

Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas



JOSÉ ALONSO PÉREZ BARBOZA
WALTER SCHMIDT CHAVES

Proyecto Final de Graduación para optar por el Grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Septiembre del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Abstract

The project entitled "Technical Diagnosis and Cost Analysis for the Refurbishment of the Railway network located in Cartago-Páez-Yas", pretends to form part of the initiative to rescue the national rail network. It has as an objective to realize the technical diagnose of the current state and budget analysis of the after mentioned network, for a possible refurbishment of the Cartago-El Yas section. For this to be done, related components of the railway have been analyzed, for example, transversal sections and it's elements, design requirements, methods and constructive materials, natural threats, maintenance methodologies and legal aspects that altogether determine the physical space of a railway.

Previous refurbishments and actual work in the Curridabat- Cartago where investigated, in order to detect the activities being realized, performance and cost, with the purpose to propose a realistic integral solution to the national budget assigned to this subject.

The section under study has an area of 14.4 km from Cartago Station (1466 masl) to the siding of El Yas (1222 masl); for analysis clarity, it was divided en 5 sections clearly defined. It was determined that 19% of the route presents acceptable conditions for pre-refurbishment; for public transportation purposes, 100% of the route is not suitable for its use and requires intervention. In regards to the superstructure, 4% of the rails, 100% of the sleepers and fastenings, 12% of the fish plates and 100% of the ballast should be replaced. The refurbishment cost is ¢2.418.132.651,26 million colones, giving a cost of ¢168.714.053.03 per kilometer. Additionally proposals for monitoring and electrification where included alongside it's respective budgets.

Keywords: Railroad, railway network, refurbishment, maintenance, diagnosis, refurbishment costs, Cartago- El Yas.

Resumen

El proyecto titulado "Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la red ferroviaria en la sección Cartago-Páez-Yas", pretende formar parte de la iniciativa de rescate de la red ferroviaria nacional. Tiene como objetivo realizar el diagnóstico técnico del estado actual y análisis presupuestario para una posible rehabilitación de la sección Cartago-El Yas. Para ello, se analizaron los componentes relacionados con la vía férrea, a saber, secciones transversales y sus elementos, requerimientos de diseño, métodos y materiales constructivos, amenazas naturales, metodologías de mantenimiento y aspectos legales que en conjunto determinan el espacio físico de una vía férrea. Se procedió a investigar rehabilitaciones anteriores y los trabajos actuales en la ruta Curridabat-Cartago, con el fin de detectar las actividades que se realizan, su rendimiento y su costo, y así proponer una solución integral realista al presupuesto nacional destinado para este tema.

El tramo en estudio tiene una extensión de 14.4 km, desde la estación de Cartago (1466 msnm) hasta el apartadero de El Yas (1222 msnm); para mayor claridad de análisis, se dividió en cinco secciones claramente definidas. Se determinó que el 19% del recorrido presenta condiciones aceptables para pre-rehabilitación; con fines de transporte público, el 100% del tramo no es apto para su uso y requiere de intervención. Con respecto a la superestructura, el 4% de los rieles, el 100% de los durmientes y sujeciones, el 12% de las eclisas y el 100% del balastro, debe ser reemplazado. El costo para la rehabilitación es de ¢2.418.132.651,26 millones de colones, dando un costo de ¢168.714.053.03 1 millones por kilómetro. Adicionalmente se incluyeron propuestas de monitoreo y de electrificación y sus respectivos presupuestos.

Palabras claves: ferrocarril, red ferroviaria, rehabilitación, mantenimiento, diagnóstico, costos de rehabilitación, Cartago- El Yas.

Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas

JOSÉ ALONSO PÉREZ BARBOZA
WALTER SCHMIDT CHAVES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Septiembre del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO	3
INTRODUCCIÓN.....	5
MARCO TEÓRICO.....	7
METODOLOGIA.....	31
RESULTADOS.....	33
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	104
APÉNDICES.....	105
ANEXOS.....	106
REFERENCIAS.....	107

Prefacio

La historia ferroviaria inicia a comienzos del siglo XIX, con la primera revolución industrial, donde el ferrocarril a vapor cambió notablemente el funcionamiento de la economía mundial. En Costa Rica, su historia comienza en la década de los 50 de ese mismo siglo, con las primeras iniciativas y en 1871 bajo el gobierno de Tomás Guardia Gutiérrez, inicia la construcción del ferrocarril al Atlántico. Con su cierre en 1995 durante el gobierno de José María Figueres Olsen, concluyó sus servicios y diez años después se dio su reapertura. La historia ferroviaria costarricense es muy amplia y será tocada más adelante en este trabajo.

La necesidad de proveer al país de un mejor sistema vial, lo cual involucra tanto a la infraestructura como a los medios de transporte, lleva a pensar que la rehabilitación de la red ferroviaria nacional es obligatoria. El gran crecimiento poblacional en las últimas décadas se ha visto reflejado también en el incremento de la flota vehicular; esto es evidente en los centros urbanos donde en la mayoría de estos lugares en las llamadas horas pico, el colapso vial es inminente. Paralelo a la flotilla existente se desprende una alta contaminación de hidrocarburos, provocada por las emisiones de dichos medios de transporte. Es importante poner a disposición de los usuarios un medio de transporte que contribuya a la disminución de gases contaminantes y por supuesto que sea un servicio eficiente, que brinde confort, seguridad y facilidad de movimiento.

Durante los años que se ha puesto en funcionamiento al tren desde su reapertura en el año 2005, ha sido de gran aceptación por los usuarios al punto que en el año 2010, sólo en las rutas de Pavas-San José y Heredia, fueron movilizados 1.865.311 pasajeros, esto según anuario del Mopt (2010).

En comparación con el medio de transporte más común, el autobús, el tren presenta la gran mayoría de ventajas y beneficios, no sólo para el usuario sino también

para el ambiente; consumo de combustible, la velocidad del transporte, la capacidad de pasajeros, son sólo algunos de los rubros en los que el tren supera a otros medios de transporte.

Por supuesto que Costa Rica presenta un gran atraso en desarrollo ferroviario respecto a muchos países del mundo y precisamente por esto también, se maximiza la importancia de rescatarlo, rehabilitarlo y ponerlo en funcionamiento. Las zonas urbanas se ven beneficiadas ya que se genera descongestión en las carreteras y esto a largo plazo significa también mayor vida útil para la infraestructura vial. Si se tomara la cantidad de personas transportadas en tren durante el año 2010 y se colocaran en autobús, esto hubiese significado un total de aproximadamente 26.647 viajes adicionales, sin mencionar la cantidad de metros cúbicos de hidrocarburos que se hubiesen generado. Las zonas rurales también se verían beneficiadas, ya que los tiempos de viaje se reducirían considerablemente y esto podría colaborar al aumento del turismo.

Cartago es una de las provincias con mayor crecimiento urbano en el país; cuenta con grandes centros poblacionales como lo son los cantones de Cartago, Paraíso y Turrialba, los cuales sin duda alguna generan gran cantidad de las divisas de la provincia. La red ferroviaria proveniente desde Tres Ríos, llega al cantón central de Cartago, continua hacia San Rafael de Oreamuno y llega al cantón de Paraíso; de aquí prosigue hacia la zona del El Yas y continúa hacia Turrialba. El trayecto desde la Estación de Cartago hasta el Apartadero de El Yas, tiene un total de 14 392 km de distancia.

Actualmente Paraíso posee una problemática desde el punto de vista vial; su principal entronque con Cartago, sobre la ruta 10, durante las “horas pico” colapsa, generando largas presas que sin duda alguna incomodan al usuario y prolonga los tiempos de recorrido. Si se lograra colocar al tren como otro medio adicional de transporte, esto probablemente generaría

disminución en la contaminación y en el flujo vehicular; además, Paraíso cuenta con lugares ideales para el desarrollo del turismo ya que es una zona con localidades de belleza natural y la rehabilitación de la red ferroviaria podría generar también gran cantidad de empleo en este campo y por ende desarrollo económico para el cantón.

El proyecto “Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas”, pretende poner en evidencia el estado actual de la ruta en estudio; para ello, se procederá al análisis técnico del trayecto, a la puntualización de los problemas encontrados y sus posibles soluciones, así como al análisis presupuestario ante una posible rehabilitación y puesta en funcionamiento.

Actualmente ya se tienen rehabilitadas las rutas de Heredia-San José y Belén-San José; se encuentra en desarrollo la recuperación de la ruta Curridabat-Cartago. Se ha aprendido de la experiencia extranjera que el tren es el medio de transporte por excelencia; la aceptación del usuario al rehabilitar las rutas antes mencionadas, es notoria, lo cual representa un tema de interés nacional. . Además, en este proyecto se abarca hasta la zona de El Yas en Paraíso, por lo que se espera también despertar la inquietud en terceros de hacer los estudios necesarios para llevar el tren hasta otro gran centro poblacional como lo es Turrialba.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos al señor Erick Vásquez del Departamento de Topografía de la Municipalidad de Cartago y al señor Godofreo Rojas del Departamento de Topografía y Geodesia de la Municipalidad de Paraíso, quienes brindaron ayuda vital en la recolección de información digital; de igual manera a la Municipalidad de Oreamuno. Adicionalmente, agradecemos al Ing. Pablo Mora, Ing. Jaime Mas y Ing. Jorge López de Incofer por el tiempo y material cedido así como a nuestro profesor guía en la elaboración de este proyecto, el Arq. Carlos Ugalde; por último a todos nuestros profesores de escuela, amigos y familiares.

Resumen ejecutivo

El rescate de la red ferroviaria nacional, es asunto de interés nacional ya que por sus beneficios se genera un impacto positivo en toda la población en general; desde el punto de vista ecológico, el tren proporciona menos contaminación ambiental que la gran mayoría de medios de transporte y desde el punto de vista vial, tiene la capacidad de transportar mayor cantidad de usuarios en menos tiempo.

El proyecto “Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas”, pretende formar parte de esta iniciativa mediante la realización del análisis técnico del estado actual de la sección Cartago-Páez-Yas, que suma más de veinte años de abandono, y el análisis de costos necesario para su puesta en funcionamiento, acorde a las necesidades y posibilidades económicas del país.

Para la Escuela de Ingeniería en Construcción es una oportunidad formar parte de un proyecto de recuperación de infraestructura nacional; además, con este proyecto se le brinda colaboración al Incofer, quienes con limitados recursos humanos y económicos tienen bajo su responsabilidad la ardua labor de la rehabilitación ferroviaria; para el Gobierno de Costa Rica, que tiene planeado convertirse en país carbono neutro para el año 2021, también le es de importancia emancipar la recuperación y utilización del servicio del tren; finalmente, los municipios involucrados en el tramo en estudio, a saber, Cartago, Oreamuno y Paraíso, son las principales beneficiarias ante una posible rehabilitación, ya que con la reapertura del servicio se brindaría mayor facilidad de transporte y comunicación, lo que podría traducirse en beneficios sociales, laborales y económicos.

Como objetivo general se debe realizar un diagnóstico técnico de la vía férrea en el tramo Cartago-El Yas, de sus componentes e infraestructura, además de generar una

propuesta de rehabilitación y su respectivo presupuesto. Se propone también la utilización de métodos tecnológicos que brinden monitoreo y se plantea una propuesta para la electrificación del tramo que permita el uso del tren eléctrico, todo lo anterior con su respectivo análisis de costos.

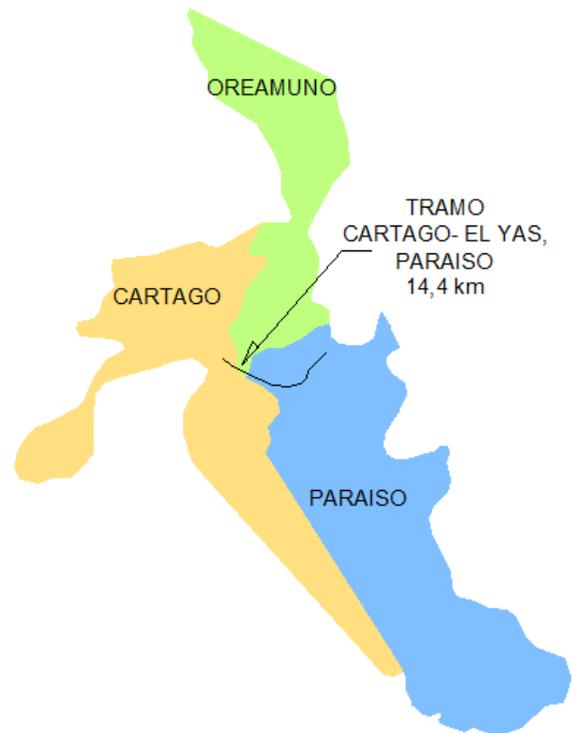


Figura 1. Localización del tramo sobre mapas cantonales (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la ubicación del tramo en estudio y los cantones que atraviesa; este recorrido forma parte del Ferrocarril al Atlántico.

Para lograr los propósitos de este proyecto, se consultó y estudió teoría afín al tema, se realizaron inspecciones a rutas anteriormente rehabilitadas y a los trabajos en

proceso en la sección Curridabat- Cartago, con lo cual se logró definir las actividades a realizar.

Una vez sintetizada la información recolectada, se procedió a recorrer la ruta para su reconocimiento, determinación de su estado actual y detección de problemas. Para facilitar el análisis, la ruta se dividió en secciones, esto basado principalmente en la topografía encontrada y límites cantonales, nombrados de la siguiente manera y cada una con su respectiva distancia:

-Sección 1: Cartago. Inicia en la estación de Cartago y termina en el río Toyogres, límite cantonal entre Cartago y Oreamuno; distancia: 1644 m.

-Sección 2: Oreamuno. Inicia en río Toyogres y termina en quebrada Blanquillo, límite cantonal entre Oreamuno y Paraíso; distancia: 2226 m.

-Sección 3: Paraíso, Blanquillo-Páez. Inicia en quebrada Blanquillo y termina en el puente sobre el río Páez; distancia: 4325 m.

-Sección 4: Paraíso, Páez-Parruás. Inicia en el río Páez y termina en las cercanías del río Parruás; distancia: 3888 m.

-Sección 5: Paraíso, Parruás-El Yas. Inicia en Parruás y termina en el apartadero de El Yas; distancia: 2309 m.

El 87.7% del recorrido fue transitable a pie, el porcentaje restante corresponde a tramos obstruidos con cerramientos improvisados por lugareños o por una densa vegetación que impedían al paso. En más de la mitad de la longitud, exactamente el 54.1%, la vía férrea se encontró cubierta por variedad de materiales (maleza, tierra, basura, asfalto, entre otros), lo cual no permitió la observación de sus elementos.

Deficiencias en la bancada, invasiones al derecho de vía, desagües insuficientes o inexistentes, derrumbes, deslaves y elementos dañados, son parte de los problemas detectados en la totalidad del tramo en estudio. Con respecto a la superestructura, el 4% de los rieles, el 100% de los durmientes y sujeciones, el 12% de las eclisas y el 100% del balastro, debe ser reemplazado.

Debido a los problemas antes mencionados, se concluyó que solamente el 19% del total de la longitud del tramo presenta condiciones aceptables con fines de una pre-rehabilitación, es decir, que permite el ingreso de locomotoras y vagones para realizar los trabajos definitivos de rehabilitación; con fines de transporte público, el 100% del tramo no es apto

para su uso y requiere de intervención. Por lo tanto, se propuso una lista de actividades a realizar reunidas en los siguientes rubros principales: pre-rehabilitación, rehabilitación, señalización y obras complementarias. Además, se incluyó una propuesta de monitoreo por fibra óptica con un costo de ¢46.561.000,00 y una propuesta de electrificación con líneas aéreas con un costo de ¢439.949.485,50.

En conclusión, se tiene que el costo total de la rehabilitación es de ¢2.418.132.651,26, dando un costo de ¢168.714.053.03 por kilómetro de vía, con una duración total del proyecto de cuatrocientos siete días hábiles. Cada una de las secciones presenta distintas situaciones que la hacen más o menos compleja que la otra, por lo que el costo varía notablemente entre ellas; esto se demuestra en la siguiente figura, donde se evidencia que la sección 3 abarca la mayor parte del presupuesto generado.

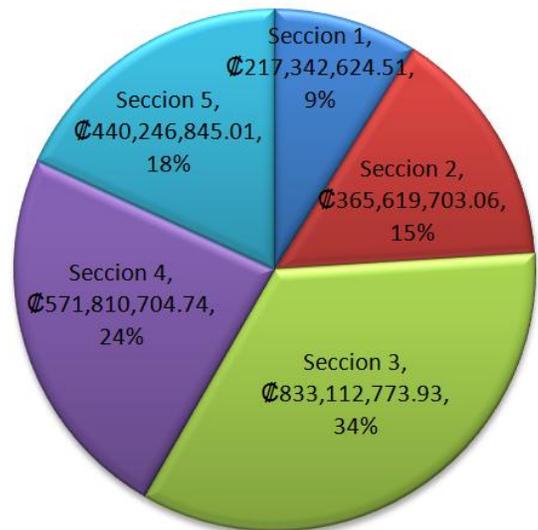


Figura 2. Distribución del presupuesto por sección (Fuente: Autor)

El "Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas", genera valoración y soluciones específicas para el tramo mencionado, aportando de esta manera a las investigaciones necesarias para la recuperación y rehabilitación de la red ferroviaria nacional.

Introducción

El auge en el interés de rescatar la red ferroviaria nacional, hace notar que este es un tema de actualidad; proveer al país de un medio de transporte eficiente y económico, que aporte a los propósitos del país en torno a la disminución de la contaminación y congestión vial, son importantes motivos para generar esfuerzos en estas áreas. El proyecto “Diagnóstico Técnico y Análisis de Costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección Cartago-Páez-Yas”, pretende formar parte de esta iniciativa y colaborar con principal ente nacional encargado, Incofer, que con limitados recursos humanos y económicos tiene bajo su responsabilidad tan ardua labor.

El ferrocarril surgió en Costa Rica a mediados del siglo XIX y llegó como respuesta y solución a una necesidad de la época, el transporte de las cosechas de café y banano, principal actividad comercial del país en ese entonces. Lo anterior se refleja en la siguiente cita extraída de bibliografía generada por la Northern Railway Company (1953):

“Estos ferrocarriles son comparables al tronco de un árbol por donde pasa la savia vital en una corriente de doble vía entre la raíz y las hojas. Un doble tráfico que permite a las raíces nutrir las hojas y así mismo a las hojas nutrir a las raíces, cada uno supliendo al otro lo que este no puede proporcionarse a sí mismo. Los ferrocarriles de Costa Rica son el tronco transportador por el cual pasa el comercio vital del país, llevando productos de los cuales el país tiene superabundancia y trayendo aquellos que la nación no puede producir”

Actualmente la necesidad se concentra en el rescate de la red ferroviaria nacional, transformado en una realidad; las rutas Belén-San José, Pavas- Curridabat y Heredia- San José, se encuentran en funcionamiento; se están

llevando a cabo los trabajos de rehabilitación de la ruta Curridabat- Cartago, los cuales se pretenden terminar a finales del 2012 y según Incofer (2012), una vez concluida esta etapa, continúa la sección Heredia- Alajuela y posteriormente Cartago- Paraíso; en esta última se ubica parte de la sección estudiada en este proyecto. Varios kilómetros de vía ya fueron habilitados, faltan muchos más, lo importante es que con cada kilómetro que se avanza, se generan beneficios locales que pasan a ser nacionales en un corto período de tiempo. El volumen de usuarios que hacen uso del tren, casi dos millones en el 2010 (Mopt, 2010), evidencia la aceptación del servicio y sirve como parámetro para demostrar la viabilidad del mismo.

Por tanto, mediante la realización del análisis técnico del estado actual de la sección Cartago-Páez-Yas, que suma más de veinte años de abandono, y el análisis de costos necesario para su puesta en funcionamiento, se presenta un plan de rehabilitación puntual y acorde a las necesidades y posibilidades económicas del país. Este trabajo busca no sólo el rescate de la red en estudio, generando soluciones para los problemas detectados, sino también proporcionar metodologías de análisis para proyectos similares a futuro.

Dentro de la teoría consultada afín a este tema, se incluye principalmente el manual chileno *Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria* (2003) y material suministrado por Incofer (2011-2012). Dicha teoría permitió generar conocimiento de los elementos que participan en una red ferroviaria y la manera en que estos funcionan armónicamente como un todo. El principal recurso aplicado en el análisis de resultados fueron las visitas realizadas a las rehabilitaciones anteriores y la que actualmente se lleva a cabo en la ruta Curridabat-Cartago, con lo cual se recolectó valiosa información de campo sobre la realidad nacional.

Como principal antecedente se contó con el proyecto de graduación realizado por el Ing.

Marco Coto (2009), donde realizó el análisis técnico y de costos para la rehabilitación del tramo de la red ferroviaria entre Tres Ríos y Cartago. En comparación con el trabajo del Ing. Coto, con el presente proyecto se pretende ampliar los alcances mediante la creación de una herramienta de utilidad para Incofer, llamada "Planos de levantamiento" y que se adjuntan en el apéndice 1. Dichos planos (físicos y digitales) contienen la información necesaria para la localización de la ruta así como elementos naturales y de infraestructura que se dan en toda su longitud; se incluyó además toda la información recolectada en campo con su respectiva ubicación, dando así la situación real y actual de la vía en estudio. Adicionalmente, se brindó una lista de actividades a realizar en orden cronológico, esto como cuerpo principal del plan de rehabilitación. Como complemento final, se planteó una alternativa de monitoreo por medio de fibra óptica y se hizo una propuesta para electrificar el tramo por medio de líneas aéreas (catenarias), todo lo anterior con su respectivo análisis de costos.

A continuación se indican los objetivos establecidos para este proyecto.

Objetivo general:

Realizar un diagnóstico técnico de la vía férrea en el tramo Cartago-El Yas, Paraíso, componentes y propuesta de rehabilitación y su respectivo presupuesto.

Objetivos específicos:

1. Diagnosticar el estado general de la infraestructura y sus componentes tales como: Durmientes, Rieles, Puentes, Eclisas, Mancuernas, entre otros.
2. Dictaminar y recomendar reparaciones de las obras de infraestructura de la vía mediante una inspección visual del estado de elementos tales como: cunetas, pasos a nivel, puentes, taludes, entre otros.
3. Identificar si la infraestructura existente es apta para su uso, proponiendo medidas de contención, reparación y mejoras a los problemas encontrados en la vía.
4. Realizar propuesta para su rehabilitación y el respectivo presupuesto.
5. Investigar y proponer la utilización de métodos tecnológicos que brinden monitoreo y permita realizar mantenimiento preventivo a la línea.

6. Buscar y generar recomendaciones sobre posibles cambios que requeriría la vía para ser eléctrica y no de combustión, además de realizar una estimación del costo.

