176	138	0	153	176	176	176	176	176	176
CARTAGO	149	127	142	149	168	176	176	133	150	176	176	176	176	176	165	143	176	176	151	152	176	176	176	176	153	0	176	176	176	176	176	176
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176	176
DOSQUEBRADAS RISARALDA	176	176	242	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0	176	176	176	176
EL CERRITO	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
FUNZA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
GUACHETA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
GUADALAJARA DE BUGA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
IBAGUE TOLIMA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
ITAGUI ANTIOQUIA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
JAMUNDI	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
MANIZALES CALDAS	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
MEDELLIN ANTIOQUIA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
MOSQUERA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
NEIVA HUILA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
PALMIRA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
PASTO NARIÑO	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
PEREIRA RISARALDA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
POPAYAN CAUCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
TAUSA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
TULUA	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
YOTOCO	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
YUMBO	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
ZARZAL	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	0

10.5. MATRIZ DISTANCIAS – MODO FÉRREO (En Kilómetros)

Origen\Destino																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA	0	0	0	343	173	0	0	0	88	0	0	130	0	0	105	0	0	0	0	0	0	0	147	0	0	0	0	0	81	0	188	42
BARRANQUILLA ATLANTICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOGOTA D. C.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUENAVENTURA	343	0	0	0	170	0	0	0	347	0	0	213	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	196	0	0	0	0	0	262	0	155	301
CALI	173	0	0	170	0	0	0	0	177	0	0	43	0	0	68	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	92	0	15	131	
CALOTO CAUCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CANDELARIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARTAGENA BOLIVAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134	0	0	109	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	85	0	192	46	
CARTAGO	88	0	0	347	111	0	0	0	0	0	0	134	0	0	109	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	85	0	192	46	
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DOSQUEBRADAS RISARALDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL CERRITO	130	0	0	213	43	0	0	0	134	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	49	0	58	88	
FUNZA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUACHETA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GUADALAJARA DE BUGA	105	0	0	238	68	0	0	0	109	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	24	0	83	63	
IBAGUE TOLIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ITAGUI ANTIOQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JAMUNDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANIZALES CALDAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDELLIN ANTIOQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOSQUERA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEIVA HUILA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALMIRA	147	0	0	196	26	0	0	0	151	0	0	17	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PASTO NARIÑO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEREIRA RISARALDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POPAYAN CAUCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAUSA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TULUA	81	0	0	262	92	0	0	0	85	0	0	49	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YOTOCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YUMBO	188	0	0	155	15	0	0	192	0	0	58	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZARZAL	42	0	0	301	131	0	0	46	0	0	88	0	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Origen\Destino																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA																																
BARRANQUILLA ATLANTICO																																
BOGOTA D. C.																																
BUENAVENTURA																																
CALI																																
CALOTO CAUCA																																
CANDELARIA																																
CARTAGENA BOLIVAR																																
CARTAGO																																
CUCUNUBA CUNDINAMARCA																																
DOSQUEBRADAS RISARALDA																																
EL CERRITO																																
FUNZA CUNDINAMARCA																																
GUACHETA CUNDINAMARCA																																
GUADALAJARA DE BUGA																																
IBAGUE TOLIMA																																
ITAGUI ANTIOQUIA																																
JAMUNDI																																
MANIZALES CALDAS																																
MEDELLIN ANTIOQUIA																																
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																
NEIVA HUILA																																
PALMIRA																																
PASTO NARIÑO																																
PEREIRA RISARALDA																																
POPAYAN CAUCA																																
TAUSA CUNDINAMARCA																																
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																
TULUA																																
YOTOCO																																
YUMBO																																
ZARZAL																																
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	147	0	0	196	26	0	0	0	151	0	0	17	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0	41	105
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	81	0	0	262	92	0	0	0	85	0	0	49	0	0	24	0	0	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	107	39	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	188	0	0	155	15	0	0	0	192	0	0		0	0	83	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	107	0	0	146
32	42	0	0	301	131	0	0	0	46	0	0	88	0	0	63	0	0	0	0	0	0	105	0	0	0	0	0	39	0	146	0	