7. Proporcionar a los interesados, datos veraces sobre la infraestructura, estado técnico, físico y legal.

8. Brindar las recomendaciones técnicas de mejoramiento de la Infraestructura de la red ferroviaria según sea el caso.

9. Brindar un presupuesto detallado para las recomendaciones y uno general para la rehabilitación del tramo en estudio.

Marco Teórico

Reseña histórica del ferrocarril al Atlántico

Según Northern Railway Company (1953), con el auge del cultivo del café a inicios del siglo XIX, se hizo evidente la importancia de proveer al país de un transporte adecuado para trasladar el producto desde la Meseta Central hasta las costas del Atlántico, era vital para introducirse al mercado mundial.

Inicialmente el café era transportado con cerretas de bueyes hasta Puntarenas y desde ahí hasta su principal destino, Europa. Transportarlo desde Matina, reduciría el tiempo a una cuarta parte y el costo a menos de la mitad.

El primer ferrocarril de Costa Rica usaba burros o mulas como fuerza de empuje, por tal motivo fue conocido como el “burro carril”. Este recorría 9 millas entre Puntarenas y Barranca. Inició su construcción en 1854 y fue inaugurado el 12 de noviembre de 1857.

Entre los años 1854 y 1871 se realizaron propuestas para construir un ferrocarril transístmico desde la costa Atlántica hasta Caldera en Puntarenas, sin embargo, nunca se llevó a cabo al considerarse un proyecto demasiado grande para las posibilidades del país.

El 18 de agosto de 1871, durante el gobierno del General Tomás Guardia, se realizó un contrato con Mr. Henry Meiggs Keith para construir un ferrocarril desde Limón hasta Alajuela por un costo de 8 millones de pesos. El trabajo llegó desde Alajuela a San José el 30 de diciembre de 1872.

Una anécdota importante de esta etapa fue que una de las locomotoras requirió entre diez y doce yuntas de bueyes para ser movida; se duró entre cuatro a cinco meses transportarla hasta Alajuela.

El 20 de noviembre de 1873, los trabajos llegaron desde Alajuela a Cartago y en 1874 la línea llegó a Matina desde Limón, sin embargo,

en ambos casos los trabajos fueron suspendidos por dificultades financieras.

El proyecto se retomó en 1875 realizando un contrato con Myers y Douglas y en 1879 se realizó un contrato con Minor Cooper Keith para extender la línea hasta Carrillo en Río Sucio. Por primera vez, existió en Costa Rica una conexión entre San José y la zona Atlántica.

El 21 de abril de 1884, se celebró el contrato “Soto-Keith”, entre el gobierno de Bernardo Soto y Minor C. Keith, el cual consistía en unir la sección Alajuela-Cartago con la sección Limón-Carrillo.

Sin embargo, hubo cambios respecto a la ruta original debido a obstáculos de los terrenos; en vez de arrancar desde Carrillo, la conexión se hizo desde La Junta, por el valle del río Reventazón, hasta lograr la conexión con la sección Alajuela-Cartago en Heredia.

Los trabajos se completaron en 1890 y tuvo un costo de \$8 millones, aproximadamente. El contrato Soto-Keith, tuvo vigencia hasta 1989, punto en el cual el ferrocarril debía ser entregado al Gobierno de Costa Rica.

En 1905 la Northern Railway Company y la Costa Rica Railway Company, acordaron que la primera sería la principal operadora. Este contrato tenía su término en 1989 y el gobierno pasaría a ser el propietario totalitario de la red ferroviaria.

Se estima que a mediados del siglo pasado, el valor de la red ferroviaria al Atlántico, rondaba los \$15 millones; más de 300 millas línea, dos muelles, treinta y cuatro locomotoras, aproximadamente mil carros de todo tipo, talleres de primera clase y equipo de mantenimiento era parte de lo que se había logrado a mediados del siglo pasado.



Figura 3. Retrato de Minor Cooper Keith, (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior muestra el retrato de M.C. Keith, arquitecto y fundador de: Costa Rica Railway Co. y Northern Railway Co. además confundador la United Fruit Company.

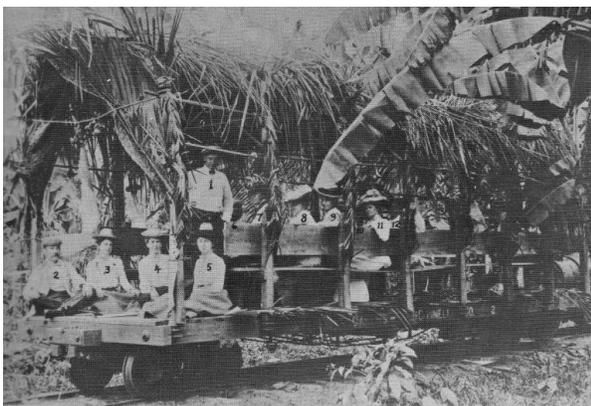


Figura 4. Uno de los primeros trenes en circulación. (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior es la más antigua recopilada por Northern Railway Company, fue tomada entre

los años 1872-1890, época en la que se construyó el ferrocarril.

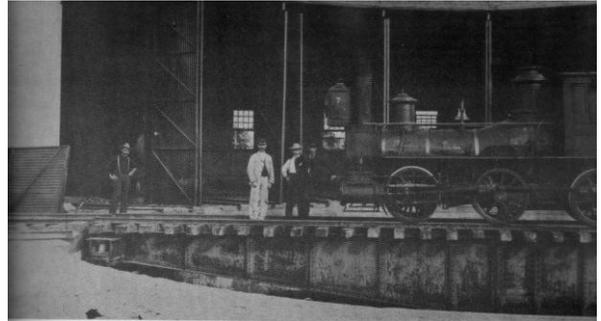


Figura 5. Locomotora liviana. (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior muestra una de las primeras locomotoras liviana Northern Railway Company, construida en el año 1905.

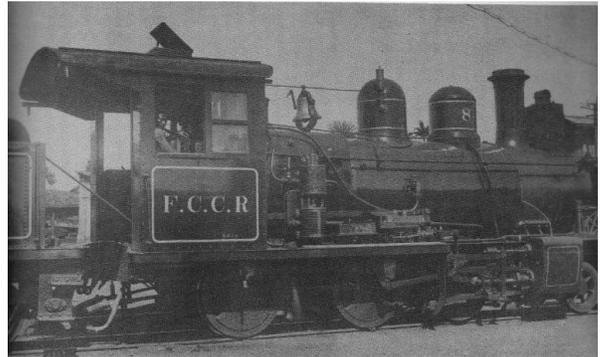


Figura 6. Una de las primeras locomotoras usadas en el país. (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior muestra una de las primeras locomotoras medianas construida en el año 1905.

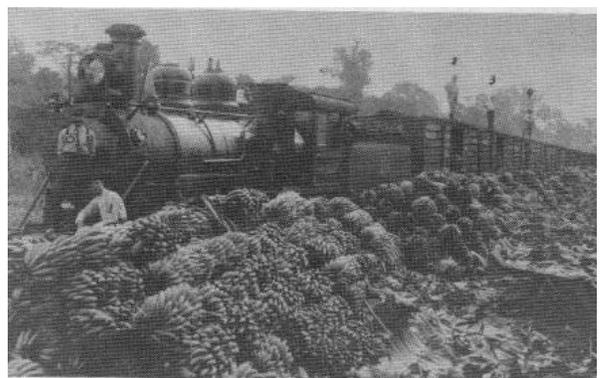


Figura 7. Ferrocarril en bananeras. (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior muestra cosechas de banano de la provincia de Limón transportadas por el ferrocarril y fue tomada alrededor del año 1906.

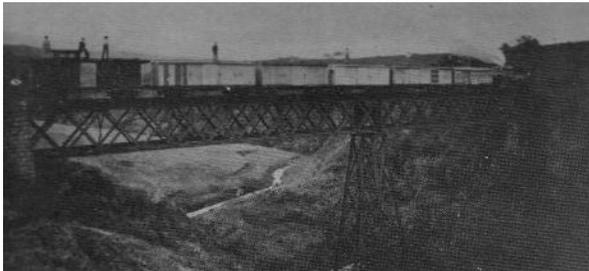


Figura 8. Puente sobre el río Páez. (Fuente: Northern Railway Company 1953)

La figura anterior muestra el puente sobre el río Páez alrededor del año 1904.

Actualidad de la red ferroviaria nacional

Según artículo del periódico La Nación del 7 de noviembre del 2011, en Costa Rica, las carreteras se han saturado, ya que cada año la flotilla vehicular aumenta, lo cual deja la red vial al margen del colapso. Los servicios de transporte público no dan abasto y el tiempo para transportarse de un lado a otro, es cada vez mayor.

Teniendo en cuenta esta problemática y sumando las situaciones en Oriente Medio y la especulación con el precio del petróleo, se requieren otras alternativas de transporte que descongestionen el tráfico y agilicen al transporte

público, conectando los principales puntos de la Gran Área Metropolitana.

Además de movilizar en corto tiempo a la fuerza laboral de este país, el ferrocarril y la rehabilitación de la red ferroviaria de Costa Rica podría ser una alternativa al problema de transporte y conectividad mencionado.

Actualmente, los trenes que circulan funcionan con motores de combustión a base de diesel, pero el proyecto a futuro consiste en desarrollar un sistema ferroviario eléctrico que empiece a funcionar a más tardar en el año 2014 y así, colaborar con el plan de llegar a ser un país carbono neutro en el año 2021.

Desde que el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (Incofer), rehabilitó el servicio público y privado del tren, se ha acogido con importante interés y participación por parte de los costarricenses, tanto así que el ferrocarril transporta actualmente a miles de personas a sus diferentes destinos de trabajo y estudio.

El siguiente cuadro muestra la cantidad pasajeros transportados por ferrocarril con corte del 2006-2010, según Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes Mopt (2010).

Esta información demuestra que la aceptación y uso del ferrocarril va en aumento y que transporta miles de personas al año, pues las rutas de Pavas- San José y a los puertos Atlántico y Pacífico presentan un incremento significativo con la cantidad de pasajeros transportados desde el 2006 hasta el 2010.

Actualmente ya se cuenta con la habilitación de diferentes secciones de la línea férrea: Pavas- San José, Heredia, turismo al Pacífico y turismo al Atlántico.

CUADRO 1. PASAJEROS TRANSPORTADOS POR EL FERROCARRIL					
	Total	Ferrocarril , según estación			
Año	Pasajeros	Pavas S.J.	Heredia	Turismo al Pacífico	Turismo al Caribe
2006	565.390,00	549.740,00	0,00	15.650,00	0,00
2007	917.425,00	871.625,00	0,00	24.200,00	21.600,00
2008	1.255.157,00	1.201.407,00	0,00	31.200,00	22.550,00
2009	1.418.296,00	950.000,00	429.000,00	0,00	21.096,00
2010	1.886.261,00	829.723,00	1.035.588,00	5.950,00	15.000,00

(Fuente: Mopt 2010)

Sin embargo, en la siguiente figura se demuestra la distribución porcentual del presupuesto promedio entre los años 2006 y 2010 del Sector

Infraestructura y Transporte, siendo el Incofer la institución con menor presupuesto, apenas un 1,52% del total del sector.

El diagnóstico para la rehabilitación de la red ferroviaria de la sección Cartago-Páez-Yas, toma en cuenta el presupuesto real anual del Incofer además, se integran estudios de diferentes variantes y/o imprevistos que pudieran acontecer en la vía, así como la opción de contar a futuro con una red ferroviaria eléctrica.

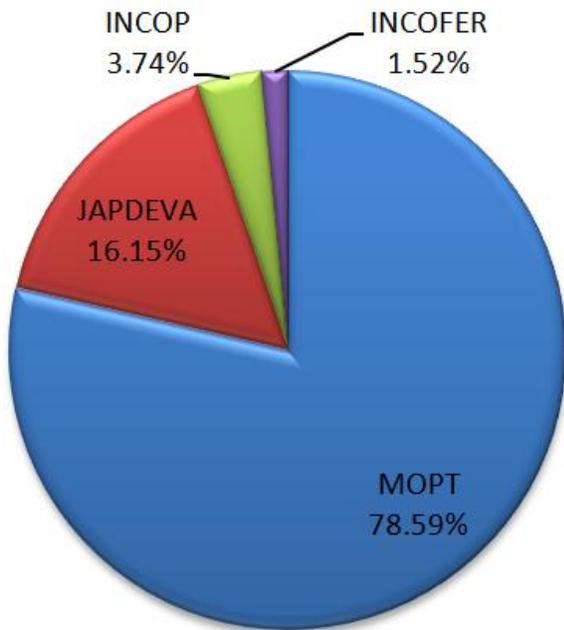


Figura 9. Distribución porcentual del presupuesto promedio 2006-2010 del sector de infraestructura y transportes. (Fuente: Mideplan 2010)

Según declaraciones del Mopt (2010), en 1995, durante la administración Figueres, según acuerdo del Consejo de Gobierno No. 60 del 27 de junio de 1996, se decidió que el Incofer dejara de brindar sus servicios debido a sus grandes gastos operativos causados en gran parte por la convención colectiva que pesaba mucho en las finanzas de la institución.

El 7 de octubre del 2005, diez años después de su cierre, se volvió a abrir como transporte de carga para productos de exportación como banano y otros.

Hasta diciembre del mismo año, el tren Apolo con capacidad para 100 personas sentadas y 200 de pie, brindó sus servicios entre Pavas y San Pedro y fue hasta el 8 de agosto del 2009 que se reinició el servicio Heredia- San José.

Actualmente se trabaja en la reapertura y rehabilitación de la vía San Pedro- Tres Ríos-Cartago. Por lo que es oportuno y tema de actualidad, realizar el diagnóstico de la vía férrea de Cartago hasta Paraíso, contemplando el estado de la vía, puentes y demás componentes.

Esta sección que recorre aproximadamente 14.4 kilómetros, inicia en la estación de Cartago y continúa por la parte trasera de la Basílica de Los Ángeles, atraviesa el distrito de San Rafael del cantón de Oreamuno y llega hasta el cantón de Paraíso, atravesando los distritos de Paraíso y Santiago; en este último se encuentra la zona de El Yas, lugar en que termina la sección por analizar.

La sección por analizar presenta notable abandono, invasión del derecho de vía, derrumbes, obstrucciones, falta de piezas, mal manejo de aguas pluviales, deterioro de puentes, estos son sólo algunos de los problemas que se pueden observar en la ruta.

Tanto para el país como para el Incofer y las municipalidades involucradas, es importante rehabilitar la sección en estudio, ya que presentaría ventajas y mejoras en transporte público, economía, comercio y turismo.

Sección transversal de una vía férrea y sus principales componentes

La sección típica de la línea férrea se compone de una cama de piedra llamada balastro o balastro, sobre la cual se colocan los durmientes, postes de acero, madera o concreto, en los cuales se anclan los rieles; la vía se apoya sobre diferentes secciones.

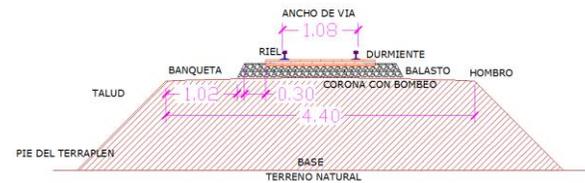


Figura 10. Sección típica de línea férrea. (Fuente: Autor)

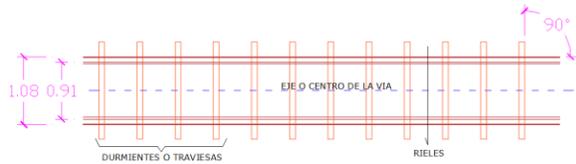


Figura 11. Vista superior de la sección típica de una vía férrea (Fuente: Autor)

Las secciones transversales de una vía férrea, dependen de cada punto de estudio y para determinar todas sus componentes, se pueden caracterizar en cinco principales secciones: 1) sobre terraplén, 2) Sobre lecho de corte. 3) sobre balcón, 4) sobre alcantarillas, puentes y rellenos, 5) a través de túneles.

1) Sobre terraplén: es la principal sección transversal de una vía férrea, se compone de cuatro partes esenciales: el trapecio del terreno sobre el cual se apoya el balastro o balasto, los cuales también se conocen como terraplenes, la sección de roca o cama de roca conocida como balastro o balasto, los durmientes y los rieles de la vía.

Como se observa en la figura el trapecio o terraplén se conforma de diferentes componentes tales como: pie del terraplén, talud, banqueta, corona, hombro y base.

2) Sobre lecho de corte: estos suceden cuando se hacen tajos en los cerros por los que pasa la vía de un ferrocarril y se conocen como cortes, esta sección se compone de: contra cuneta, talud, cuneta, banqueta, lecho de corte, banqueta, cuneta, talud y contra cuneta.



Figura 12. Sección de la vía sobre lecho de corte. (Fuente: Autor)

3) Sobre un Balcón: es una combinación entre corte y terraplén, estos se componen de una balcón con contra cuneta, talud, cuneta, banqueta, centro de la vía sobre lecho de corte, banqueta y talud.

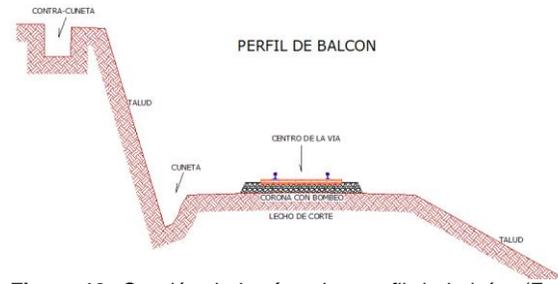


Figura 13. Sección de la vía sobre perfil de balcón. (Fuente: Autor)

Como se muestra en la imagen anterior, esta sección comprende un corte sobre un borde de una colina.

4) Sobre alcantarilla, puente o relleno: esta sección como bien se indica puede estar sobre cualquiera de las infraestructuras mencionadas y depende de las condiciones propias del lugar, topografía, hidrología y condiciones económicas.

4.1 Sobre alcantarillas: se pueden dar dos casos, ser temporales o permanentes. Por lo general, son de tres tipos: cuadradas o rectangulares llamadas de cajón, circulares o de bóveda.

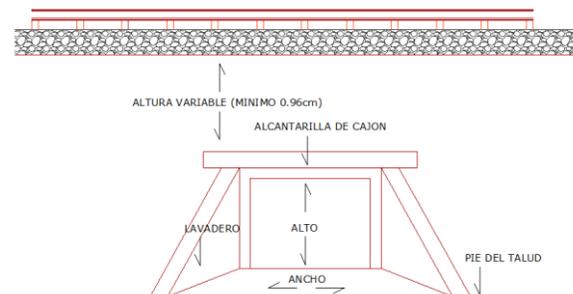


Figura 14. Detalle de alcantarilla sección cuadrada. (Fuente: Autor)

4.2 Sobre puentes: estas se dan cuando las corrientes son muy caudalosas y atraviesan la vía de un lado a otro. En ciertos casos existen puentes de madera que son provisionales o los definitivos de hierro o concreto, según el caso y su material, así serán sus componentes. Un puente se compone de los bastiones o pilares, construidos sobre el cauce del río, los apoyos en los lechos del río llamados estribos y piso o cubierta del puente sobre el cual se construye y apoya la línea del ferrocarril.

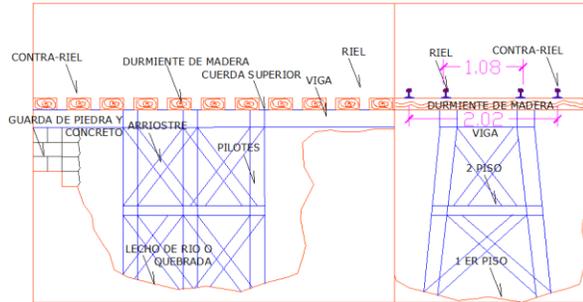


Figura 15. Detalle frontal y perfil de puente. (Fuente: Autor)

4.3 Sobre rellenos: son similares a los de alcantarilla, ya que en rellenos muy importantes es indispensable construir drenajes y canalizar el paso del agua para evitar que el material de relleno sea lavado. Estos dependen de la topografía y nivel de la línea; el material de relleno depende de cada una de las especificaciones y características del terreno.

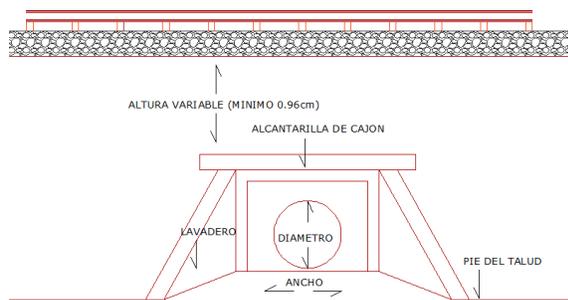


Figura 16. Detalle de relleno con alcantarillado. (Fuente: Autor)

5) A través de un túnel: esto se da en regiones montañosas donde se dificulta confeccionar un corte y si las condiciones del terreno lo permiten. Es necesario perforar el terreno para atravesar la montaña con la vía del tren. Estas secciones tienen cuatro partes básicas: el alto del boquete, el ancho del boquete, las paredes y el techo del cielo.

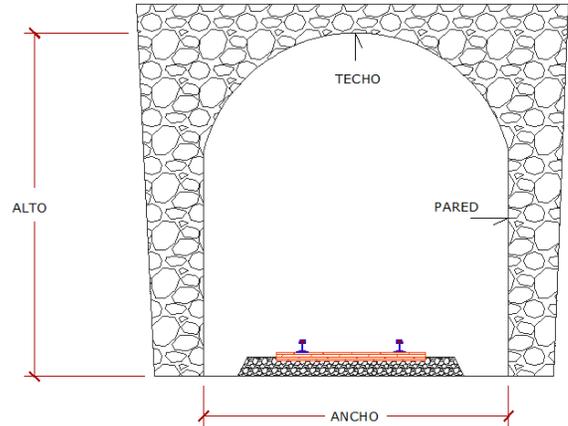


Figura 17. Detalle de sección en túnel. (Fuente: Autor)

Para cada caso y según los materiales y características del suelo, el techo se puede dejar sin revestimiento y donde se requiera, existen diferentes métodos de realizarlo.

Terminología Técnica

Vía férrea: es una infraestructura de transporte que utiliza el ferrocarril para trasladarse de un lado a otro. Esta infraestructura ferroviaria está formada por un conjunto de elementos que dependen de las condiciones del sitio por donde pase dicha vía.

La línea férrea se compone de: rieles, traviesas o durmientes, balasto o balastro y accesorios. Para su confección y construcción es necesario realizar movimientos de tierra, cortes y rellenos, además de obras complementarias como las vistas anteriormente: alcantarillas, puentes, drenajes, túneles, muros de contención.

Rieles: son elementos de acero en forma de barras que permiten guiar a la maquinaria del tren a través del camino. Dichos rieles tienen una forma de \mathbb{I} o H invertida, sus características de tamaño y resistencia dependen de su uso.

El riel se compone de tres partes básicas: cabeza, alma y patín. En Costa Rica el tipo más usado es el de 70, 75 u 80Lb por yarda del tipo ASCE con una sección entre: 10x10 cm a 12,5x12,5 cm. Sus características están reguladas por las normas AREMA.

La cabeza es el elemento superior y es la sección de rodadura. Alma es la que une el patín con la cabeza.

Cuando se unen dos rieles, se debe controlar que la separación máxima sea de 1 cm, sin importar el método empleado de unión.

El patín es la base y de mayor anchura que la cabeza y es de sección plana para apoyarse sobre las traviesas y permitir su anclaje.

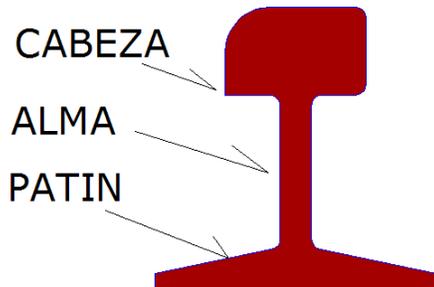


Figura 18. Detalle de Riel. (Fuente: Autor)

Existen de dos tipos: los ligeros y pesados.

1. Los ligeros son los que no exceden de 40 libras por yarda, usados para líneas donde no pasan maquinarias muy pesadas o no usadas para carga.
2. Los pesados son los que se encuentran entre las 40 lb y 80 lb por yarda. Estos son usados para requerimientos más estrictos de velocidad, seguridad y carga máxima a transportar. Además, son usados para transporte de mercadería, pasajeros y para líneas de alta velocidad.

Traviesas/durmientes: estos elementos pueden ser de acero, concreto y madera. Su función es unir los rieles de la vía con el balastro, transmitir las cargas al suelo y mantener el ancho de la vía. Su posición es transversal a los rieles y se colocan alrededor de 1620 por kilómetro.

Las traviesas de acero se encuentran en algunos puntos y se confeccionan con los mismos rieles, sin embargo, por ser dúctiles y no contar con suficiente área de apoyo, aplican mayor carga al terreno.

Algunas son secciones H de acero de mayor tamaño y otros que se encuentran son unos elementos grandes y anchos del tipo canoa; se dice que estos últimos durmientes son los originales que se instalaron desde la confección del ferrocarril.

Las traviesas de concreto permiten diferentes secciones y pueden formar híbridos con el acero. El tipo más sencillo es el mono

bloque, el cual es una pieza de hormigón armado; en la actualidad es el más usado y en Costa Rica lo producen empresas como: Productos de Concreto, Holcim, Escosa, entre otras.

Las traviesas bibloque consisten en dos piezas de hormigón armado o concreto confinado, unidas por una barra de acero.

Las de dos bloques son dos elementos de concreto por separado y estos requieren de mayor control y trabajo para su instalación.

Por su geometría y composición existen cuatro tipos de traviesas o durmientes.

- semi traviesas.
- traviesas de dos bloques.
- traviesas de dos rótulas.
- traviesas monobloque.

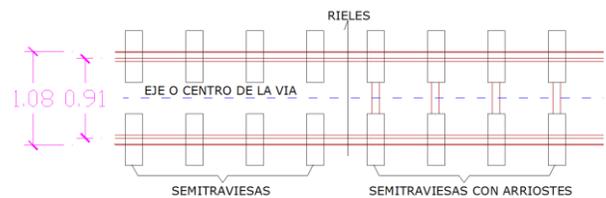


Figura 19. Detalle de semitraviesas y traviesas con arriostres. (Fuente: Autor)

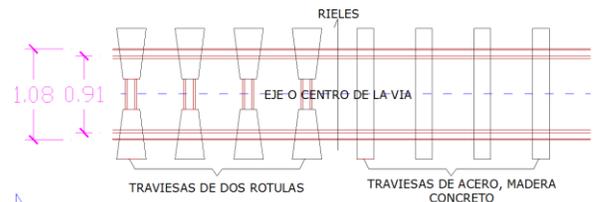


Figura 20. Detalle de traviesas de dos rótulas y detalle de traviesas sólidas acero, madera y concreto. (Fuente: Autor)

Traviesas de madera: en este tipo se encuentran clases diferentes que se definen específicamente por el tipo de madera que se utilice: dura, semidura y suave. La madera se debe obtener preferiblemente del duramen o corazón del árbol; las dimensiones básicas y más comunes son 6"x8"x7' (20.32 cm x15.2 cm x 2.128 m). La cara del durmiente de madera se llama escuadría.

El mayor problema es su degradación con respecto al tiempo (vida útil) ya que pueden perder peso que le aporta a la estructura, el cual es necesario para mantener la vía. Además de que las uniones con el tiempo pierden su efectividad.

El peso promedio de un durmiente de madera está entre 70 y 80 kg, por lo que son

fáciles de manejar e instalar, sin embargo, presentan los problemas antes mencionados.

Se debe especificar el uso del durmiente, si es para vía, para puente o de larguero en puente.

Su distancia de colocación es máximo de 60 cm centro a centro y en puentes de 50 cm de centro a centro.

A estos durmientes, por lo general, se le hacen muescas o gavetas para asentar las placas que permiten el anclaje.

De las maderas más utilizadas se encuentran: Encino, Pino, Manu negro, Casha, Corteza de Venada, Cola de Pavo, Jícara o Gavilán y se toma el corazón del árbol conocido como Duramen.

Balasto o Balastro: esta sección tiene por objeto proporcionar un buen drenaje, para que el agua de lluvia se filtre, llegue hasta la corona y mediante su bombeo, escurra hacia los taludes y finalmente a las cunetas.

El material usado tiene que ser de buena calidad para que permita drenar, transmitir las cargas, limpio de materia vegetal, preferiblemente irregular y confeccionado con piedra triturada y no mayor a un diámetro de 3,81cm (1 ½”) ni menor a 1,90cm (3/4”).

Por lo general, este material se toma de las zonas más cercanas de donde pase la vía, tales como piedra triturada de río, piedra de mina, tajo o de volcán.

El material ideal es piedra triturada, preferiblemente rocas pesadas, sin grietas ni huecos. Las más usadas son: piedra caliza, el granito y lava volcánica. Su espesor varía entre los 20 cm y 30 cm.

Existen diferentes accesorios que permiten confeccionar la línea férrea, tales elementos permiten la unión entre rieles, estos se conocen como conectores, eclisas o bridas y existen 3 diferentes tipos, Splice, Full Toe Short Toe, confeccionados de acero y son, prácticamente, placas metálicas que se colocan a ambos lados de los rieles y se unen mediante pernos especiales.

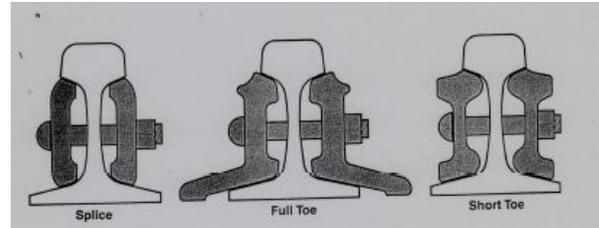


Figura 21. Detalles de tipos de eclisas. (Fuente: Incofer)

Eclisas o bridas: son los elementos que sirven o tienen por función unir los rieles entre sí, son sumamente necesarios, pueden ser con placas y pernos con tuercas, estos se usan en las almas del riel y permiten unirse, ya que el riel en sus extremos tiene perforaciones que permiten el paso de los tornillos o pernos.

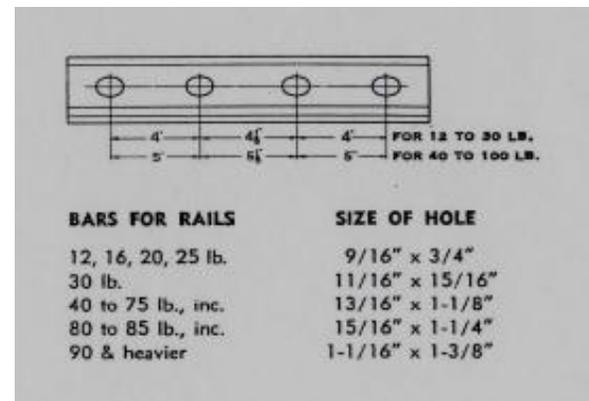


Figura 22. Detalle longitudinal de eclisas. (Fuente: Incofer)

La figura anterior muestra la separación y tamaño de los huecos que deben tener las eclisas dependiendo del tipo de riel por unir. Las placas existen de dos tipos Splice Bar y Angle Joint Bar.



Figura 23. Detalles de tipos de eclisas. (Fuente: Incofer)

La figura anterior muestra las formas que tienen las placas de los diferentes tipos de eclisas, la primera queda completamente embebida en el perfil del riel y la segunda cuenta con un ángulo en la placa que se apoya sobre el durmiente.

También, existen uniones soldadas mediante soldadura aluminotérmica.

La sujeción entre rieles es sumamente importante, sin embargo, no podemos ignorar las uniones entre rieles y los diferentes tipos de durmientes que tenemos, ya que estos elementos horizontales son los que se encargan de transmitir y distribuir las cargas al suelo.

Existen diferentes anclajes o sujeciones entre rieles y durmientes, su diferencia básica radica en el tipo de durmiente o traviesa que se utilice, ya sea de acero, madera o concreto.

Sujeción en concreto: los durmientes modernos de concreto son prefabricados y estos ya vienen con los pernos de acero que salen y son solo de aplicar una placa metálica y su debida tuerca, este sistema ya se está utilizando en Costa Rica y es la sujeción y sistema más utilizado.



Figura 24. Detalles de durmientes prefabricados en concreto con sujeciones de acero. (Fuente: Escosa)

Sujeciones de rabo de chanco o conocido como clip elástico: estos clips de sujeción son elásticos y de alta resistencia, especiales para la sujeción entre rieles y durmientes de concreto o madera, por lo general son de 13 mm a 15 mm y se recomienda su cambio por fatiga después de los 5 millones de usos o veces que pasa el ferrocarril.



Figura 25. Detalle de clip de acero para sujeciones, conocido como rabo de chanco por su forma. (Fuente: Incofer)

Sujeciones multifuncional, para concreto y madera: pandrol o anclas de riel: son conocidas también como rabo de chanco, su función es fijar el riel a la traviesa, por medio de un perno ondulado en forma de F, U o W, que se une a una placa metálica que tiene un hombro o dos, dependiendo de las necesidades.

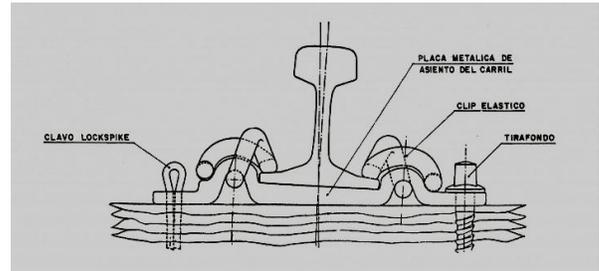


Figura 26. Detalle de clip de acero para sujeciones, en durmientes de madera. (Fuente: Incofer)

Sujeciones en Madera: son mediante placa metálica y clavo, este clavo es como un cincel con un alma larga y puntiaguda y con una cabeza grande que permite asegurar el riel al durmiente mediante placas metálicas. La función de este sistema, como los demás, es mantener el riel en su lugar y mantener su distancia.



Figura 27. Detalle de clavo de acero para durmientes de madera. (Fuente: Incofer)

Este tipo de clavo antes de su uso debe ser sumergido y bañado en aceite para lubricarlo y evitar la corrosión a corto plazo.



Figura 28. Detalle de sujeciones de placa con clavo de acero para durmientes de madera. (Fuente: Incofer)

Otros tipos de sujeciones en madera son: tipo F, U y W. Estas figuras son de acero y tienen la

forma para evitar las fugas o pérdida de sujeción entre los elementos, son fáciles de aplicar y se usan herramientas similares a las demás sujeciones, se pueden aplicar sobre piezas nuevas y usadas, además, permiten ser desinstaladas para realizar mantenimientos o reparaciones.

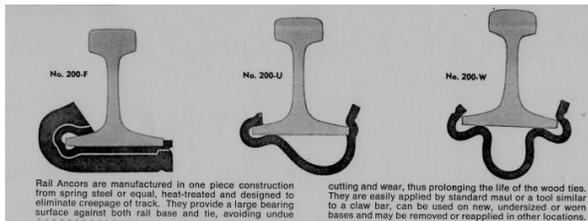


Figura 29. Detalle de sujeciones. (Fuente: Incofer)

Con placas metálicas de unión tales como: de solo un hombro o doble hombro, su uso varía de acuerdo con las necesidades y los dos hombros brindan mayor anclaje y estabilidad

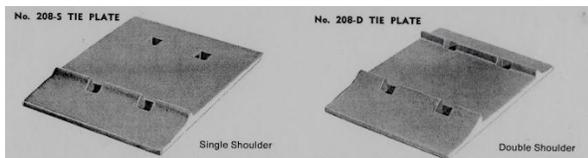


Figura 30. Detalle de sujeciones. (Fuente: Incofer)

Sujeciones en acero: como también existen diferentes durmientes en acero, podemos catalogar diferentes métodos de sujeción para los rieles y los durmientes, esto depende de cada uno y sus características, además de su uso y fin.

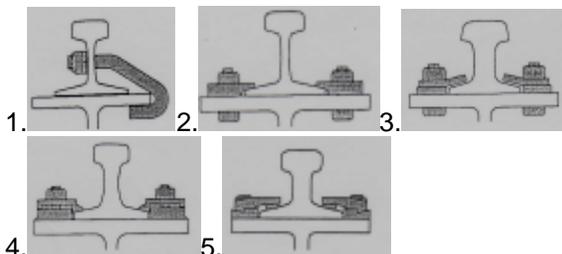


Figura 31. Tipos de sujeciones sobre durmientes de acero. (Fuente: Incofer)

1. Pernos de gancho: estos son los más usados para rieles de 85lb/yarda o menos y utiliza arandelas de seguridad.
2. Clips de riel: están fabricados para todo tipos y tamaños de rieles y

permiten una tolerancia de 1/32 pulgadas.

3. Abrazaderas de riel: estos son fáciles de instalar y alinear durante su colocación y funcionan para cualquier tipo de riel.
4. Abrazaderas súper fuertes: sistema similar a las abrazaderas sencillas, sin embargo, se utilizan para fijaciones de mayor resistencia y demanda.
5. Clips de sistema pórtico: Este sistema funciona como las abrazaderas, sin embargo, tiene una "naiz" sintética que permite un mayor control de las fuerzas verticales.

Infraestructura ferroviaria

El ancho de vía internacional corresponde a 1,435 m, ancho que se le acredita a los antiguos romanos, ya que las trochas que construían eran para que las carrozas pudiesen pasar con comodidad. La medida corresponde al ancho de dos bestias que jalaban dichas carretas o carrozas; por asuntos de economía y fines prácticos, solo colocaban una calzada de piedra a cada lado de la trocha por donde pasaran las llantas y esta medida de centro a centro correspondía a 1,435m, por lo que con el paso de los años se utilizó como ancho estándar en diferentes países.

Todas aquellas vías que se encuentren por encima del ancho estándar se denominan vías anchas y todas las que se encuentren por debajo se denominan vías angostas. La distancia interna entre los rieles se denomina trocha.

Costa Rica está denominada como vía angosta, dado que su ancho de vía es de 1,067 m que para fines prácticos se toma el valor de 1,07m y 1,08m en curvas.

A lo largo de la historia cada país ha seleccionado su ancho de vía y a continuación observamos algunas.

Diferentes anchos de vías alrededor del mundo:

500mm: Argentina.

600mm: Portugal, Brasil, España y Chile.

762mm: Austria, Bosnia, Herzegovina.

914mm: Canadá, Colombia, EEUU.

1000mm: África, Alemania, Bangladés.
1067mm: Austria, Ecuador, Costa Rica.
1435mm: Asia, Sudamérica, Europa.
1520mm: Mongolia, Unión Soviética.
1524mm: Finlandia.
1600mm: Australia, Brasil e Irlanda
1668mm: España y Portugal
1676mm: India, Pakistán, Sri Lanka

Estos son algunos de los anchos de vías utilizados, sin embargo, cabe destacar que los anchos de vía mencionados varían según su uso y zona en cada país.

Los trenes denominados trenes rápidos que viajan hasta a 250km/h usan ancho de vía estándar.

Según Coto (2008), la escamadura: es un efecto que se produce en el riel y es una descalcificación o desfibrado sobre la superficie de rodadura y el borde activo del riel.

Entendiendo como borde activo al borde interno del riel sobre el cual se sustentan las ruedas de la locomotora. Este efecto lo podemos detectar con algunos de estos síntomas, que ocurren en orden cronológico en su efecto:

- Manchas negras y alargadas.
- hendiduras a lo largo del riel.

Por los efectos anteriores y la corrosión se produce la escamadura. Esto daña la sección del riel, puede ser seccionada o a lo largo de toda la pieza.

Los puntos donde ocurre con más frecuencia son: en las curvas, esto ocurre por:

- la geometría de la vía,
- colocación de los componentes,
- por la tracción de los ruedas y el desgaste que produce en las superficies.

La solución al encontrarse este caso es: sustituir el riel.

Terminología legal y marco regulador

Parte del marco regulador que permite ejecutar y decretar son los incisos 3) y 18) del artículo 140 de la Constitución Política; la Ley No 4786 del 5 de julio de 1971 y sus reformas: la Ley No 5066 del 30 de agosto de 1972; la Ley No 7001 del 19 de noviembre de 1985; y el Decreto Ejecutivo No 13069-T del 29 de octubre de 1981.

La ley general de ferrocarriles es la ley # 5066 publicada el 30 de agosto de 1972, con la finalidad de definir los:

1. Principios fundamentales: como definir que el ferrocarril es servicio público cuya prestación es facultad exclusiva del Estado, el cual podrá suministrarlo a través de concesionarios particulares.
2. Organismos Públicos: donde define los involucrados tales como: MOPT y todas sus funciones, tales como velar las disposiciones de esta ley y sus reglamentos.
3. Concesiones y su debido procedimiento.
4. Servicios y obligaciones de empresarios.
5. Disposiciones Generales: donde el MOPT tiene la atribución de vigilar la explotación correcta, eficiente y segura de los servicios ferroviarios.
6. Prohibiciones y Sanciones: donde les brinda a los conductores de trenes las mismas prerrogativas de las autoridades de policía para el efecto de aprehender a los autores de faltas o delitos cometidos durante el viaje, pero deben entregarlos a las autoridades para su debido juzgamiento y tramite correspondiente.
7. Culmina con disposiciones finales y transitorias.

Esta Ley es parte del marco regulador sobre lo que a trenes y ferrocarriles corresponde. Sin embargo, para definir el derecho de vía se cuenta con el decreto del Mopt N°22483 que define:

Derecho de vía:

Artículo 8°- Derechos de vía en la sección Cartago – Las Juntas.

- Incluye la sección de vía comprendida entre Cartago (km. 146,4 de Limón) hasta Las Juntas (km. 65,0m de Limón). A partir del centro de la vía 10,00 metros (diez metros) a ambos lados en terreno plano.
- En los terrenos con corte o relleno serán 5,00 metros (cinco metros) a ambos lados de la vía a partir de los cortes o del pie del talud.
- En el área urbana de la ciudad de Cartago será de 5,00 metros (cinco metros) a partir del centro de la vía

Diseño de redes ferroviarias

Según la AREMA (2002), para el diseño ferroviario, no se encuentra o cuenta con una norma específica que rijan los diseños en el país, nuestros diseños y trazos están basados en las especificaciones que trajeron los ingleses mediante Minor Keith y la Northern Railway Co.

Este efecto se da en toda América, ya que los diseños norteamericanos se basan en las normas europeas y las sudamericanas están basadas en las norteamericanas.

Según Manual Chileno (2003), los criterios básicos varían en función del uso y las necesidades que se quieran brindar, por ende, los factores más importantes son velocidad de rodamiento y uso, el cual determina el peso y por ende, el tipo de riel por usar.

Como el diseño de carreteras el trazo de las curvas y demás, están en función de la velocidad.

También de la ubicación geográfica, topografía, condiciones de suelo, red hidrológica del lugar y zona donde se desarrolla la vía.

Para esto existen dos tipos de tracción o energías que mueven las locomotoras: la de diesel y la eléctrica, para esta segunda se requieren una serie de características adicionales, tales como catenarias, estaciones de subestación entre otros.

Algunos aspectos específicos para el trazado son:

- definición del proyecto,
- cruces de vías y red de transportes,
- criterios de confinamiento de vías,
- requerimiento de líneas secundarias,
- requerimientos de capacidad,
- velocidad de circulación.

Para el diseño se cuenta con algunos conceptos básicos:

El trazado: el factor más importante debido a su incidencia en los costos directos de inversión y la captación efectiva del tráfico proyectado, lo cual afecta los costos de operación y mantenimiento de la vía, infraestructura, superestructuras y equipos rodantes.

La alineación de rectas: una máxima en el diseño de vías ferroviarias es en disponer la mayor cantidad de tramos rectos y horizontales,

ya que esto, además de influir en los costos directos, también afecta en los itinerarios y horas de servicio para el usuario.

Esto incide en el precio que se pueda cobrar por el uso y su recaudación para reponer la inversión.

Además, cuanto más corto sea el tramo más económico es la inversión de la construcción. Además de que al ser más tramos rectos mayor podrá ser la velocidad de ruedo.

Cuanto más planas sean las rectas menos se forzará la máquina, lo cual disminuye los procesos de frenado y aceleración, esto disminuye directamente en el desgaste de las máquinas y en la energía que consuman para caminar.

La alineación de curvas: Las curvas de gran radio inciden directamente en los costos de explotación, confección, mantenimiento, entre otros.

Estas afectan en el frenado, aceleración, desgaste de maquinarias y tiempos de duración, por ende, un mayor consumo de energía y recursos.

Estas se pueden clasificar en tres tipos:

1. curva sencilla: un solo radio,
2. curva compuesta: sucesión de curvas,
3. curva compuesta sentido contrario: curvas tangentes entre sí.

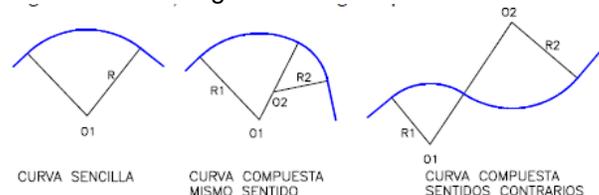


Figura 32. Tipos de curvas. (Fuente: Manual Chileno 2003)

Las normas de EFE establecen que los radios mínimos para vías eclipsadas, que son en nuestro caso en la mayoría, son de 180 m y para vías soldadas es de 550 m.