10.6. MATRIZ FACTOR CORRECCIÓN DISTANCIAS MODO VIAL Y FÉRREO (En Kilómetros)

Origen\Destino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA	0.0	0.0	0.0	-114.8	-2.9	0.0	0.0	0.0	-44.9	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	-18.0	19.6
BARRANQUILLA ATLANTICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BOGOTA D. C.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BUENAVENTURA	-114.8	0.0	0.0	0.0	-6.1	0.0	0.0	0.0	-113.1	0.0	0.0	-75.0	0.0	0.0	-120.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-125.0	0.0	-3.0	-123.0
CALI	-2.9	0.0	0.0	-6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	-8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	-3.0	1.0
CALOTO CAUCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CANDELARIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CARTAGENA BOLIVAR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CARTAGO	-44.9	0.0	0.0	-113.1	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	-21.0	2.1
CUCUNUBA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DOSQUEBRADAS RISARALDA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EL CERRITO	9.0	0.0	0.0	-75.0	2.8	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	-20.5	6.9
FUNZA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GUACHETA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GUADALAJARA DE BUGA	5.2	0.0	0.0	-120.1	-8.2	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	-25.6	6.7
IBAGUE TOLIMA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ITAGUI ANTIOQUIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
JAMUNDI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MANIZALES CALDAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MEDELLIN ANTIOQUIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MOSQUERA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEIVA HUILA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PALMIRA	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PASTO NARIÑO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PEREIRA RISARALDA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POPAYAN CAUCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TAUSA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TULUA	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
YOTOCO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
YUMBO	-18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZARZAL	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Origen/Destino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
LA TEBADA ARMENIA																																
BARRANQUILLA ATLANTICO																																
BOGOTA D. C.																																
BUENAVENTURA																																
CALI																																
CALOTO CAUCA																																
CANDELARIA																																
CARTAGENA BOLIVAR																																
CARTAGO																																
CUCUNUBA CUNDINAMARCA																																
DOSQUEBRADAS RISARALDA																																
EL CERRITO																																
FUNZA CUNDINAMARCA																																
GUACHETA CUNDINAMARCA																																
GUADALAJARA DE BUGA																																
IBAGUE TOLIMA																																
ITAGUI ANTIOQUIA																																
JAMUNDI																																
MANIZALES CALDAS																																
MEDELLIN ANTIOQUIA																																
MOSQUERA CUNDINAMARCA																																
NEIVA HUILA																																
PALMIRA																																
PASTO NARIÑO																																
PEREIRA RISARALDA																																
POPAYAN CAUCA																																
TAUSA CUNDINAMARCA																																
TOCANCIPA CUNDINAMARCA																																
TULUA																																
YOTOCO																																
YUMBO																																
ZARZAL																																
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	18.0	0.0	0.0	-30.7	3.3	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	-12.3	14.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	6.1	0.0	0.0	-125.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-19.3	1.7
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	-18.0	0.0	0.0	-3.0	-3.0	0.0	0.0	0.0	-21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-19.3	0.0	0.0	-22.0
32	19.6	0.0	0.0	-123.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	-22.0	0.0

10.7. MATRIZ VELOCIDADES – MODO FÉRREO (En Kilómetros por hora)

Origen\Destino	LA TEBaida ARMENIA	BUENAVENTURA	CALI	CANDELARIA	CARTAGO	EL CERRITO	GUADALAJARA DE BUGA	JAMUNDI	PALMIRA	TULUA	YOTOCO	YUMBO	ZARZAL
	1	4	5	7	9	12	15	18	23	29	30	31	32
1	0.00	20.48	22.50	20.48	25.00	24.38	25.00	20.48	23.33	25.00	20.48	21.82	25.00
4	20.48	0.00	18.33	20.48	20.00	18.21	19.06	20.48	18.08	19.41	20.48	18.64	20.00
5	22.50	18.33	0.00	20.48	21.88	16.67	20.00	20.48	15.00	20.83	20.48	15.00	21.88
7	20.48	20.48	20.48	0.00	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48
9	25.00	20.00	21.88	20.48	0.00	24.17	25.00	20.48	22.86	25.00	20.48	21.82	25.00
12	24.38	18.21	16.67	20.48	24.17	0.00	23.33	20.48	17.50	23.75	20.48	16.25	24.17
15	25.00	19.06	20.00	20.48	25.00	23.33	0.00	20.48	21.25	25.00	20.48	19.17	25.00
18	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	0.00	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48
23	23.33	18.08	15.00	20.48	22.86	17.50	21.25	20.48	0.00	22.00	20.48	15.00	22.86
29	25.00	19.41	20.83	20.48	25.00	23.75	25.00	20.48	22.00	0.00	20.48	20.00	25.00
30	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	0.00	20.48	20.48
31	21.82	18.64	15.00	20.48	21.82	16.25	19.17	20.48	15.00	20.00	20.48	0.00	21.11
32	25.00	20.00	21.88	20.48	25.00	24.17	25.00	20.48	22.86	25.00	20.48	21.11	0.00

10.8. MATRIZ FRECUENCIA DIARIA – MODO FÉRREO (Número de veces)

Origen\Destino	LA TEBaida ARMENIA	BUENAVENTURA	CALI	CANDELARIA	CARTAGO	EL CERRITO	GUADALAJARA DE BUGA	JAMUNDI	PALMIRA	TULUA	YOTOCO	YUMBO	ZARZAL
	1	4	5	7	9	12	15	18	23	29	30	31	32
1	0.00	1.16	2.52	0.04	5.49	3.58	4.62	0.04	3.05	5.94	0.04	2.26	11.90
4	1.16	0.00	2.10	0.04	1.12	1.66	1.56	0.04	1.78	1.44	0.04	2.33	1.29
5	2.52	2.10	0.00	0.04	2.40	7.75	5.88	0.04	11.54	4.40	0.04	20.00	3.21
7	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
9	5.49	1.12	3.85	0.04	0.00	3.45	4.46	0.04	2.92	5.67	0.04	2.21	10.87
12	3.58	1.66	7.75	0.04	3.45	0.00	18.67	0.04	20.59	9.69	0.04	5.60	5.31
15	4.62	1.56	5.88	0.04	4.46	18.67	0.00	0.04	10.12	20.83	0.04	4.49	7.94
18	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
23	3.05	1.78	11.54	0.04	2.92	20.59	10.12	0.04	0.00	6.67	0.04	7.32	4.24
29	5.94	1.44	4.40	0.04	5.67	9.69	20.83	0.04	6.67	0.00	0.04	3.65	12.82
30	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
31	2.26	2.33	20.00	0.04	2.21	5.60	4.49	0.04	7.32	3.65	0.04	0.00	2.79
32	11.90	1.29	3.21	0.04	10.87	5.31	7.94	0.04	4.24	12.82	0.04	2.79	0.00