Peralte: se realiza para evitar la fuerza centrípeta que se produce por la aceleración tangencial del equipo a través de la curva. Por este efecto el riel externo de la curva debe estar más alto e inclinado que el interno. Para ocasionar el equilibrio entre el peso y la gravedad.

Esta diferencia se llama peralte y debe tener un valor mínimo dado por la ecuación:

$$h = T \times \frac{V^2}{gR}$$

Ecuación 1. Cálculo de peralte. (Fuente: Manual Chileno 2003)

Donde,
H: es el peralte,
T: es la distancia entre los ejes de los rieles (no es la trocha),
V: es la velocidad de circulación,
G: es la aceleración de gravedad,
R: es el radio de la curva.

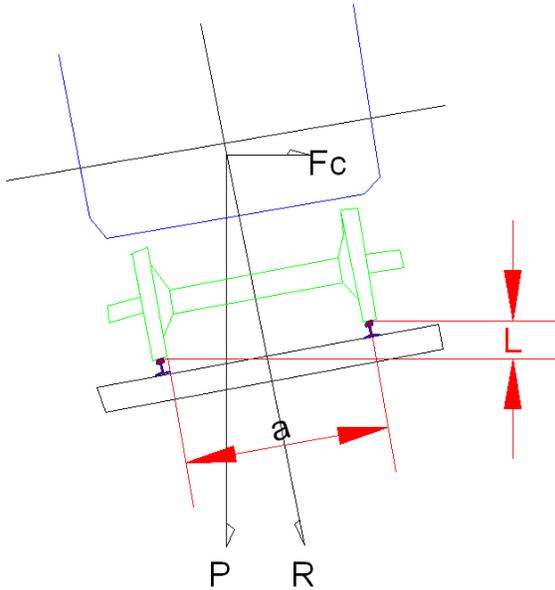


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre de un vagón en curvas con peralte. (Fuente: Manual Chileno 2003)

La alineación de rampas: como en las curvas cuanto mayor inclinación tengan, más costoso serán la confección, uso y mantenimiento. Esto afecta la capacidad de arrastre de los equipos, cantidad de carga y pasajeros que puedan transportar. Para proyectos de pasajeros la pendiente máxima es de 30%, mientras que para carga lo máximo recomendado es 15%.

La plataforma y el balasto: la calidad de la plataforma o trapecio, además del balasto, son fundamentales para la geometría de la vía, su uso y mantenimiento.

Datos prácticos para nuestras vías: según las normas de EFE si la aceleración no pasa de los 0,4m/s² se pueden usar las siguientes ecuaciones:

$$\Delta h = a_{sc} \times \frac{T}{g}$$

Ecuación 2. Cálculo de peralte. (Fuente: Manual Chileno 2003)

La trocha en Costa Rica es de 1,07 m, por lo que la distancia entre los ejes (T) es igual a 1,0 m, por lo que el peralte equivalente es de 40 mm.

Si a las curvas se le da el peralte máximo admitido de 170 mm, la velocidad máxima está dada por.

$$V_{max} = 4,2\sqrt{R}$$

Ecuación 3. Cálculo de velocidad máxima. (Fuente: Manual Chileno 2003)

Según Incofer la velocidad límite para trenes regulares y de pasajeros para el tramo en estudio, está determinada por dos parámetros: desde Las Juntas a El Rincón es de 35 km/h y desde El Rincón hasta el kilómetro 163,6, que es después de Curridabat, la velocidad máxima es de 40 km/h.

Sin embargo, si son carro-motores o ferrobuses, la velocidad máxima permitida es de 35km/h para los primeros y 40 km/h para los segundos.

Señalización

Según Manual Chileno (2003), la señalización en cualquier sistema de transporte está basada en los sistemas de control de tráfico y las cuales determinan la operación de las actividades asociadas a cada actividad.

Para las operaciones de un ferrocarril que se desarrollan en medios urbanos y suburbanos, se debe garantizar la seguridad de los usuarios del sistema así como de los transeúntes y conductores en el transporte público y privado de las redes de carreteras, por lo que la señalización es de suma importancia.

Estos sistemas están compuestos por todos los elementos y materiales destinados para lograr un movimiento de los trenes con todas las condiciones de seguridad y evitar accidentes.

En la historia podemos reconocer tipos de accidentes:

- Encuentros frontales: dos trenes en la misma vía pero dirección contraria.

- El alcance de trenes: en una misma dirección.
- Convergencia: dos trenes que viajan por rutas independientes y llegan al mismo punto.
- Roce o choque lateral: dos trenes experimentan una colisión lateral debido a la interferencia de sus gálibos (zonas geométricas que deben estar libres de obstáculos).

Las señales para el ferrocarril se clasifican según sus funciones, características físicas y los aspectos que representan.

Tipos, según sus funciones: (fuente manual):

- principales,
 - de entrada,
 - de Salida,
 - intermediarias,
 - de maniobra:
 - para ingreso de vías ocupadas,
 - para ingreso de vías desocupadas.
- Auxiliares:
 - indicadores de destino,
 - indicadores de velocidad,
 - indicadores de dirección,
 - indicadores de cruce,
 - de reanudación,
 - otras.

Existen diferentes tipos de señales y cuentas con diferentes variaciones, por ejemplo los semáforos, son capaces de mostrar la misma información pero de una forma diferente de confección.

Señales mecánicas: como su nombre bien lo dice actúan mediante mecanismo y engranajes y no contienen dispositivos eléctricos.

Por lo general, tiene brazos mecánicos que pueden moverse en varias direcciones, por ejemplo: cuando está vertical significa vía libre, cuando está acostada indica parada.

Los colores de los brazos dependen de los diferentes tipos de señales y lo que esta indique, y en algunos casos, disponen de iluminación para ser entendidas durante la noche.

Señales de luces de colores: muy similares a los semáforos usados en nuestras carreteras, con la particular diferencia que la posición de las luces y su significado es diferente.

Estas señales usan lentes tipo Fresnel que permiten que la luz sea visible desde una distancia muy larga y no que tenga un ángulo reducido.

Señales por posición de luces: es una combinación de los dos anteriores sistemas, su forma es como un plato que contiene varios focos y se proyectan diferentes luces, dependiendo de su ubicación e indicación tienen un significado, estas indican desde vía libre, parada, entre otros aspectos.

Sistemas de monitoreo

Los sistemas de monitoreo son de vital importancia para el mantenimiento efectivo de la vía, equipos e infraestructura.

Este inicia con la observación de los choferes de las locomotoras y personal de mantenimiento, sin embargo, gracias a la tecnología de hoy podemos insertar diferentes tipos y sistemas de monitoreo en los sectores requeridos o de mayor peligro.

Los puestos de comando de tráfico, monitoreo y receptores de información son una pieza fundamental en el control y monitoreo de las vías, ya que permiten controlar el tráfico, controlar rendimientos, valorar la vía y recibir la información.

Para diseñar estos puestos de control se deben tener en cuenta diferentes términos como:

1. Puesto de comando local: un puesto para una o dos zonas de maniobras aledañas,
2. Puesto de comando centralizado: puesto para varias zonas o una red completa.

Para la confección de estos puestos se deben considerar aspectos mínimos, tales como:

- plano en planta del esquema de las vías por controlar,
- ubicación del puesto de mando,
- áreas geográficas de influencia,
- cantones de vía y sus circuitos de vía, si procede,
- señales por controlar,
- aparatos de cambio por controlar,
- relación con otras instalaciones,
- listado de maniobras locales,
- listado de maniobras centralizadas,
- listado de comandos por ruta, si procede,
- características de la movilización en las intersecciones,

- maniobras y rutas alternativas ante situaciones de emergencia,
- tablas de enclavamiento.

Si importar los sistemas que se utilicen se debe contar con los requerimientos físicos necesarios como: cabina adecuada, sistemas de comunicación, las mesas de mando, teléfono, internet, micrófonos, parlantes, etc.

Estos centros de mando y monitoreo deben regular, además, la seguridad, señalización, control de la vía, rendimientos, tiempos, entre otros.

Entre las tecnologías modernas para control y monitoreo de la infraestructura ferroviaria se han comenzado a implementar sistemas de sensores ópticos para trenes de alta velocidad, monitoreo de rieles o hasta puentes y taludes.

Estos sistemas brindan información basados en las vibraciones, aceleración y los cambios de temperatura que registra la fibra y por el mismo cable viaja la información y la recibe un computador que mediante un *software* interpreta la información y brinda los reportes. Esto permite realizar un análisis de la infraestructura ferroviaria a todo lo largo o puntos específicos. También, permite analizar el estado de la locomotora, vagones y facilita los trabajos de mantenimiento.

Las ventajas que este sistema ofrece es que son muy pequeñas y fáciles de instalar, no sufren interferencia por instalaciones eléctricas cercanas. Esto permite que los sensores se instalen en puntos que eran inalcanzables por las tecnologías existentes y ser ahora fácilmente monitoreadas.

Los sistemas de monitoreo de cable de fibra óptica que se instalan en los rieles pueden alcanzar hasta una distancia de 100km, sin sufrir interferencia o problemas de fiabilidad de la información. Además que también permiten medir: temperatura, presión, vibración, aceleración, inclinación, deformación, entre otros aspectos, esto permite grandes ahorros económicos en uso y mantenimiento.

También, existen sistemas de tecnología en fibra óptica que permiten monitorear puentes, estructuras importantes, túneles y taludes mediante red tipo membrana de fibra óptica que se colocan sobre los terrenos.

Estos sistemas ya han sido incorporados en países como China y fueron creados en tres universidades de la ciudad de Hong Kong, con

colaboración de la empresa privada. Como otro ejemplo se tiene el grupo Osmos en Francia.

Cabe mencionar que Costa Rica cuenta con pocas señales especializadas para ferrocarriles; los años de abandono, la delincuencia y la falta de mantenimiento, hacen que la existencia de estas señales sea casi nula. Sin embargo, por parte del Mopt y la Policía de Transito, se mantiene diferentes tipos de señales de reglamentación, prevención e información con respecto a las intersecciones de las vías con la línea del ferrocarril, por lo que son más factibles de encontrar, ya que se cuenta con algunos tramos de red habilitada y dando el servicio.

Elementos para la electrificación del ferrocarril

Según el Manual Chileno (2003), el sistema eléctrico en los ferrocarriles precede desde principios del siglo XX y su esquema básico no ha variado mucho con el paso de los años.

Al escocés Robert Davidson se le acredita el primer tren eléctrico en 1837, que funcionó mediante celdas galvánicas o baterías.

Originalmente la alimentación para trenes de tracción fue de corriente continua, con el fin de alimentar de forma directa los motores de las locomotoras, por lo que serían capaces de desarrollar diferentes velocidades y de gran impulso o torque inicial en el arranque.

Con el pasar de los años y el uso de nuevas tecnologías, se logró desarrollar la alimentación por corriente alterna a voltajes más elevados, gracias al desarrollo de rectificadores simples de menos costo. Estos simplificados rectifican la corriente y permite la alimentación de motores de tracción de corriente continua.

La electrificación en los ferrocarriles presenta dos tipos de problemas, el transporte de la energía hasta los equipos móviles que la consumen y el otro es el uso de la energía en la locomotora.

Por lo que esto hace variar los diseños de cada uno de los diseñadores y modelos, esto ha llevado tener dos tipos de sistemas para cada necesidad, uno que se especializa en el transporte, transformación y distribución, los

segundos se especializan en la optimización eficiente de la utilización de la energía en los equipos rodantes.

Estructura básica del sistema:

El sistema de alimentación eléctrica para los ferrocarriles se divide en 5 subsistemas básicos diferentes:

1. Sistema de distribución pública de energía: comprende desde las centrales de subestación eléctrica hasta la alimentación del sistema ferroviaria. En Costa Rica generalmente viaja en corriente alterna en voltajes de 138kV y 230kV.
2. Sistema de distribución interna: es propio de la infraestructura ferroviaria, este abarca desde los empalmes de la alimentación del sistema público hasta los sistemas de subestaciones, estos sistemas pueden no existir si el ferrocarril cuenta con sus propias subestaciones y son alimentadas directamente por la energía pública.
3. Sistema de transformación: va desde las subestaciones eléctricas del ferrocarril, los que las transforman, filtran, regulan y eventualmente rectifican la energía eléctrica, para dejarla en condiciones para alimentar directamente los vehículos del ferrocarril. En Costa Rica los voltajes normalmente son de 38kv y 13,8 kv.
4. El sistema de alimentación a los trenes: abarca desde la salida de la subestación hasta los aparatos tomacorrientes de los vehículos, formado por las catenarias simples o compuestas, barras de alimentación u otros aparatos similares. En Costa Rica cuando existieron trenes eléctricos estos funcionaban normalmente a 15 kv a 20 Hertz y 25 kv a 50 Hertz, en corriente alterna
5. Sistema de comando y control de los otros sistemas anteriores. Esta comprendido por:
 - a. comandos automáticos,
 - b. comandos locales en los equipos,
 - c. comandos y controles desde el puesto de subestación,
 - d. control desde un puesto centralizado.

Los voltajes y corrientes de alimentación para fines de alimentación a trenes voltajes mayores de 30kV, no resulta práctico, esto debido a que presentan muchas dificultades derivadas a los interruptores, contactares, disyuntores y todo tipo de trabajo práctico para trabajar físicamente la alimentación y las máquinas de tracción trabajan en el orden de los 1,5 kV y cuando se usan 3,0 kV por lo general es para alimentar motores de 1,5 kV colocados en serie.

El desarrollo de la corriente alterna ha llevado a una optimización en el proceso y reducción de costos operacionales y fijos, limitando a las subestaciones a funciones de transformación, regulación y al transporte de la misma.

La corriente alterna estándar es de 25 kv a 50 Hertz, y otra usada con menos frecuencia es 15 kv a 20 Hertz. Estas fueron usadas en los trenes de Costa Rica cuando los trenes eran eléctricos.

Según Incofer en Costa Rica el tren al pacífico se alimentaba por una planta generadora propia del Incofer en Tacaes y la alimentación para el Caribe estaba suministrada por las compañías nacionales de electrificación, según la zona.

Este circuito se compone por una fuente de energía, la subestación eléctrica, una línea de contacto, catenaria o barra de alimentación, el vehículo ferroviario que es el que finalmente consume la energía y un conductor de retorno que cierra el circuito, que normalmente son los rieles de la vía.

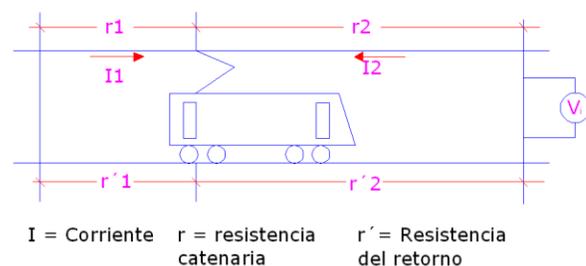


Figura 34. Diagrama del circuito eléctrico para alimentación de locomotoras eléctricas. (Fuente: Manual Chileno 2003)

Catenaria rígida: la catenaria rígida está constituida por un perfil de aluminio extrudido, que lleva un canal donde se inserta un hilo de cobre como contacto estándar, ambos elementos forman una sección conductora equivalente,

adecuada para las corrientes de diseño en el sistema.

Este tipo de catenaria se utiliza en secciones de túneles, cuyo techo se afianza cada 10m, presentando un galibo reducido, lo que permite, a su vez, reducir la sección del túnel, por ende, una reducción en costos.

Otras tecnologías utilizadas:

Debido a las facultades de llevar corriente a altas velocidades, se han buscado nuevas tecnologías e investigaciones en otros métodos de alimentación, tales como:

La alimentación por tercer riel: este sistema, como todos, ofrece ventajas y desventajas de las cuales podemos enumerar las siguientes:

1. Es un material de alta rigidez y no sufre deformaciones sensibles, ni por su peso ni por el paso del pantógrafo tomacorriente horizontal. Lo que se traduce en una mayor estabilidad en la transmisión de la energía, la ausencia de arcos y las pérdidas.
2. Cuando se requieren altas corrientes de tracción, por la frecuencia y potencia, se necesita un conductor de mayor sección, como por ejemplo una mayor que una catenaria rígida con hilo de cobre, para este tipo de corrientes, por lo general se ocupan secciones de 900m² de cobre, que es el doble que la catenaria rígida.
3. El galibo o área efectiva dentro del derecho de vía, es menor, por lo que es una excelente opción para trenes metropolitanos y suburbanos.
4. No requiere mantenimiento, esto debido a la solidez de los elementos que la componen, tanto así como un riel.

Como todo sistema siempre presenta ventajas y desventajas y este no es la excepción, por lo que se presentan las más representativas:

Al estar a nivel de piso, presenta un alto un riesgo de electrocución de personas y animales.

Por la misma circunstancia de encontrarse en el suelo, hace que se limite la tensión de 500V a 800V, sin embargo, en algunas regiones del mundo sí logran utilizar voltajes mayores, como por ejemplo, el metro de Barcelona: 1,5kv.

En pasos a nivel, intersecciones, infraestructura en la vía y zonas de maniobras, el

flujo eléctrico se debe interrumpir, por lo que presenta grandes complicaciones.

Antecedentes de amenazas geológicas

Las amenazas geológicas son muy importantes en todo Costa Rica, al ser un país tan pequeño y tener siete volcanes en 51 100 km², de los cuales solo a tierra corresponde 50 660 km², ya que el resto pertenece al patrimonio marítimo por lo que está considerado unos de los veinte países más ricos del mundo en biodiversidad.



Figura 35. Mapa físico geográfico de Costa Rica. (Fuente: Ovsicori 2012)

Para este proyecto, se reportarán tres tipos de amenazas geológicas: 1. Amenazas por sismo, 2. Amenazas por lluvia e hidrología y 3. Amenazas volcánicas.

1. Amenazas por Sismo:

Costa Rica se encuentra sobre dos placas tectónicas que se encuentran en constante movimiento por subducción, esto entre las placas de Cocos y Caribe, por lo que El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (Ovsicori), reporta mínimo un moviendo diario, con una magnitud mínima de 2,5 en la escala de Richter.

A continuación un mapa de estaciones de medición colocadas a todo lo largo y ancho del país.



Figura 36. Ubicación de estaciones de mediciones en Costa Rica. (Fuente: Ovsicori 2012)

Tipos de peligros sísmicos:

Las ondas sísmicas son de cuatro principales tipos y se propagan en la tierra a diferentes velocidades:

- Onda sonora u onda P: esta es la primera que llega y hace vibrar primero las construcciones.
- Onda de corte u ondas S: Son las más destructoras, debido a que hacen que la tierra se mueva en ángulo recto de la dirección y propagación de la onda del sismo.
- Ondas de superficie de baja frecuencia: estas ondas tienen poca velocidad de propagación y se sienten más lejos de los epicentros y estas causan la oscilación lenta de las estructuras y las olas de los embalses de agua.

Los eventos geológicos de sismo o terremotos son capaces de producir los siguientes efectos:

1. sacudimientos del terreno,
2. fallamiento en superficie,
3. deslizamientos y licuefacción:
 - a. avalanchas de roca,
 - b. flujos rápidos del suelo,
 - c. caídas de roca.
4. tsunamis:

De cada uno podemos mencionar algunos aspectos principales.

- Sacudimiento: o movimiento del terreno, es la principal causa del colapso parcial o total de las estructuras, que se ocasiona por el movimiento de la tierra causado por las ondas sísmicas durante un temblor.

Las características principales que influyen en el daño que pueda ocasionar a la estructura dependen de: la magnitud, atenuación, duración y la respuesta del sitio. El potencial de fallamiento del terreno influye en la afectación final que sufran las estructuras.

Contemplando las disposiciones del diseño y otros puntos estructurales.

- Fallamiento: en la superficie es el desplazamiento o la ruptura de la superficie del terreno debido a un movimiento diferencial a lo largo de una falla durante un sismo.

Este efecto se da cuando la magnitud del movimiento es mayor a los 5,5 grados en la escala de Richter, en el área del epicentro. Los daños más graves pasan a lo largo de la falla en unos 300m de ancho, aunque de igual forma ocurren fallas y rupturas subsidiarias a 4 km de ancho.

- Deslizamientos y licuefacción: los desplazamientos ocurren en gran variedad de formas, pero estos son los ocasionados en el terreno por movimientos sísmicos. Estos tipos de fallas y las fallas por licuefacción en los terrenos arenosos son efectos potencialmente catastróficos.

Por este motivo debe existir un ángulo de reposo para cada tipo de suelo existente, por lo que una medida o proporción razonable está dada en el manual del ferrocarril al Atlántico el cual estipula tres parámetros de relación según tipo de suelo.

Para taludes de tierra considerar una relación de 1:1, para roca suelta 0,5:1 y para roca fija 0,25:1.

Los cuales sirven de referencia en casos prácticos o de ejecución en campo.

- Tsunami: son sismos que se producen en el océano y producen fuertes oleajes que son capaces de inundar las playas, ciudades, etc.

Antecedentes de amenazas hidrometeorológicas

Costa Rica es un país con una hidrografía muy importante ya que si se observa un mapa de los ríos, es como si observáramos una radiografía del país o ver todo el sistema circulatorio del cuerpo humano.

Los ríos en Costa Rica son tumultuosos, cortos y caudalosos, se precipitan en grandes pendientes entre los sistemas montañosos y llegan hasta las dos costas, aunque la mayoría de ríos del norte desembocan en el lago de Nicaragua, en el pacífico los ríos son cortos y profundos, mientras que en el Atlántico deben atravesar grandes llanuras.

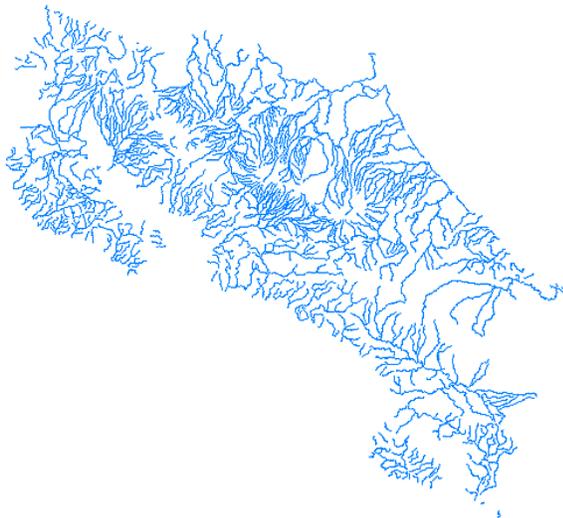


Figura 37. Mapa de Ríos de Costa Rica. (Fuente: Ovsicori 2012)

Por lo que la influencia y la amenaza por vulnerabilidad ante inundaciones, lavaderos en los terrenos y la falta de canalización de las aguas son un factor importante para analizar, a todo esto sumando que la época lluviosa de Costa Rica es de casi ocho meses dependiendo de las regiones y los microclimas que se registran por ser un país de clima tropical. Teniendo un registro histórico en el valle Central de una precipitación máxima por encima de los 400mm en septiembre y octubre.

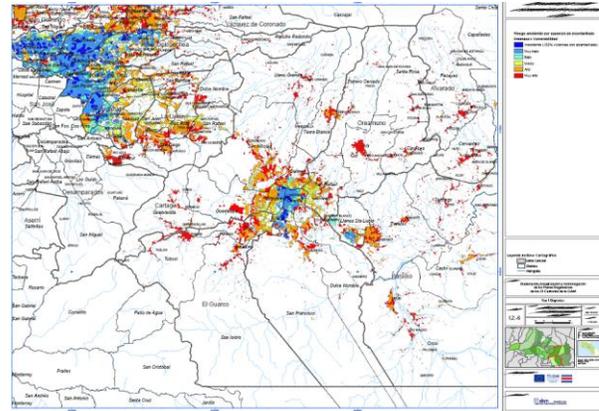


Figura 38. Mapa de riesgo ambiental por ausencia de alcantarillado y amenazas por vulnerabilidad. (Fuente: CNE 2012) ver anexo 1.

Este mapa permite estudiar las zonas por las cuales pasa la línea férrea en estudio y determinar las amenazas que puede sufrir por vulnerabilidad.

Tipos de peligros hidrológicos:

Los daños que el agua no causada puede ocasionar son impresionantes, ya se desestabiliza taludes, terrenos, hace crecer los ríos y lava terrenos, produce inundaciones, es capaz de socavar cualquier construcción.

Propiamente para el tramo de la vía férrea en estudio se cuenta con el mapa expuesto anteriormente y demuestra las zonas de riesgos y su grado debido a la vulnerabilidad.

Además de las inundaciones, están las sequías y todos los efectos meteorológicos, tales como: huracanes, temporales, crecidas, lluvias intensas.

En Costa Rica históricamente la mayoría de inundaciones ocurren en la cuenca del Atlántico y el Pacífico.

En el Caribe las que más dan problemas son los ríos: Chirripó, Norte, Sucio, Reventazón, Matina, Barbilla, Banano, La Estrella, Sixaola, Colorado y Turrialba.

En la vertiente del Pacífico tenemos las cuencas de los ríos: Grande de Térraba, Corredores, Parrita y Tempisque.

En la Gran Área Metropolitana, estos últimos años presentan un aumento en las inundaciones, esto debido a un sinnúmero de factores, siendo el más importante las altas tasas de urbanización, frecuentes quebradas, ríos contaminados, falta de canalización de las aguas.

El siguiente mapa sintetiza las amenazas más latentes establecida por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE).

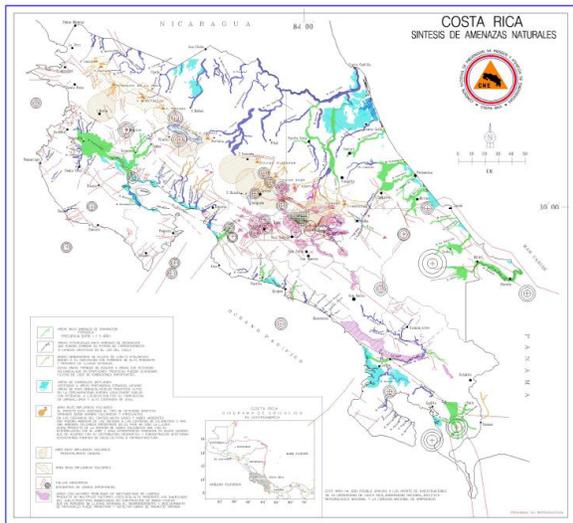


Figura 39. Mapa de síntesis de amenazas. (Fuente: CNE 2012) ver anexo 1.

Esta imagen es un resumen de las amenazas naturales que influyen a lo largo y ancho del territorio nacional y permite determinar zonas de fallas geológicas, inestabilidad de laderas y otras amenazas influyentes en el trayecto de estudio.

Amenazas volcánicas

En Costa Rica existen 120 aparatos o focos volcánicos, de los cuales ocho son los más importantes: Miravalles, Tenorio, Barva, Turrialba, Rincón de la Vieja, Arenal, Poás e Irazú, siendo los últimos cuatro los que han presentado mayor actividad volcánica.

Los volcanes activos, Rincón de la Vieja, Arenal, Poas e Irazú, se encuentran a una distancia hasta el centro de Cartago de: 186 km, 105 km, 50 km, 14 km, respectivamente.

La actividad volcánica se registra desde el año 1723, en volcán Irazú, el mismo que en 1963 cuando el presidente de los EEUU inició una visita formal en Costa Rica, cubrió todo el valle Central de ceniza, que terminó dos años después.

Tipos de peligros volcánicos:

Los volcanes se manifiestan de diferentes formas y se caracterizan según el tipo de la

erupción. Estas erupciones se denominan de dos tipos: explosivas y no explosivas, distinguen una gama variada de productos volcánicos y diferentes tipos de impacto.

- **Tefra:** es producto volcánico, se da por la erupción de roca de todo tipo, en forma vertical hacia la atmosfera. Esto cuando se mezcla por fuertes vientos y el volumen de material provoca que se produzcan vapores abrasivos y dañen las edificaciones, produzcan en los seres humanos irritación de la piel, así como la liberación de gases que pueden provocar efectos peligrosos.
- **Explosiones laterales:** esto sucede por efectos de la onda expansiva, se compone de polvo, materiales y gases a altas temperaturas, salen a altas temperaturas y calcinan todo lo que se ponga a su paso, dependiendo del viento y su velocidad pueden afectar en un radio de 300m a 500m a una temperatura de 600 u 800°C. Por su velocidad la posibilidad de reacción es casi nula.
- **Flujos piro clásticos:** estos flujos son grandes masas de fragmentos rocas, secos por las altas temperaturas y la mezcla con gases, conocido con cenizas, al ser livianas presentan gran movilidad y con los vientos pueden alcanzar velocidades de 100millas/horas, su radio de acción alcanza hasta 15 millas o 24km aproximadamente, lo que causa a su paso incineración y sepultamiento del entorno.
- **Flujo de barro:** este flujo se compone de masas de rocas saturadas de agua, que por la viscosidad y efecto de la gravedad bajan colina abajo por las pendientes del terreno, llegando a los valles y encausándose con los cursos fluviales. La velocidad de esta masa es proporcional a su viscosidad y fluidez y puede llegar hasta 60millas o 96km desde su punto de origen.
- **Flujos de lava:** estos flujos dependen propiamente de la actividad volcánica explosiva, esta puede viajar muy despacio o hasta la velocidad de una persona caminando o trotando. Aunque, por lo general, estas no afectan mucho a los humanos por la distancia en la que se encuentran las poblaciones, lo que esté a

su paso queda totalmente destruido y ocasiona incendios en vegetación, entre otros.

Lluvia ácida: los volcanes presentan actividad fumarólica y estas emanaciones gaseosas se mezclan en el medio ambiente y provocan lluvias ácidas, lo cual ocasiona alteraciones en ecosistemas y cultivos. Los sulfatos y cloros emitidos son los que más afectan a la población y ecosistema.

Mantenimiento de redes ferroviarias

Según Manual Chileno (2003), las actividades de conservación deben mantener las condiciones de la infraestructura y superestructura existente.

Dentro de las actividades mínimas que se deben realizar se encuentran las siguientes:

1. remoción de derrumbes,
2. estabilización de sitios inestables,
3. limpieza de obras de drenaje,
4. limpieza de cunetas,
5. fumigación,
6. deshierbe químico.

Actividades de pre-rehabilitación: estas son las obras necesarias para obtener los resultados mínimos de operación tales como:

- Permitir una velocidad mínima de 15 km/h
- Garantizar la circulación sobre la vía
- Mantener en perfecto estado la superestructura de la vía y sus elementos.

Para esto se deben cambiar todas las piezas dañadas, revisar radios de giro, tener en buen estado los elementos de la superestructura tales como: soldaduras, eclisas y sus pernos, almohadillas, fijaciones elásticas, rieles, traviesas de concreto, vías de apartaderos, patios de maniobras y estaciones.

Lo que se debe garantizar es la velocidad mínima de operación de 15 km/h, para las obras de pre-rehabilitación.

Esto va de la mano con las actividades expuestas en anteriormente como actividades de conservación, más las siguientes:

7. colocación de rieles faltantes,

8. mantenimiento de juntas,
9. riego de balastro triturado,
10. colocación de traviesas con sujeciones,
11. revisión de soldaduras y reparación.

Cuando se usen rieles soldados como largas barras soldadas (LBS), estas barras deben ser interrumpidas donde existan cambios de vías, curvas, puentes y tramos montañosos.

Cuando se coloque LBS la longitud mínima debe ser de 300m sobre plataformas inestables, en zonas montañosas se debe soldar máximo cada 36m, por la dilatación del riel y en los tramos largos es recomendado no efectuar tramos mayores a los 500m, por lo que se debe colocar una eclisa, esto para evitar dilaciones muy grandes, o daños de deformación en los rieles.

Las recomendaciones más sanas para la sustitución de rieles y balastro triturado deberían ser: rieles de mínimo 90lb/yd N°12 en línea plana y N° en secciones montañosas y el volumen de balastro triturado colocado debe ser mínimo 1.17 m³/m.

Todas las fijaciones deben estar debidamente colocadas y en funcionamiento, las traviesas deben de ser de concreto y estar acordes para el tipo de riel utilizado y fijación.

Las traviesas de madera, se deberían utilizar únicamente sobre zonas de puentes, y cambiavías, esto ya que sobre los puentes de acero es más fácil realizar la fijación del riel con la estructura y por sus bondades de resistencia a la vibración y absorción de esfuerzos de deformación.

Otro punto importante es el suministro e instalación de los dispositivos de seguridad vial, señalización y todo esto acorde con la normativa vigente y manuales aplicables, por el Ministerio de Transportes.

Para lo cual se debe estudiar las intersecciones y puntos críticos en los cuales sea necesario la implementación de estas, con el fin de garantizar la seguridad del usuario. Como mínimo, las señales verticales, horizontales, barreras automáticas o manuales, de acuerdo con las posibilidades y presupuesto.

Trabajos rehabilitación infraestructura:

- reforzamiento, protección y pintura de puentes,
- alcantarillas y obras de drenaje,
- rehabilitación y restauración de estaciones,
- pasos a nivel,

- suministro e instalación de otros elementos de infraestructura,
- adecuación de la infraestructura con material de sub-balasto.

Rehabilitación superestructura

- cambio de traviesas,
- cambio de rieles,
- uniones (soldaduras y eclisas),
- riego de balasto triturado,
- alce, alineación, nivelación y regulación,
- señalización de la vía férrea,
- instalación de comunicaciones,
- rehabilitación de apartaderos.

Según trenak.com, un apartadero es un tramo de vía conectada con la vía principal a la que puede penetrar un tren para esperar el paso de otro en tramos de vía única o para su simple aparcamiento.

Es igualmente el lugar destinado para la carga, descarga, estacionamiento y todo tipo de operaciones relacionadas con la circulación ferroviaria. Un puerto, unas instalaciones mineras pueden ser ejemplos de apartaderos, industriales en este caso.

Estos apartaderos pueden ser propiedad de la propia empresa explotadora de la línea así como de propietarios privados.

Consideraciones mínimas para la estabilidad de masas de suelo

Un talud o ladera es una superficie de tierra con una superficie inclinada. Se llama talud cuando fue confeccionado por el hombre y ladera cuando son superficies inclinadas, irregulares formadas por la topografía natural del terreno, la siguiente figura detalla lo mencionado.

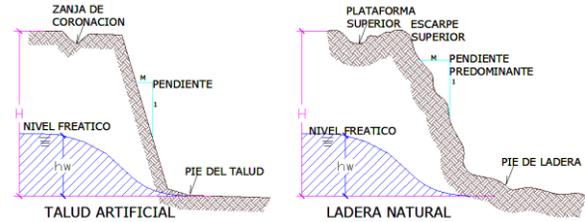


Figura 40. Diferencia entre ladera y talud. (Fuente: Folleto Diseño Geotécnico, Curso Mecánica de Suelos II. Ing. Marco Tapia. EICO)

Por lo general, los movimientos de suelo se dan en el sentido hacia abajo con la gravedad y hacia afuera del talud o ladera, por lo general sobre la superficie de falla.

En época lluviosa, por más estables que estén los taludes y laderas pueden generar desprendimientos importantes de suelo, con detonantes como: movimientos sísmicos, cambio en el nivel de agua subterránea, erosión de la superficie inclinada y el pie, falta de canalización de las aguas, por esto, es importante conocer sobre su estabilidad.

Para que un terreno falle, ocurren algunas etapas durante el proceso, unas visibles a simple vista y otras que requieren de sistemas de control y monitoreo para poder determinarlas.

- Primera etapa, deterioro: esto ocurre antes de que el terreno falle, es cuando el terreno está intacto e inician los procesos que cambian su inestabilidad. Este proceso requiere de tiempo y es posible determinarlo con anterioridad, bajo la constante inspección y control y monitoreo con tecnologías adecuadas.
- Segunda etapa, falla: se crea una superficie débil y que pierde su estabilidad, lo que crea una superficie de falla y genera un importante desplazamiento de volumen de suelo.
- Tercera Etapa, post-falla: Son todos aquellos movimientos de masa una vez que desliza el volumen fallado.

El deterioro se puede dar por diferentes motivos:

- re excavaciones,
- construcciones de obras cercanas,
- exposición sin control al agua,
- movimientos sísmicos y fenómenos naturales.

Estos son algunos causantes de la alteración, física, química y mecánica de los taludes o laderas.

Las fallas se pueden dar de diferentes tipos:

- caída de bloques de suelo,
- inclinación o volteo de una masa de suelo,
- reptación: movimientos lentos por afectación climática y tipo de suelo,
- deslizamientos,
- esparcimiento lateral,
- flujos,
- avalanchas.

Para el diseño de la estabilidad de taludes se requiere de diferentes métodos y todo un capítulo completo del mismo, como no es el tema principal de este análisis, simplemente se harán mención de algunos métodos utilizados y condiciones.

Condiciones de análisis de estabilidad:

- análisis en condición drenada o no drenada,
- esfuerzos efectivos y totales,
- resistencia al esfuerzo cortante,
- presión de poros,
- grietas de tensión,
- equilibrio límite y factor de seguridad, métodos de análisis de estabilidad de taludes:
- método del talud Infinito,
- método del bloque deslizante,
- método ordinario o de Fellenius,
- método de Bishop simplificado,
- método de Janbu.

Para cada condición y método existe una teoría asociada y una serie de variables y fórmulas, que al comparar entre diferentes métodos se puedan obtener resultados muy diferentes, por lo que los más utilizados son Bishop simplificado y Janbu, aunque entre estos sistemas la variable más notoria es la estimación del factor de seguridad (FS). Por lo que en 1998 Suárez sugiere el siguiente criterio para el FS:

- $FS=1,7$ cuando hay riesgo de vidas humanas
- $FS=1,5$ cuando hay riesgo de pérdidas materiales importantes
- $FS=1,3$ cuando hay riesgo de pérdida de materiales no importantes.
- $FS=1,2$ cuando no hay riesgo de dañar personas o infraestructura.

Por lo que para nuestro caso cualquier análisis se debe realizar con $FS=1,7$.

Para mejorar la condición de los taludes existen dos formas de hacerlo: mediante el mejoramiento

de los taludes, mediante el mejoramiento del suelo y con la construcción de estructuras de concreto.

Los sistemas de proyección se basan en eliminar los problemas asociados con la inseguridad es evitar colocar la infraestructura fuera del área de influencia.

Otra forma para eliminar el riesgo de deslizamientos es construir elementos de retención de masas de suelos. Los cuales pueden ser:

Mejoramiento de talud

- Protección de la superficie:
 - Concreto lanzado: concreto proyectado hacia el talud con un equipo especial y con malla de acero electro soldada.
 - Recubrimiento de suelo cemento: recubre la superficie con suelo estabilizado con cemento
 - Mampostería: elementos fijados con mortero.
 - Rip-Rap: colocar piedra suelta sobre superficie del talud y lo protege de la erosión.
- Modificación de la topografía:
 - Modificación de los ángulos de reposo y confección de terrazas.
 - Remover material de la cabeza
 - Confección de cunetas
- Control de aguas subterráneas:
 - Zanjas de coronación
 - Cortinas de drenajes subterráneos
 - Galerías y túneles de drenaje
 - Drenajes verticales
 - Pozos de drenajes.

Mejoramiento de suelos

- Modificación mecánica
- Modificación hidráulica
- Modificación física o química
- Modificación por inclusión o confinamiento:

Estructuras de retención: las estructuras de retención son de dos tipos: en voladizo y gravedad los cuales pueden estar en 3 condiciones básicas:

- condición de reposo: equilibrio,
- condición activa: el suelo empuja el muro,
- condición pasiva: el muro empuja el suelo

Para cada caso existe un método de estudio según algunos autores como: Rankine y Coulomb.

Las estructuras de retención se subdividen en 4 tipos básicos:

- Gravedad: concreto simple o mampostería, muy voluminosos y pesados
- Semigravedad: concreto con refuerzo de acero y no tan voluminosos
- Voladizo: elementos esbeltos con concreto confinado
- Contrafuertes:

Un sistema muy utilizado en Costa Rica el tipo de muro por gravedad compuesto de gaviones, los cuales son estructuras flexibles, fabricados por canastas de malla de alta resistencia modulares que se rellenan con bloques de roca sana, son modulares y permite generar diferentes geometrías.

Por su composición, facilidad constructiva y de transporte es una de las opciones más económicas y frecuentes de usar como elemento estabilizador de laderas y taludes.

Por la facilidad de confección, no requiere ni equipo ni mano de obra especializada y como permite el crecimiento de vegetación normalmente pasa desapercibido.

En Costa Rica, empresas como MaccaFerri, brindan el servicio de las mallas y *software* que permite fácilmente su diseño, tomando simples datos arrojados por el estudio de suelos, el cual valora las condiciones del suelo para determinar la fuerza de empuje y lo contrarresta contra el peso de los elementos.

Los fabricantes proporcionan tablas que sirven como una guía para el dimensionamiento previo o preliminar de los muros de gaviones y determinar el ángulo Φ y la inclinación del terreno. La empresa MaccaFerri proporciona ciertas tablas suponiendo un peso específico de los gaviones de 1600kg/m³.

Metodología

El proyecto se desarrolló en un tramo de la red ferroviaria nacional perteneciente al ferrocarril al Atlántico, específicamente en la provincia de Cartago, e involucra los catones de Cartago, Oreamuno y Paraíso. El recorrido tiene un total de 14 393 m de longitud, inicia en la estación de Cartago y termina en el apartadero de El Yas. La finalidad buscada es brindar un análisis técnico del estado actual la ruta, así como una propuesta presupuestaria para su rehabilitación.

El punto de partida para la investigación fue conocer acerca de la red ferroviaria nacional, su distribución, kilometraje, topografía, entes encargados, así como parte de su historia constructiva, esto con el fin de ubicar geográficamente el tramo propuesto y determinar su época de construcción.

De igual importancia fue adquirir conocimiento de la teoría aplicada en este campo, a saber, secciones transversales y sus elementos, requerimientos de diseño geométrico, métodos constructivos, materiales aplicados, amenazas naturales, metodologías de mantenimiento y aspectos legales y económicos que en conjunto determinan el espacio físico de una vía férrea.

Dicha información fue recolectada mediante búsquedas en Internet, de mapas de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias y de material bibliográfico y entrevistas suministradas por personal de Incofer.

Para complementar la información mencionada anteriormente y como parte de los objetivos de este proyecto, se investigó acerca de sistemas de monitoreo y electrificación en redes ferroviarias. Para el primero, se asistió a charlas y demostraciones de la empresa Capris Engineering Costa Rica; para el segundo se consultó el manual chileno “Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria” (2003). Con los recursos anteriores se logró obtener material técnico y de costos de los métodos existentes así como entender los fundamentos que debían ser aplicados posteriormente.

Una vez definidos los conceptos básicos relacionados, se procedió a realizar visitas a las zonas donde se prestan servicios de transporte público mediante el Tren Urbano, esto con el objetivo de observar las condiciones bajo las cuales funciona el sistema, localizar en sitio la teoría investigada, así como generar criterio para la posterior visita al tramo propuesto. Se realizó un recorrido en los sectores de Heredia, Tibás, San Pedro, Curridabat, San Antonio de Belén, Pavas y San José.

Adicionalmente se contó con la oportunidad de realizar inspecciones junto con personal de Incofer a la ruta Curridabat- Cartago, sección que estaba siendo intervenida con trabajos de rehabilitación en las fechas de realizado este proyecto. Se visitó los sectores de Freses en Curridabat, Tres Ríos, Quircot y Cartago. Como resultado de esta investigación de campo, se logró definir los principales aspectos por desarrollar, así como las actividades y entidades involucradas en el proceso de rehabilitación de una red ferroviaria en Costa Rica.

Antes de iniciar el recorrido del tramo propuesto, Cartago- El Yas, se ideó una herramienta que permitiera anotar geográficamente las situaciones detectadas y que a la vez funcionara a Incofer como un recurso de utilidad ante una eventual intervención. Esto se concretó con la elaboración de planos digitales de levantamiento, los cuales incluyen el trazado de la vía férrea, curvas de nivel, hidrología, red vial, planos catastros de fincas colindantes y los nombres de cada una de las localidades; para lograr este propósito se contó con la ayuda de los Departamentos de Topografía y Geografía de las Municipalidades de Cartago y Paraíso quienes brindaron información digital de la red vial y catastros digitales. Adicionalmente, se realizaron consultas al sistema del Registro Nacional de la Propiedad.

Al reunir y sintetizar la información digital, se procedió a realizar el recorrido a pie del tramo propuesto (en de abril del año 2012), para lo cual

se utilizaron planos de taller que permitieran la anotación de campo, mediante el uso de herramientas de medición (cintas y hodómetro) y de localización satelital (GPS). Como resultado se obtuvieron planos de levantamiento con todos los detalles, posibles amenazas, problemas detectados, puentes, secciones, localización GPS y notas generales y específicas del recorrido. Para mayor entendimiento y facilidad de análisis, se dividió la totalidad de la distancia en cinco secciones, esto determinado principalmente por límites cantonales, topografía y obstáculos naturales:

-Sección 1: Cartago (1 644m).

-Sección 2: Oreamuno (2 226 m).

-Sección 3: Paraíso, Blanquillo- Páez (4 325 m).

-Sección 4: Paraíso, Páez- Parruás (3 888 m).

-Sección 5: Paraíso, Parruás- El Yas (2 309 m).

Con la información de campo sintetizada, así como de la experiencia adquirida en el proceso de investigación y análisis, se procedió a cuantificar las actividades por realizar y determinar los costos involucrados.

Resultados

Estudio técnico de rehabilitaciones anteriores y actuales

Como parte del proceso de investigación, se realizaron visitas a zonas donde la vía férrea fue intervenida para su rehabilitación, esto con el propósito de observar los resultados finales bajo los cuales se ofrece el servicio de transporte público por tren a los usuarios. Desde su reapertura en el año 2005, distintas rutas de la Gran Área Metropolitana, se han puesto en funcionamiento.

Rutas investigadas

Las rutas rehabilitadas anteriormente y que prestan servicios para el transporte público son:

- 1) Belén- San José,
- 2) Pavas- Curridabat,
- 3) Heredia- San José.

Las rutas mencionadas forman parte del conocido como “Tren Urbano”, el cual a futuro se proyecta conectar con la ciudad de Cartago, posteriormente, con las ciudades de Alajuela y Paraíso, según conversaciones sostenidas con personeros de Incofer.

A la fecha de realizada esta investigación, se estaban realizando trabajos de rehabilitación en la ruta Curridabat- Cartago, cuyas actividades iniciaron en junio del 2011 y se solicitó terminar en setiembre del 2012, aunque la fecha de funcionamiento depende de la llegada de los trenes al país.

Adicionalmente, existen tramos utilizados para transporte ocasional de turismo. En el

Pacífico, llega a la zona de Caldera, Atenas y Orotina, y en el Atlántico, desde Moín en Limón hasta lugares como Bananito, Estrada y Guápiles.

La ruta propuesta para rehabilitación, a saber, Cartago- El Yas en Paraíso, se le prevé un uso inicial de transporte público, por lo que las rutas investigadas fueron aquellas que se usan o usarán con este mismo fin.

La ruta Belén-San José tiene una longitud aproximada de 15 km, inicia en la estación de San Antonio de Belén, atraviesa los barrios de Pueblo Viejo y La Carpio, atraviesa los sectores de Demasa, Pavas, costado sur de la Sabana y concluye en la estación del Pacífico.

La ruta Heredia- San José tiene una longitud aproximada de 10 km, inicia en la estación de Heredia, atraviesa las zonas de Miraflores, Santa Rosa, Cuatro Reinas, Calle Blancos y culmina en la estación del Atlántico.

La ruta Pavas- Curridabat, se da sobre el mismo recorrido de la ruta Belén- San José, tiene una longitud aproximada de 16 km, inicia en la zona de Pavas, llega a la estación del Pacífico, continua hacia Plaza Víquez y llega a la estación del Atlántico para luego partir hacia la Ucr, universidad Latina y culmina en Freses, justamente detrás de las instalaciones el Indoor Club. Esta última ruta es la que se conectará con las ciudades de Tres Ríos y Cartago, lo cual forma parte del Ferrocarril al Atlántico.

En total las rutas mencionadas suman una longitud de 30 km de vía férrea que actualmente ha sido rehabilitada y utilizada para el transporte público. En la figura 41, se muestra la ubicación y el kilometraje de cada una de las rutas del tren urbano, así como algunas de las paradas que realiza el tren. Además se aprecia en la figura que la vía se comunica con el sector de Ciruelas en Alajuela, esto desde las zonas de Belén y Heredia y continúa hacia el Pacífico, así como hacia la ciudad de Tres Ríos desde Curridabat.

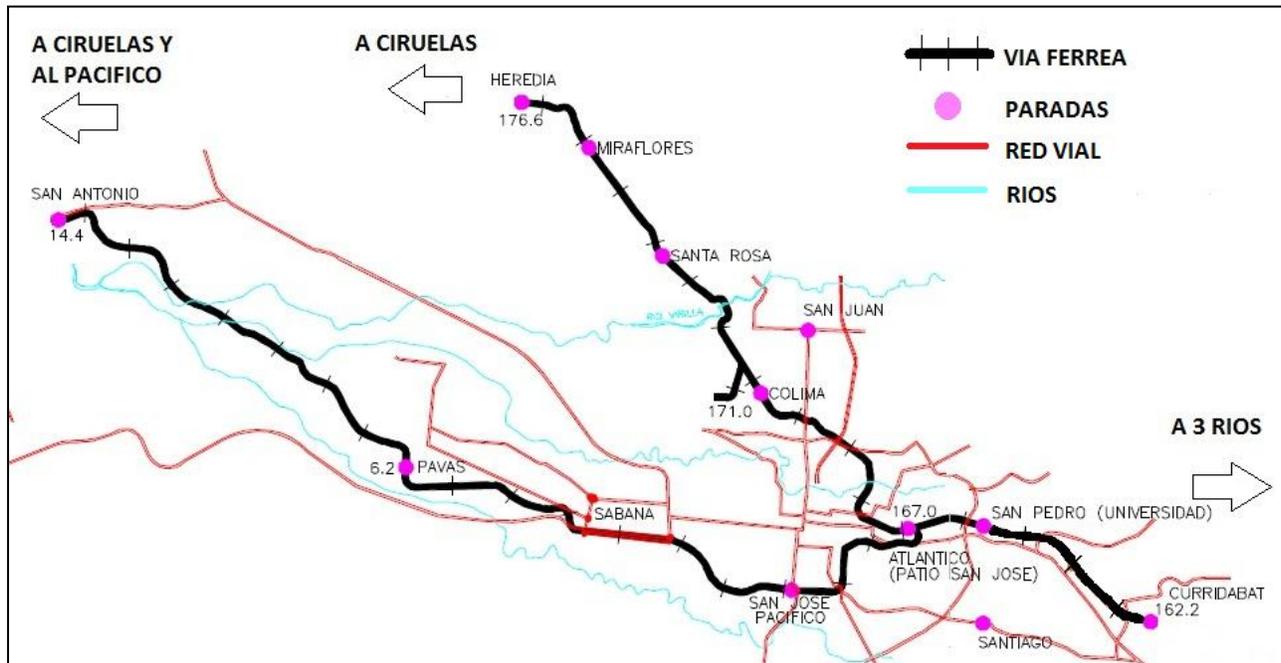


Figura 41. Rutas recorridas del Tren Urbano, (Fuente: autor)

Una vez que se detectaron las rutas ferroviarias, se procedió a visitar y analizar algunas de las zonas antes mencionadas, lo cual se sintetiza a continuación a manera de registro fotográfico ordenado, según su ubicación.



Figura 42. Estación San Antonio de Belén, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la estación de San Antonio de Belén, la cual presenta evidencias de una reciente restauración, ya que se apreció en buenas condiciones. Este sector presenta la particularidad que es la última zona en la cual circula el tren, ya que más allá continúa hacia Ciruelas, tramo que aún no había recibido

trabajos de rehabilitación a la hora de realizar la visita, además de que en la estación también opera una terminal de buses.



Figura 43. Puente sobre río Bermúdez en Belén, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el puente sobre el río Bermúdez en las inmediaciones de San Antonio de Belén; posee una longitud de 35 m y

una altura aproximada al lecho 15 m. En dicho puente se detectó una reciente colocación de durmientes de madera en buen estado, así como una adecuada sujeción de los rieles con placas metálicas y clavos. No se visualizaron trabajos de restauración en la estructura de acero conformada por cerchas, arrastramientos y diafragmas ni en los bastiones. En el sitio se localizó una placa de construcción con fecha de 1901.



Figura 44. Parada en zona industrial, Jack's, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la parada en la zona industrial de Pavas, específicamente detrás de las instalaciones de la Jack's; en dicha zona se visualizaron las paradas en buen estado así como una colocación reciente y parcial de balastro.



Figura 45. Parada en Sabana Sur, Jack's, (Fuente: Autor)

Después de Pavas, la línea de tren continúa hacia la Sabana; en la figura anterior se muestra

la parada en el sector Sur, donde se aprecia el buen estado de la misma, así como la ubicación de la vía férrea apoyada principalmente con durmientes de madera en buenas condiciones.



Figura 46. Estación del Pacífico, fachada frontal (Fuente: Autor)



Figura 47. Estación del Pacífico, vista interna (Fuente: Autor)

En las dos figuras anteriores se presenta la estación del Pacífico, ubicada en San José sobre avenida 20; sus instalaciones resguardan también las oficinas del Incofer y del departamento de ferrocarriles del Mopt. Posee un plantel de grandes dimensiones donde se almacenan locomotoras y vagones en desuso, tal como se observa en la figura 47, además de materiales y para trabajos de mantenimiento y rehabilitación. La edificación se aprecia en buenas condiciones y a la hora de realizar la vista, se apreció la realización de trabajos de mantenimiento como limpieza y pintura en su fachada principal.



Figura 48. Cruce entre ferrocarril al Atlántico y ferrocarril al Pacífico, (Fuente: Autor)

El cruce entre las vías del ferrocarril al Atlántico y el del Pacífico, se localiza en barrio Escalante, justamente en la intersección con la calle 33. Este punto se muestra en la figura 48, donde se aprecia la ubicación de ambas vías, así como una locomotora del Incofer en circulación en sentido este- oeste, desde el sector de Curridabat hacia la estación del Atlántico. Se observa, además, que los durmientes no son visibles en esta zona.



Figura 49. Tren Apolo hacia el Pacífico en cruce de vías entre ferrocarril al Atlántico y ferrocarril al Pacífico, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el tren Apolo circulando en el cruce de vías entre el ferrocarril al Atlántico y el ferrocarril al Pacífico, con sentido Oeste- Este, desde la estación del Atlántico hacia el Pacífico. Este sector se caracteriza por ser una

curva pronunciada rodeada de una densa zona residencial y comercial; se aprecia en la figura la cercanía de los vagones respecto a las edificaciones, por lo que se incumple lo establecido en el artículo 3° del decreto N° 22483 del Mopt, donde se establece un derecho de 7,62 m a partir del centro de vía.



Figura 50. Puente sobre calle 37 en Barrio Escalante (Fuente: Autor)

Continuando hacia el este desde el cruce antes mencionado, se encuentra el puente sobre la calle 37 mostrado en la figura 50, posee 28 m de largo y una altura de 3,45 m respecto a la carretera. En sitio se apreció que todos los durmientes de madera (de 3 m de largo y sección 20x30 cm ubicados a cada 18 pulgadas) fueron recientemente instalados, ya que se encontraban en óptimas condiciones. Además, se percibió que a la estructura de acero conformada por vigas, diafragmas, y columnas de apoyo, no se le han realizado trabajos recientes de restauración.

En la siguiente figura, se muestra la parada de la universidad Latina en San Pedro, quizá la de mayor atractivo arquitectónico. Se puede apreciar que la estructura se encuentra en excelente estado, así como la intersección de una de las entradas a la universidad. Se detectó en el lugar la presencia de variedad de durmientes, siendo los de madera los de mayor abundancia.



Figura 51. Parada U Latina, San Pedro (Fuente: Autor)

Después de la parada de la universidad Latina, el Tren Urbano continúa hacia el sector de Freses en Curridabat, lugar donde a la fecha de realizar la visita se realiza la última parada, justamente detrás de las instalaciones del Indoor Club.

Regresando al cruce de vías entre el ferrocarril al Atlántico y el ferrocarril al Pacífico, en el sentido este- oeste, se localiza la estación al Atlántico en las inmediaciones de la antigua aduana (Fercori), desde donde el Tren Urbano se enrumba a la ciudad de Heredia; dicha estación se encontró en funcionamiento y con evidentes trabajos de restauración realizados con anterioridad.



Figura 52. Puente de concreto sobre ruta 32, Pista a Guápiles (Fuente: Autor)

Una vez que el tren a Heredia parte de la estación al Atlántico, atraviesa el sector de Calle

Blancos y transita sobre el puente de la ruta 32, el cual se muestra en la figura 52. Dicho puente es de elementos prefabricados de concreto y posee una longitud de 42m y una altura aproximada de 7 m sobre la carretera, además, cuenta con una columna de apoyo en el centro de la luz. No se detectaron trabajos de restauración



Figura 53. Puente sobre quebrada Rivera, Tibás (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el puente de acero sobre la quebrada Rivera en el sector de Cinco Esquinas de Tibás; en el sitio se observó trabajos de mantenimiento a la estructura de acero por medio de pintura aluminica, sin embargo, gran parte de los durmientes de madera se encontraron en mal estado. Nótese, además, que los lugareños usan dicho puente como paso peatonal.



Figura 54. Intersección con Calle Pantano, Bajo Piuces, Tibás (Fuente: Autor)

Continuando hacia el oeste del puente sobre la quebrada Rivera, se localiza el sector de Bajo Piuses, cuya intersección con la vía férrea se muestra en la figura 54. Se observa la manera adecuada en la que deben funcionar las intersecciones, con guardarrieles y cabos de riel uniéndose soldados entre estos. Se observa cómo la parte interna de la vía se chorrea con concreto (aunque también es común utilizar asfalto), con lo que se busca conservar el nivel de la carretera. Es importante mencionar que a pesar de que en las intersecciones no se aprecia la totalidad de la altura de los rieles, los guardarrieles se encargan de mantener libre el espacio necesario para que las ruedas de los vagones transiten adecuadamente.



Figura 55. Intersección con Calle Pantano, Bajo Piuses, Tibás (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la parada del sector de Cuatro Reinas, elaborada con un carro de carga modificado para dicho fin, en condiciones regulares. En el sitio se apreciaron durmientes de concreto y madera en buen estado, así como una abundante capa de balastro.



Figura 56. Puente sobre río Virilla, vista lateral (Fuente: Autor)



Figura 57. Puente sobre río Virilla, vista frontal (Fuente: Autor)

Hacia el noroeste del sector de Cuatro Reinas se ubica el puente de acero sobre el río Virilla, el cual se muestra en las dos figuras anteriores. Este puente es del tipo “armadura” y posee una longitud de 55 m, altura aproximada de 30 m al lecho del río y una estructura de 5 m de altura. Se apreció que la estructura ha recibido trabajos recientes de mantenimiento por medio de pintura aluminica. Se observa, además, en la figura 57 la transición entre durmientes de concreto tipo monobloque y los de madera, estos últimos utilizados principalmente sobre puentes y en este caso particular se apreciaron en malas condiciones.



Figura 58. Parada Miraflores, Heredia (Fuente: Autor)

Continuando la ruta del Tren Urbano hacia el noroeste, se localizan las paradas de Santa Rosa, posteriormente, la de Miraflores en la provincia de Heredia, esta última se muestra en la figura 58. Se observa que cuenta con un vagón de carga modificado, además, con una plataforma de abordaje en concreto de 80 cm de altura respecto a la trocha. En esta zona se detectaron durmientes de concreto monobloque en buen estado.



Figura 57. Estación de Heredia (Fuente: Autor)

La ruta Heredia-San José del Tren Urbano, culmina en la estación de Heredia, mostrada en la figura anterior. Desde este punto, la trocha continúa hacia la provincia de Alajuela, tramo que aún no había recibido trabajos de rehabilitación a la fecha de realizada la visita. Se observó que la edificación no ha sido intervenida recientemente con trabajos de restauración, no así la vía férrea la cual sí presentó evidencias de una reciente rehabilitación, con durmientes de concreto

monobloque en perfecto estado, sujeciones y eclisas en buenas condiciones y una abundante capa de balastro sin contaminación de materiales extraños.



Figura 60. Señales encontradas, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestran las señales encontradas en el recorrido de las rutas mencionadas, las cuales son de los siguientes tipos:

- Señales de prevención, en color amarillo, que indican la proximidad de una intersección con la vía férrea.
- Señales informativas, en color blanco, indicando la ubicación de paradas.
- Señales de reglamentación, en color rojo, que indican la orden de Alto en cada intersección.
- Semáforo intermitente; señal luminosa de prevención en intersecciones.

De la señales de alto mencionadas anteriormente, las de mayor abundancia son las de reglamentación de Alto; se apreció que muchas de ellas fueron instaladas en épocas recientes a la fecha de realizada la inspección. Con respecto a los semáforos intermitentes y a las señales de prevención, se detectaron en un número muy reducido de intersecciones y la señal informativa de Parada, sólo se localizó en

la parada del costado sur de la Sabana, frente a la Contraloría.

Actividades detectadas

Adicionalmente, se realizaron visitas a los trabajos de rehabilitación de la ruta Curridabat-Cartago. Este trayecto inicia en la parada de Freses, detrás del Indoor Club, atraviesa el sector de Pinares y prosigue hacia el cantón de Tres Ríos viajando de manera paralela a la carretera vieja; una vez en el centro de Tres Ríos, se dirige hacia el sector del Fierro y el alto de Ochomogo, frente a las instalaciones de Recope, continua hacia las zonas de Quircot y Loyola y termina en la estación de Cartago detrás del mercado en avenida 6, para un total de 16 km de recorrido.

Cuando se realizaron las inspecciones al sitio, los trabajos se concentraban en el sector de Tres Ríos, principalmente entre la subestación del Ice y el centro de dicha zona. Se aprovechó la oportunidad brindada de tomar fotografías del proceso constructivo, así como conocer el equipo utilizado, mano de obra requerida y discutir con los encargados acerca de las actividades realizadas y demás pormenores del proceso de rehabilitación. Se detectaron cinco frentes de trabajo, los cuales se resumen a continuación en orden cronológico:

- 1) Tala de árboles y desmonte general: este es el primer trabajo por realizar y está conformado por una cuadrilla equipada con machetes y motosierras los cuales se encargan de despejar la trocha de los principales obstáculos vegetales. Lo realiza personal del Incofer.
- 2) Limpieza: consiste en maquinarias, principalmente "back hoe", que se encargan de abrir camino en la trocha removiendo basura y materiales acumulados, así como la capa vegetal, habilitando el paso para que el resto de la maquinaria pueda ingresar en la zona. También se requieren de vagonetas para el acarreo de desechos y materiales utilizados para el mejoramiento de suelos. Se realiza con equipo del Mopt o subcontratada.
- 3) Conformación de la bancada: se realiza con maquinaria, a saber, retroexcavadora, "back hoe",

niveladora y compactadora. Su función es conformar y darle acabado a la bancada, esto se logra estabilizando taludes, haciendo las zanjas de desfogue pluvial, realizando los cortes y rellenos necesarios, dando el bombeo a la bancada, compactando los suelos y reparando obras hidráulicas, tales como alcantarillados y canales abiertos. Esta etapa tiene la finalidad de preparar el terreno para que se puedan iniciar los trabajos de reparación de la vía. Se realiza con maquinaria del Mopt.

- 4) Rehabilitación de la superestructura: consiste en la reparación de la superestructura ferroviaria; inicialmente se realiza una pre-rehabilitación para que las locomotoras y vagones que transportan los materiales, puedan ingresar en el sitio de trabajo. Abarca las siguientes actividades: elevación de la vía existente, extracción de durmientes en mal estado, colocación de durmientes nuevos, colocación de rieles y sujeciones, reparación de eclisas y distribución del balastro. Se realiza con personal y maquinaria del Incofer.
- 5) Nivelación: este trabajo se realiza con una máquina especial del Incofer, llamada niveladora, la cual se encarga de dar el nivel apropiado a los rieles y el peralte necesario en las curvas. Básicamente esta máquina distribuye el balastro bajo los durmientes y mediante una serie de rodillos le da la nivelación a los rieles. Se realizan dos nivelaciones.

En la siguiente figura se muestra parte del equipo utilizado en la conformación de la bancada, así como el resultado obtenido en el terreno. Se aprecia a primera vista la retroexcavadora y en el fondo a la niveladora y el "back hoe" (maquinaria del Mopt); se nota, además, los trabajos de corte y conformación de taludes, así como la bancada limpia, compactada y con cierto nivel de bombeo.



Figura 61. Conformación de la bancada, (Fuente: Autor)

La conformación de la bancada se realiza con la vía férrea en su ubicación original, es decir, la superestructura queda enterrada superficialmente. Posteriormente ingresa la maquinaria de Incofer a elevar los rieles y remover los durmientes dañados, tal como se observa en la siguiente figura.



Figura 62. Elevación de rieles, (Fuente: Autor)

La figura anterior corresponde a una fotografía captada en el apartadero de Tres Ríos, lugar donde se estaban realizando trabajos de rehabilitación; en ella se aprecia que por medio de un “back hoe”, se remueven los rieles existentes. Además, tal como se mencionó anteriormente, en primera instancia se debe pre-rehabilitar la vía para que tanto la locomotora como los vagones puedan ingresar al sitio de

trabajo, ya que acarrear materiales almacenados en el plantel de la estación del Pacífico y transportan algunos desechos a estas mismas instalaciones.



Figura 63. Colocación de durmientes nuevos, (Fuente: Autor)

Una vez que se han removido los rieles, se procede a retocar y terminar la superficie de la bancada alterada. Los durmientes de concreto tipo monobloque son transportados al sitio por medio de la locomotora y colocados en su lugar con un “back hoe”. Tal como se observa en la figura anterior, el personal de Incofer se encarga de la colocación de los rieles removidos sobre los durmientes los cuales tienen una separación de 70 cm.



Figura 64. Cuadrilla de Incofer, (Fuente: Autor)

Tal como se observa en la figura anterior, los rieles son soportados por gatas hidráulicas para la ubicación final de los durmientes, y las sujeciones nuevas del tipo clip de riel, son fijadas con herramientas manuales o con pistola de impacto.



Figura 65. Eclisa reparada, (Fuente: Autor)

Las eclisas existentes en buen estado son reutilizadas, solo se reemplazan aquellas que presentan daños irreparables. Se observa en la figura anterior una eclisa reutilizada con nuevos pernos y tuercas, así como la posición final de las sujeciones en los durmientes.



Figura 66. Cuadrilla del Incofer, (Fuente: Autor)

La cuadrilla de trabajo del Incofer está conformada por aproximadamente veinte trabajadores, entre ellos peones, soldadores, operarios, operadores de maquinaria y capataces. En la figura anterior se observa parte

de dicha cuadrilla realizando trabajos en la superestructura en el sector de Tres Ríos.



Figura 67. Carro de transporte, (Fuente: Autor)

Parte del equipo utilizado por el Incofer, están los pequeños carros con carretas que permiten el traslado de los supervisores a distintas zonas donde se estén realizando trabajos, así como el transporte de suministros tales como tanques de acetileno, tal como se aprecia en la figura anterior, utilizados con sopletes para calentar y aflojar uniones, así como para realizar cortes.



Figura 68. Niveladora de Incofer (Fairmont Tamper X-06), (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la niveladora de Incofer, encargada de distribuir de manera adecuada el balastro bajo y entre los durmientes, así como de dar la nivelación y peralte a los rieles.

CUADRO 2. RENDIMIENTOS DE ACTIVIDADES			
Descripción	Rendimiento diario	Recursos	Costos en ¢
Tala de árboles y desmonte general	500m	Cuadrilla	¢200.000,00
		(6 operarios)	
		Herramientas	
Limpieza	300m	Equipo	¢1.250.000,00
		Vagoneta	
		Back Hoe	
Conformación de bancada	150m	Equipo	¢1.500.000,00
		Back Hoe	
		Niveladora	
		Retro-Excavadora	
		Compactador	
		Vagoneta	
Rehabilitación de superestructura	100m	Equipo	¢15.800.000,00
		Back Hoe	
		(20 operarios)	
		Herramientas	
Rehabilitación de superestructura	72m	Equipo	¢7.500.000,00
Riego de Balastro		Cuadrilla	
		Maquinaria	
Tipo de cambio de colones a dólares estadounidenses		¢506,10/\$	07/05/2012

(Fuente: Autor)

En el cuadro anterior se presentan datos relevantes de las actividades detectadas en las visitas realizadas a la ruta Curridabat- Cartago, en abril y junio del año 2012.

Los rendimientos fueron consultados al capataz del proyecto, el señor Edwin Vargas, quien tenía a cargo la supervisión diaria del proyecto en las distintas zonas donde se estuvieran realizando trabajos.

Adicionalmente, en el sitio se tomaron los tiempos de avance de la actividad “Rehabilitación de las superestructura”, con lo que se comprobó y definió dicho rendimiento. Cabe resaltar que la nivelación realizada por el equipo de la figura 68, está contemplada dentro de esta actividad. Los recursos mencionados, fueron observados en sitio.

La actividad de “Tala de árboles y desmonte general”, no fue posible de observar, ya que fue realizada con anticipación a las fechas

de realizadas las visitas, sin embargo, en conversaciones con el capataz, se obtuvo su respectivo rendimiento, así como la mano de obra involucrada.

Las actividades de “Limpieza” y “Conformación de la bancada”, son las que requieren la mayor parte de la maquinaria. En los sitios visitados se tuvo la oportunidad de observar estos trabajos, así como de discutir con los funcionarios del Incofer y del Mopt acerca de los rendimientos logrados y distintos factores que pueden afectar, principalmente climáticos.

Los costos mostrados en el cuadro 2, fueron obtenidos en reuniones previas con personal de Incofer quienes facilitaron material referente al tema, sin embargo, se incluyó en esta misma sección con fines de sintetizar los datos para su posterior aplicación.

Descripción del nuevo tramo propuesto para rehabilitación

El tramo en estudio tiene una longitud exacta de 14.392 m; atraviesa tres cantones de la provincia de Cartago, a saber, Cartago, Oreamuno y Paraíso, iniciando en la estación de Cartago sobre avenida 6, hasta el apartadero de El Yas. La localización de la vía se muestra en la siguiente figura, por medio de un trazo sobre la hoja cartográfica Istarú.



Figura 69. Tramo propuesto trazado sobre Hoja Istarú (Fuente: Autor)

Al realizar el recorrido a pie de la ruta, se observó que la totalidad del tramo evidencia los años de abandono que ha experimentado; derrumbes, deslaves, rellenos mal conformados, taludes potenciales a fallar, desagües pluviales ineficientes, postes de tendido eléctrico, árboles, maleza, basura, invasiones provisionales y permanentes al derecho de vía, son problemas que se aprecian en toda su longitud. Todo esto hace que el transitar la vía férrea incluso a pie, sea una tarea complicada.

Gran parte de la vía es utilizada por los lugareños en sus actividades diarias, desde caminos de acceso a pueblos y fincas tanto para vehículos como para peatones, hasta convertir la vía en parte de su propio patio, lo cual hace que ciertos tramos sean intransitables.

La topografía del recorrido es variable; la zonas de Cartago, Oreamuno y Paraíso centro presentan un espacio muy llano, para luego ingresar en una zona montañosa alrededor del pueblo de Birrisito. Fuera de todos los problemas relacionados con las condiciones geográficas de la zona, se encuentran los problemas sobre la superestructura, conformada por rieles, durmientes, elementos de fijación y unión y

balastro, los cuales, también, son de gran abundancia e importancia. Todo este conjunto de situaciones hace que actualmente el tramo de la red en estudio, sea inutilizable para cualquier medio de transporte ferroviario y que requiera de una intervención total en toda su extensión.

La ruta se encuentra en descenso altimétrico con una diferencia de altura total de 244 m entre su punto inicial en Cartago hasta su punto final en El Yas, lo cual se observa en la figura 69. Esto se logró cuantificar mediante la utilización de un GPS con el cual se tomaron puntos de control a lo largo de todo el recorrido realizado.

Como principal entregable en esta etapa, el cual es una herramienta de utilidad ante una posible rehabilitación, se cuenta con los planos del levantamiento del recorrido, estos presentan curvas de nivel, red vial, vía férrea, linderos de las fincas colindantes, ríos, puntos de control tomados con GPS, anotaciones, detalles y los problemas detectados, todo esto con su ubicación real a escala. Se cuenta, también, con “boletas de inspección”, las cuales tienen información tabulada y textual de las condiciones encontradas in situ. Ambas presentaciones, se ubican en la sección de apéndices, apéndice 1 y apéndice 2 respectivamente.

Vale destacar que el recorrido de la vía férrea se inició en El Yas y culminó en Cartago, sin embargo, los planos de levantamiento del apéndice 1, se adjuntaron en el sentido contrario, es decir, desde Cartago hasta El Yas, esto debido a que sería el orden lógico si se llegase a realizar la rehabilitación. Por el motivo anterior, todas las observaciones y detalles que fueron necesarios enumerar, se encuentran en orden descendente.

En el cuadro 3, se resumen los principales resultados obtenidos del recorrido realizado.

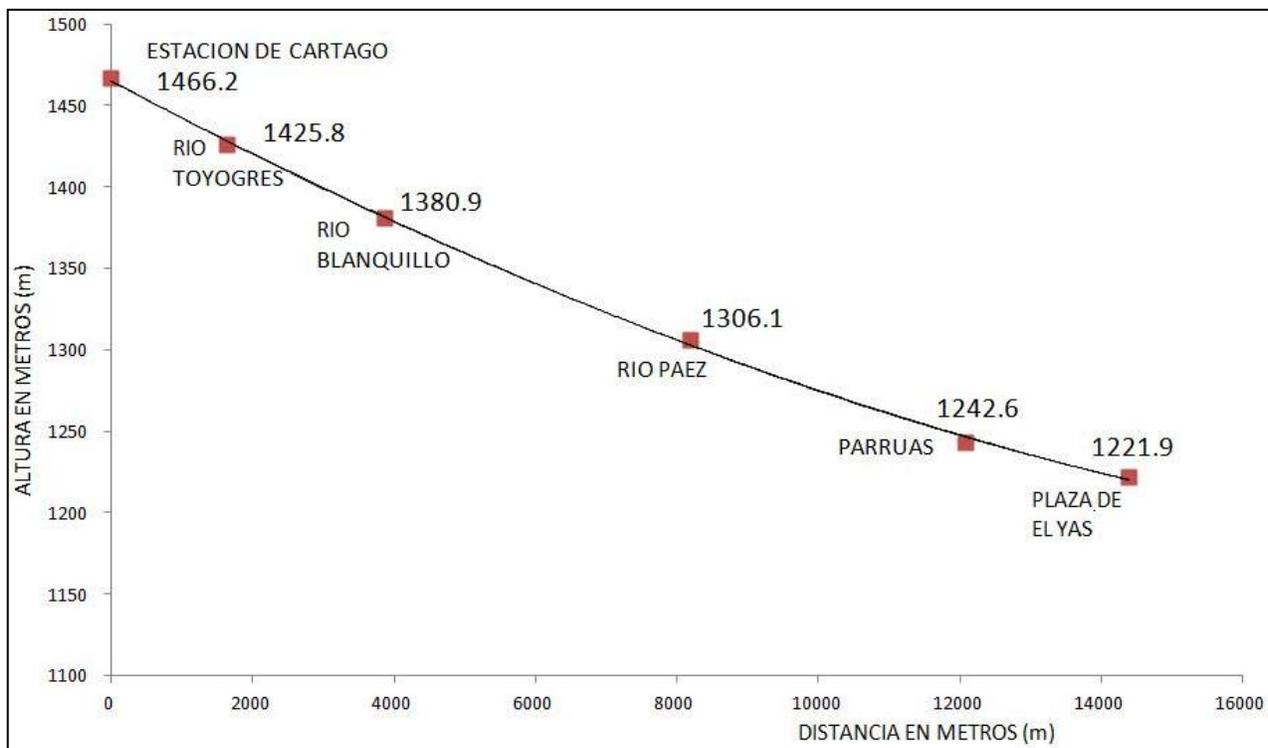


Figura 70. Gráfico de altimetría del tramo propuesto (Fuente: Autor)

CUADRO 3. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	14392	m	100
Transitable a pie	12622	m	87,7
Intransitable	1770	m	12,3
Topografía plana	8195	m	56,9
Topografía montañosa	6197	m	43,1
Vía férrea cubierta	7779	m	54,1
Vía férrea parcialmente descubierta	6613	m	45,9
Vía férrea cubierta por asfalto	991	m	6,9
Vía férrea utilizada como calle o camino	3721	m	25,9
Intersecciones con carreteras y caminos	36	unidad	-
Puentes menores a 15m	7	unidad	-
Puentes mayores a 15m	3	unidad	-
Distancia total de puentes	179,4	m	1,2
Pasos de agua menores	22	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	75	unidad	-

(Fuente: Autor)

Se extrae del cuadro anterior que casi un 90% de la vía es transitable a pie, el porcentaje restante no se pudo transitar principalmente porque se encuentra bloqueado con cerramientos improvisados u obstáculos naturales. Además, más del 50% de la ruta se encuentra cubierta, esto quiere decir que sus elementos principales no son observables a simple vista, sino que se requiere de alguna herramienta o maquinaria para su exposición. Se le asignó el nombre de "Paso de agua menor" a todo paso de agua transversal a la vía que no fuera catalogado como puente, por ejemplo, alcantarillas, canales o zanjas.

Tal como se explicó en capítulos anteriores, el total del recorrido se dividió en cinco secciones para mayor facilidad de entendimiento y análisis, esto haciendo uso de límites cantonales, obstáculos naturales. Son enlistadas a continuación:

- Sección 1: Cartago; tiene una longitud de 1644 m y se extiende desde la estación en avenida 6 hasta el límite cantonal entre Cartago y Oreamuno en el río Toyogres.
- Sección 2: Oreamuno; tiene una longitud de 2226 m y se extiende desde el punto final de la sección anterior hasta el límite cantonal con Paraíso en el río Blanquillo.
- Sección 3: Paraíso, Blanquillo- Páez; tiene una longitud de 4325 m y se extiende desde el punto final de la sección anterior hasta el río Páez;
- Sección 4: Paraíso, Páez- Parruás; tiene una longitud de 3888m y se extiende desde el punto final de la sección anterior hasta la intersección más cercana al río Parruás.
- Sección 5: Paraíso, Parruás- El Yas; tiene una longitud de 2309 m y se extiende desde el punto final de la sección anterior hasta el Apartadero de El Yas.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de la distancia total correspondiente a cada una de las secciones; se muestra en tonos verdes las secciones pertenecientes al cantón de Paraíso, lo cual representa el 73 % de la longitud total.

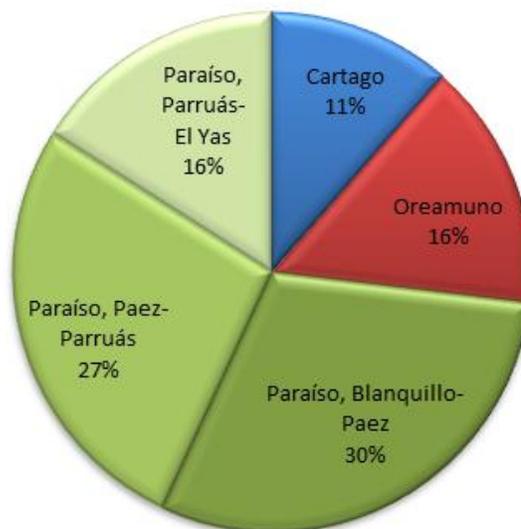


Figura 71. Porcentaje de la distancia total correspondiente a cada sección (Fuente: Autor)

Descripción por sección

Sección 1: Cartago

Esta sección inicia en la estación de Cartago, la mayor parte de su recorrido está ubicado a lo largo de la avenida 6 para luego intersectar la ruta 10 al costado norte de la Basílica de los Ángeles viajando paralelamente a la plaza de fútbol e ingresando a un costado del residencial Los Tules hasta terminar en el puente sobre el río Toyogres.

En el siguiente cuadro, se resumen los principales resultados obtenidos en esta sección, donde se observa que la mayor parte del recorrido, un 87,3%, se puede transitar, por tanto, obtener resultados de la vía férrea. Un tramo de 209 m, correspondiente al 12,7% del recorrido, se encuentra cerrado, por un lado, con un portón de malla electrosoldada, el otro, con un cerramiento de láminas de hierro galvanizado, esto en las cercanías del Residencial Los Tules.

CUADRO 4. RESUMEN SECCIÓN 1			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	1644	m	100
Transitable a pie	1435	m	87,3
Intransitable	209	m	12,7
Vía férrea cubierta	926	m	56,3
Vía férrea parcialmente descubierta	718	m	43,7
Vía férrea cubierta por asfalto	692	m	42,1
Intersecciones	14	unidad	-
Puentes menores a 15 m	0	unidad	-
Puentes mayores a 15 m	1	unidad	-
Pasos de agua menores	0	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	16	unidad	-

(Fuente: Autor)

El 42,1% de la sección, se encuentra cubierta con asfalto, esto principalmente a lo largo de la avenida 6 donde a la hora de realizar la inspección al sitio se apreció que en ciertos sectores se habían realizado trabajos de remoción de la carpeta asfáltica, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 72. Trabajos de remoción de carpeta asfáltica en avenida 6 (Fuente: Autor)

Esta sección se extiende 100% en el cantón de Cartago, siendo una zona urbana con una topografía plana y constante; problemas de

derrumbes, deslaves o taludes con potencial peligro, no se dan en su recorrido. La diferencia de altura entre el punto inicial y final es de 40.4m esto según la figura 70.

Sección 2: Oreamuno

Esta sección inicia en el puente sobre el río Toyogres, avanza en las inmediaciones de la urbanización Invu y residencial Bosque Real, atraviesa los ríos San Nicolás, Chinchilla, Taticú y Barquero, recorre el costado norte del aserradero y concluye en el puente sobre el río Blanquillo. En el siguiente cuadro, se resumen los principales resultados obtenidos en esta sección.

CUADRO 5. RESUMEN SECCIÓN 2			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	2226	m	100
Transitable a pie	1955	m	88,3
Intransitable	261	m	11,7
Vía férrea cubierta	1156	m	51,9
Vía férrea parcialmente descubierta	1070	m	48,1
Vía férrea cubierta por asfalto	22	m	1
Intersecciones	3	unidad	-
Puentes menores a 15m	5	unidad	-
Puentes mayores a 15m	0	unidad	-
Pasos de agua menores	0	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	11	unidad	-

(Fuente: Autor)

Como se observa en el cuadro anterior, la mayor parte del recorrido, el 88,3%, se pudo transitar a pie. Un 1% de la sección, se encuentra cubierta con asfalto, esto en dos de las tres intersecciones de la sección, en la carretera de acceso a San Rafael de Oreamuno (punto P146 en planos) y en el residencial Don Edgar (punto P128 en planos). Entre el río Chinchilla y el río Taticú se localizó un tramo de 261m correspondientes al 11,7% del recorrido, los cuales fueron intransitables, esto

porque el sitio se encontró cubierto con árboles de mediano tamaño y una densa maleza. No se encontró portones o algún otro tipo de cerramiento improvisado que impidieran el paso libre por la trocha.

En poco más de la mitad de la sección, exactamente el 51,9%, la vía férrea se encontró cubierta con variedad de materiales, a saber, maleza, lastre, grava, tierra o pasto, lo cual imposibilitó la observación de sus componentes en estos tramos.

En la siguiente figura se muestra la intersección con la carretera de acceso a San Rafael de Oreamuno, en la esquina noreste de la plaza de la urbanización Invu; en ella se aprecia la carpeta asfáltica y montículos de tierra y basura que cubren la trocha en todo su ancho, además de una hilera de grandes árboles de ciprés con alturas de hasta 30m ubicados en el límite del derecho de vía.



Figura 73. Vía férrea cubierta en esquina Noreste de Urb. INVU (Fuente: Autor)

Esta sección se extiende 100% en el cantón de Oreamuno, siendo una zona semi-urbana de residencias y con fincas colindantes dedicadas a la actividad maderera y agrícola tal como se muestra en la figura 74. La topografía es predominante plana y constante, con unas leves colinas entre el río Barquero y el río Blanquillo; problemas de derrumbes, deslaves o taludes con potencial peligro, no se dan en su recorrido. La diferencia de altura entre el punto inicial y final es de 44,9 m, esto según la figura 70.



Figura 74. Topografía y uso de suelo de la sección 2 (Fuente: Autor)

Sección 3: Paraíso, Blanquillo-Páez

Esta sección inicia en el puente sobre el río Blanquillo, pasa por la bodegas del Ice y atraviesa la quebrada Pollo; luego ingresa en el centro de Paraíso pasando por la estación de este cantón y termina en el puente sobre el río Páez.

En el cuadro 6 se resumen los principales resultados obtenidos en esta sección. Como se observa, la mayor parte del recorrido, un 75,1% se puede transitar a pie y obtener resultados de este. Un 1% de la sección, se encuentra cubierta con asfalto, esto en cuatro de las ocho intersecciones de la sección, en camino de acceso a finca privada (punto P112 en planos), en las cercanías de la estación (puntos P97 y P94 en planos) y en Paraíso centro cerca de la ruta 10 (punto P91 en planos). Cuatro tramos fueron intransitables, ya que se encontraron obstruidos con portones o cerramientos vegetales y de láminas de hierro galvanizado; esto corresponde al 24,9% de la longitud total de la sección. Adicionalmente se tiene un 10% donde la vía estaba cubierta por materiales como maleza, lastre, grava, tierra o pasto, lo cual imposibilitó la observación de sus componentes. Un 65% de la vía se encontró parcialmente descubierta y deja a la vista los rieles y algunos durmientes.

CUADRO 6. RESUMEN SECCIÓN 3			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	4325	m	100
Transitable a pie	3250	m	75,1
Intransitable	1075	m	24,9
Vía férrea cubierta	1513	m	35
Vía férrea parcialmente descubierta	2812	m	65
Vía férrea cubierta por asfalto	45	m	1
Intersecciones	8	unidad	-
Puentes menores a 15 m	1	unidad	-
Puentes mayores a 15 m	2	unidad	-
Pasos de agua menores	4	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	35	unidad	-

(Fuente: Autor)

Esta sección es la de mayor longitud y representa el 30% del total del recorrido; se extiende en su totalidad en el cantón y distrito de Paraíso, con zonas semi-urbanas, industriales, urbanas y fincas colindantes dedicadas a la actividad maderera y floral. La topografía es predominante plana lo cual varía conforme se acerca al río Páez donde se tienen zonas montañosas. La diferencia de altura entre el punto inicial y final es de 74,8m, esto según la figura 70.

Sección 4: Paraíso, Páez-Parruás

Esta sección inicia en el puente sobre el río Páez, atraviesa el río Birrisito y concluye en la intersección más cercana al río Parruás.

Como se observa en el cuadro 7, sólo un 10,6% de la sección no se pudo transitar (entre puntos P69 y P67 en planos), correspondiente a un tramo cerrado con cerramientos vegetales y de láminas de hierro galvanizado, tal como se muestra en la figura 75. De las ocho intersecciones, una se encontró cubierta con asfalto (punto P37 en planos) en una longitud de 14m. Adicionalmente se tiene un 71,1% donde la vía estaba cubierta por materiales como maleza, lastre, grava, tierra o pasto, lo cual imposibilitó la observación de sus componentes.

CUADRO 7. RESUMEN SECCIÓN 4			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	3888	m	100
Transitable a pie	3474	m	89,4
Intransitable	414	m	10,6
Vía férrea cubierta	2763	m	71,1
Vía férrea parcialmente descubierta	1125	m	28,9
Vía férrea cubierta por asfalto	14	m	0,4
Intersecciones	6	unidad	-
Puentes menores a 15 m	1	unidad	-
Puentes mayores a 15 m	0	unidad	-
Pasos de agua menores	8	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	9	unidad	-

(Fuente: Autor)

Un 28,9% de la vía se encontró parcialmente descubierta, y deja a la vista los rieles y algunos durmientes.



Figura 75. Obstrucción vegetal en vía (Fuente: Autor)

Esta sección se extiende en su totalidad en el cantón y distrito de Paraíso, con zonas semi-urbanas y residenciales en las cercanías del río Páez y actividades agrícolas en los sectores de

Birrisito y Parruás. La topografía es predominante montañosa, por lo que los problemas de derrumbes, deslaves o taludes con potencial peligro, son comunes en su recorrido. La diferencia de altura entre el punto inicial y final es de 63,5m, esto según la figura 70.

Como particularidad, se localizó un muro de retención (punto P41 en planos) en una zona de relleno, el cual estaba constituido por elementos horizontales de concreto entrelazados relleno de piedra volcánica. Este muro el cual se apreció en buen estado, se muestra en la siguiente figura.



Figura 76. Muro de retención encontrado (Fuente: Autor)

Sección 5: Paraíso, Parruás-El Yas

Esta sección inicia en la intersección más cercana al río Parruás, atraviesa los ríos Parruás, Títtere y Regado y concluye en el apartadero de El Yas, a un costado de la plaza de fútbol. En el siguiente cuadro, se resumen los principales resultados obtenidos en esta sección y en él se observa que el 100% de la sección fue transitable a pie y a pesar de que abundaban zonas con densa vegetación donde la vía férrea estaba cubierta (43%), no se encontraron cerramientos u obstáculos vegetales que impidieran el paso. Dicha sección no cuenta con puentes, pero sí abundan pasos de agua menores, principalmente alcantarillado y canales abiertos.

CUADRO 8. RESUMEN SECCIÓN 5			
Descripción	Cantidad	Unidad	%
Total del recorrido	2309	m	100
Transitable a pie	2309	m	100
Intransitable	0	m	0
Vía férrea cubierta	993	m	43
Vía férrea parcialmente descubierta	1316	m	57
Vía férrea cubierta por asfalto	0	m	0
Intersecciones	4	unidad	-
Puentes menores a 15 m	0	unidad	-
Puentes mayores a 15 m	0	unidad	-
Pasos de agua menores	9	unidad	-
Invasiones al derecho de vía	4	unidad	-

(Fuente Autor)

Esta sección se extiende en su totalidad en el distrito de Santiago del cantón de Paraíso, con pocas zonas pobladas y gran abundancia de fincas agrícolas. La topografía es montañosa en la totalidad, por lo que los derrumbes, deslaves o taludes con potencial peligro, son comunes en su recorrido. La diferencia de altura entre el punto inicial y final es de 20,7m, esto según la figura 70.

Una particularidad relevante de esta sección, es que existe un tramo de 440m donde la vía férrea es utilizada como camino de acceso vehicular a la zona de El Yas. Esta situación se dio debido a que uno de los puentes de la carretera estaba derrumbado, lo cual se comprobó en el momento de realizado el levantamiento.

Estado cualitativo de la vía férrea

En esta sección se presentan puntualmente los resultados obtenidos a lo largo del recorrido, relacionados con la vía férrea y sus componentes, además, incluye situaciones relacionadas con invasión al derecho de vía y otro tipo de problemas detectados. La ubicación

exacta de cada uno de los casos aquí mencionados, se localiza en los planos de levantamiento del apéndice 1.

Superestructura

La descripción cualitativa de los componentes de la superestructura, a saber, rieles, durmientes, sujeciones, eclisas y balastro, será basada en los 6613m de longitud donde la vía férrea se encontró parcialmente descubierta, correspondientes al 45,9% de la longitud total.

Rieles

Los rieles localizados son del siguiente tipo:

- riel de 80 libras,
- riel de 70 libras,
- riel de 40 libras.

Los rieles de 70 libras fueron localizados en todo el recorrido, son los dos rieles principales de la vía al igual que en los apartaderos. El riel de 40 libras fue detectado en sección 4, en las cercanías del río Birrisito (punto P50 en planos) con una longitud de 340m, donde se observó la transición entre ambos rieles mencionados anteriormente. Según funcionarios del Incofer, a esto se le llama “*riel de compromiso*” y fue utilizado cuando se agotaban los rieles de 70 libras. Esto se muestra en la siguiente figura.



Figura 77. Transición de rieles, “Riel de compromiso” (Fuente: Autor)

Físicamente se observa que los rieles se conservan en buen estado, a excepción de una leve corrosión y ciertas zonas con mayor desgaste que otras; no se detectaron problemas de consideración.

Se localizaron tramos donde uno o ambos rieles fueron removidos; en la sección 2 exactamente detrás de la urbanización Bosque Real (entre puntos P145 y P146 en planos) con ausencia de los dos rieles en una longitud de 49m, cerca del río Taticú (entre puntos P131 y P135 en planos) con ausencia de un riel en una longitud de 36m y en las inmediaciones del aserradero (entre puntos P122 y P123 en planos) con ausencia de ambos rieles en una longitud de 154m. En total, se tiene una distancia de 442m con faltante de rieles en la sección 2. En la siguiente figura se aprecia el tipo de riel encontrado, así como la ausencia de uno de ellos, esto en las cercanías del río Taticú.



Figura 78. Faltante de riel en sección 2 en las cercanías del río Taticú (Fuente: Autor)

En la sección 3, se localizaron dos zonas con faltante de rieles, después del río Blanquillo (punto P112 en planos) con ausencia de los dos rieles en una longitud de 30m y cerca del río Páez (entre puntos P76 y P75 en planos) con ausencia de un riel en una longitud de 8m. En total, se tiene una distancia de 68m con faltante de rieles en la sección 3.

En la sección 4, tres puntos presentaron ausencia de rieles, en la zona de doble vía con ausencia de los dos rieles en una longitud de 20 m, hacia el Este del río Birrisito (punto P48 en

planos) con ausencia de ambos rieles en una longitud de 46 m y en las cercanías de una de las intersecciones hacia el Este del punto anterior (punto P44 en planos) con faltante de uno de sus rieles en una distancia de 15m. En total se tiene una distancia de 147m con faltante de rieles en la sección 4. Este último caso se muestra en la siguiente figura donde en apariencia el riel fue cortado.



Figura 77. Riel cortado en sección 4 (Fuente: autor)

Durmientes

El 45,9% de la distancia total del tramo, se encontró parcialmente descubierta (ver cuadro 3), sin embargo, solo en 2733m, correspondientes al 18,9%, los durmientes fueron visibles. Lo anterior se distribuyó de la siguiente manera:

- sección 1: 60 m,
- sección 2: 346 m,
- sección 3: 1250 m,
- sección 4: 682 m,
- sección 5: 395 m.

Los durmientes detectados fueron los siguientes:

- de madera con sección de 20x20cm y una longitud promedio de 2,1m: se observaron en todas las secciones:
- de acero con forma de \mathbb{I} o H invertida; se observaron en todas las secciones excepto en la sección 1;
- de concreto del tipo semitraviesas con arriostres, estos se observaron en todas las secciones excepto en la sección 1.

- de acero tipo canoa (son los más antiguos), sólo se observaron en la sección 3.
- De concreto tipo mono-bloque (son los más modernos), se observaron en las secciones 3, 4 y 5.

La mayor parte de los durmientes observados fueron de madera y de acero \mathbb{I} o H invertida, en menor cantidad las semitraviesas y una minoría para los de acero tipo canoa y los de concreto tipo monobloque. En todos los casos, a excepción de los tipos monobloque, se apreció un deterioro muy evidente; los de madera, podridos, los de acero, con deformaciones en toda su longitud, las semitraviesas, quebradas, las de acero tipo canoa, con una capa de corrosión. Además, se apreció la remoción de una gran cantidad de durmientes en las zonas donde fueron visibles.



Figura 80. Durmientes de madera sobre puente del río Toyogres, sección 1 (Fuente: Autor)

En la sección 1, los únicos durmientes detectados fueron los de madera, lo cual se muestra en la figura anterior correspondiente al puente sobre el río Toyogres. Estos se apreciaron completamente agrietados y la gran mayoría podridos.

En la siguiente figura, correspondiente a una de las vías frente a la Estación de Paraíso (sección 3) se aprecia la mezcla de durmientes utilizados; en este caso particular corresponde a durmientes de madera, de acero tipo canoa y semitraviesas.



Figura 81. Mezcla de durmientes frente a estación de Paraíso, sección 3 (Fuente: Autor)



Figura 82. Durmientes de acero con forma de I o H invertida en sección 5 (Fuente: autor)

En la figura anterior se muestran durmientes de acero en forma de I o H invertida en la sección 5, donde se aprecia fácilmente las deformaciones detectadas.

Sujeciones

Las sujeciones son los elementos de unión entre los rieles y los durmientes; los tipos encontrados fueron los siguientes:

- placa metálica de un hombro y clavo,
- rabo de chanco o clip elástico,
- clip de riel.

Todas las sujeciones del tramo presentan problemas evidentes, ausencia de clavos, rabos de chanco, tornillos y tuercas, así como alto grado de corrosión.



Figura 83. Sujeción de placa y clavo (Fuente: Autor)

Tal como se aprecia en la figura anterior, esta sujeción está constituida por una placa metálica de un solo hombro y cuatro clavos; de los durmientes encontrados muchos de ellos presentaban faltante de una o incluso de las dos sujeciones necesarias y en su totalidad hay ausencia de por lo menos un clavo. En la figura se observa, además, un alto desgaste en la zona intermedia del clavo, donde su sección se ha corroído y reducido considerablemente.

En la figura 84 se aprecia una sujeción tipo rabo de chanco sobre una semitraviesa; este tipo de sujeción también se encontró en durmientes de madera.

En la figura 85 se muestra la sujeción tipo clip de riel, utilizada en durmientes de acero y ocasionalmente en semitraviesas.



Figura 84. Sujeción tipo rabo de chancho (Fuente: Autor)



Figura 85. Sujeción tipo clip de riel (Fuente: Autor)

Eclisas

Estos son los elementos de unión entre rieles; las eclisas encontradas fueron las siguientes:

-full toe bar, o traducido al español, barra de dedo completo.

Básicamente, estas son barras de acero con huecos que permiten pasar los pernos y unir los rieles en sus terminales. Se contabilizó la siguiente cantidad de eclisas:

- Sección 1: 8 unidades; 100% defectuosas.
- Sección 2: 108 unidades; 60% defectuosas.

- Sección 3: 126 unidades; 40% defectuosas.
- Sección 4: 68 unidades; 70% defectuosas.
- Sección 5: 38 unidades, 43% defectuosas.

La principal deficiencia encontrada en estos elementos fue la ausencia de uno o varios pernos, así como separación excesiva entre rieles. No se detectaron uniones soldadas.

En la siguiente figura se muestra una eclisa en buen estado localizada en la sección 2, en ella se observan todos lo pernos, así como una separación prácticamente imperceptible entre rieles.



Figura 86. Eclisa tipo full toe bar en sección 2 (Fuente: Autor)



Figura 87. Eclisa tipo full toe bar en sección 5, (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra una de las eclisas detectadas en la sección 5; se evidencia la ausencia de pernos a un lado de los rieles, así

como una separación de 4cm entre rieles, lo cual causa golpes, por tanto, ausencia de confort al transitar un tren sobre este tramo.

Balastro

El balastro, material sobre el cual se asientan los durmientes y rellena los espacios entre estos, no se pudo apreciar a lo largo de todo el tramo, ya que en los lugares donde la vía se encontraba parcialmente descubierta, estaba cubierto con tierra, maleza u otros materiales que han sido depositados con el tiempo.

La contaminación del balastro se mantiene constante a lo largo de todo el recorrido.

Estaciones

En la ruta en estudio, Cartago- El Yas, se detectaron únicamente dos estaciones, una de ellas es la estación de Cartago, ubicada sobre avenida 6 detrás del mercado, la cual se muestra en la siguiente figura.



Figura 88. Estación de Cartago, sección 1 (Fuente: Autor)

La estación de Cartago pertenece a la sección 1 y a la fecha de realizada la visita, se encontró en óptimas condiciones y con evidencias de haber sido renovada en épocas recientes. Externamente se apreció una cubierta de techo en excelente estado y paredes mantenidas de buena manera. No se le detectó ninguna deficiencia.

En la sección 3 se localiza la segunda y última estación del tramo en estudio, esta es la

estación de Paraíso. En contraste con la estación de Cartago, la de Paraíso se encontró en completo abandono; deformaciones en sus paredes externas de madera, cubierta de techo en mal estado y un interior completamente desmantelado, son sólo algunas de las deficiencias que se pudieron detectar visualmente.

En la siguiente figura se aprecia el estado de la estación a la hora de realizado el levantamiento.



Figura 89. Estación de Paraíso, sección 3 (Fuente: Autor)

Apartaderos

Se localizaron cuatro apartaderos, todos dentro del cantón de Paraíso. El primero de ellos se ubica en la sección 3, este es el apartadero del ICE, detrás de las bodegas del ICE (entre puntos P105 y P103 en planos) con una longitud de 260m.

El segundo es el apartadero de Paraíso, también perteneciente a la sección 3. Se ubica en las inmediaciones de la estación de Paraíso (entre puntos P96 y P93 en planos) con 185 m de largo. En la siguiente figura se muestra la unión de vías en esta zona.



Figura 90. Unión de vías (Fuente: Autor)

Se localizó, además, un “cambia vías”, herramienta manual utilizada para el entronque de vías, esto según conversaciones con personeros de Incofer (2012). Dicho elemento se encontró en malas condiciones y con faltante de elementos que impiden su correcto funcionamiento. En la siguiente figura se muestra este caso.



Figura 91. Cambia vías en apartadero Paraíso, (Fuente: Autor)

En la sección 4, se ubica el apartadero de El Rincón, hacia el Oeste del río Birrisito (entre puntos P66 y P61 en planos) con 226m de longitud; según lugareños en este lugar se ubicaba el telégrafo.

En la sección 5, se ubica el apartadero de El Yas (entre puntos P1 y P4 en planos), con una extensión de 103m. En esta zona también se localizó un “cambia vías”, como el mostrado en la figura 91 en malas condiciones y con faltante de elementos.

Puentes

Es importante mencionar que el levantamiento de los puentes se hizo bajo circunstancias limitadas de equipo y seguridad, por lo que su posterior análisis será basado en la revisión superficial de los elementos que se lograron observar.

En todos los puentes, la estructura de acero conformada por vigas y arriostamientos, se observó en buen estado solamente con una leve capa de corrosión; no se detectaron problemas como quebraduras, uniones sueltas o faltantes de elementos; vale recalcar nuevamente que las condiciones del sitio no permitieron realizar un exhaustivo y detallado levantamiento.

A excepción del puente sobre el río Taticú en la sección 2, no se detectó socavación en las bases de los bastiones. La mayor deficiencia se da en los durmientes y las sujeciones, ya que algunos de ellos fueron removidos y los existentes se encuentran en pésimo estado.

En el apéndice 1: “Planos de levantamiento”, se muestran detalles y la ubicación exacta de cada uno de los puentes.

Puentes sección 1

En esta sección existe un solo puente el cual se ubica sobre el río Toyogres, este es límite cantonal entre Cartago y Paraíso y a la vez sirvió como límite entre la sección 1 y 2. Dicho puente es el tercero con mayor longitud del total del recorrido, tiene una luz de 16,8m, apoyos de 0,8 m sobre los bastiones y una altura de 5,5m sobre el lecho del río. Está constituido por los siguientes elementos:

-dos vigas principales de acero en perfil **I** o H invertida de 1,3m de altura y 0,38m de ancho. Tanto el ala como el alma tienen un espesor de 2,5 cm.

-Arriostramientos entre las vigas construidos principalmente con perfiles tipo angular y canal.

-Durmientes de 0,2x0,2x2,1m en madera a cada 40cm apoyados directamente sobre las vigas.

-Rieles de 70 libras y contrarieles de 40 libras; estos últimos fueron removidos, sin embargo, se apreció que sí formaban parte del conjunto.

-Bastiones con paredes de bloques de piedra sólida.



Figura 92. Puente sobre río Toyogres (Fuente: Autor)

En la figura anterior se aprecia el estado del puente, así como algunos de sus elementos antes mencionados. Los bastiones no se pudieron observar con detalle, ya que estaban cubiertos de maleza.

Puentes sección 2

Esta sección es la que presenta mayor cantidad de puentes, un total de cinco y en orden de aparición en el sentido Cartago-El Yas, atraviesan el río San Nicolás, río Chinchilla, río Taticú, río Barquero y río Blanquillo; este último es límite cantonal entre Oreamuno y Paraíso y a la vez sirvió como límite entre la sección 2 y 3.

CUADRO 9. DATOS DE PUENTES EN SECCIÓN 2

Item	# en planos	Río	Luz (m)	Apoyo en bastiones (m)	Altura sobre lecho (m)
1	31	San Nicolás	9,3	0,7	4,6
2	30	Chinchilla	9,3	0,7	3
3	29	Taticú	9,3	0,7	7
4	28	Barquero	13,6	0,8	7,3
5	27	Blanquillo	14,7	0,9	7

(Fuente: Autor)

En el cuadro anterior se observa que todos los puentes tienen una luz menor a 15m y su altura respecto al lecho del río varía entre los 3 y los 7,3 m. Todos están construidos principalmente a base de acero y están constituidos por los siguientes elementos:

-Dos vigas principales de acero en perfil **I** o H invertida; 0,78m de altura y 0,38m de ancho en los puentes 1, 2, y 3 del cuadro anterior, 1,05 x 0,36m en el puente del río Barquero y 1,3 x 0,4m en el puente del río Blanquillo. En todos los casos tanto el ala como el alma tienen un espesor de 2,5cm.

-Arriostramientos entre las vigas construidos principalmente con perfiles tipo angular y canal.

-Durmientes de 0,2x0,2x2,1m en madera a cada 40cm apoyados directamente sobre las vigas.

-Rieles de 70 libras.

-Bastiones con paredes de bloques de piedra sólida.

En la siguiente figura se presenta el puente sobre el río Chinchilla; en ella se ve uno de los bastiones, los cuales tienen las mismas características en todos los casos, sólo con variaciones en altura y ancho. Además, se observa una de las vigas principales, así como un solo durmiente de madera.

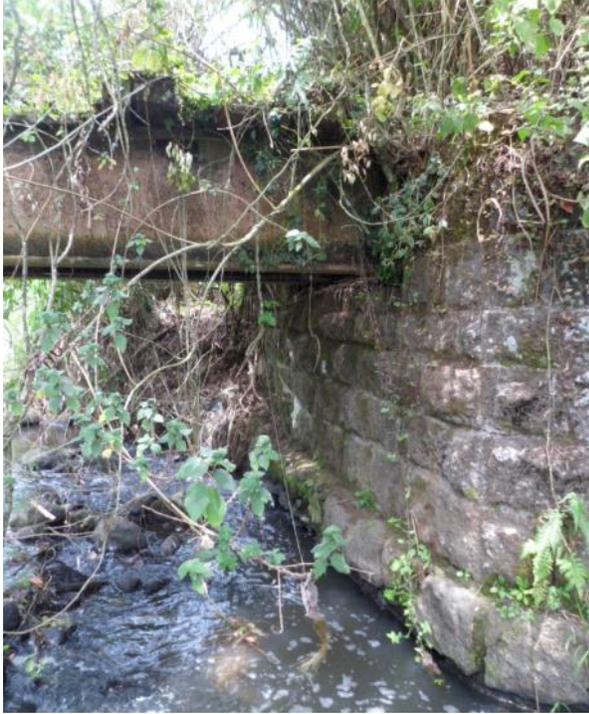


Figura 93. Puente sobre río Chinchilla (Fuente: Autor)



Figura 94. Puente sobre río Barquero (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el puente sobre el río Barquero con una longitud de 13,6m y una altura de 7,3m sobre el lecho del río; se percibe la ausencia de varios durmientes.



Figura 95. Bloque sólido de piedra de bastiones desprendido (Fuente: Autor)

En el lecho del río Barquero se localizó un bloque de piedra sólida desprendido de la parte superior de uno de los bastiones, tal como se muestra en la figura anterior; estos tienen una sección trapezoidal con una base mayor de 35cm, base menor de 30cm y una altura de 25cm, en sitio se percibe que son colocados con un mortero cementicio.



Figura 96. Puente sobre río Blanquillo (Fuente: Autor)

En la figura anterior, se tiene al puente sobre el río Blanquillo donde se observa la estructura de acero con corrosión superficial y ciertas zonas que aún conservan su pintura original. Además, se aprecia la ausencia de prácticamente todos los durmientes de madera.

No fue posible descender a observar los bastiones del puente del río San Nicolás, ya que

las condiciones no lo permitían; en los puentes del río Chinchilla, Barquero y Blanquillo, no se apreciaron problemas en los bastiones, sin embargo, en el puente del río Tatiscú sí se detectó problemas de socavación en el costado Este, lo cual se muestra en la figura 97. No se pudo descender a la zona a medir la profundidad que la socavación había alcanzado bajo el bastión, no obstante, se le estimó una altura de 70 cm.



Figura 97. Bastión con socavación en puente sobre río Tatiscú (Fuente: Autor)

Puentes sección 3

Esta sección tiene un total de tres puentes y entre estos se encuentra el de mayor relevancia de todo el recorrido debido a su estructura y a su longitud, el puente sobre el río Páez.

CUADRO 10. DATOS DE PUENTES EN SECCIÓN 3					
Ítem	# en planos	Río	Luz (m)	Apoyo en bastiones (m)	Altura sobre lecho (m)
1	24	Pollo	18	1	14
2	23	río intermitente	6,4	0,6	7
3	20	Páez	67	0,95	25,75

(Fuente: Autor)

En el cuadro anterior se observa que dos puentes tienen una luz mayor a 15 m y el caso del puente sobre el río Páez con una considerable altura de 25,75m sobre el lecho del río. Los puentes 1 y 2 del cuadro anterior están constituidos por los siguientes elementos:

- Dos vigas principales de acero en perfil **I** o H invertida; 1m de altura y 0,40m de ancho (espesor del alma y ala= 2,5 cm) en el puente 1 y 0,7 x 0,27 m (espesor del alma y ala = 1,25 cm) en el puente 2.
- Arriostramientos entre las vigas construidos principalmente con perfiles tipo angular y canal.
- Durmientes de 0,2x0,2x2,1 m en madera a cada 40cm apoyados directamente sobre las vigas.
- Rieles de 70 libras.
- Bastiones con paredes de bloques de piedra sólida.



Figura 98. Puente sobre río Pollo (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el puente sobre el río o quebrada Pollo. En ella se aprecia una de las vigas principales, algunos durmientes y uno de los rieles, además, muestra la densa maleza en sus apoyos. Para poder acceder a este puente, fue necesario ingresar por una propiedad privada, ya que la trocha se encontró obstruida en sus cercanías.

El puente sobre el río Páez es de mayores proporciones y también fue construido a base de acero. Está constituido por los siguientes elementos:

- Dos vigas-cerchas principales de acero con perfiles tipo canal en la cuerda superior e inferior con arriostramientos en "X" (elementos inclinados) en toda su longitud. Estas vigas-

cerchas tienen 3,4m de altura y 0,44m de ancho con un espesor promedio de sus elementos de 8mm.

-Arriostramientos superiores, inferiores y laterales entre las vigas-cerchas construidos principalmente con perfiles tipo angular y canal.

-Travesaños de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida apoyados en las vigas-cerchas con un ancho de 0,19 m y una altura de 0,3 m en sus extremos y 0,6 m en su centro.

-Diafragmas de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida entre travesaños, con un ancho de 0,19 m y una altura de 0,3 m.

-Durmientes de 0,2x0,15x2,1 m en madera a cada 30cm apoyados directamente sobre los diafragmas.

-Rieles de 70 libras y contraríeles de 40 libras; estos últimos en su mayoría fueron removidos.

-Torre en el centro del claro construida principalmente con perfiles tipo angular y canal con una altura de 20m y tres bases de concreto con bloques de piedra sólida en su exterior de 5 m de largo, 2 m de ancho y 2,45 m de altura.

-Bastiones con paredes de bloques de piedra sólida.



Figura 99. Puente sobre río Páez (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra el puente sobre el río Páez. Se observan las vigas-cerchas principales, así como los bastiones. Producto del levantamiento realizado a dicho puente, se elaboró un modelo 3D con el software *Sketchup 8*, esto para brindar una mejor perspectiva del mismo y visualizar cada uno de sus elementos

con mayor detalle, ya que como se mencionó anteriormente este es el puente más importante de la totalidad del recorrido.



Figura 100. Vista lateral de modelo 3D del puente sobre río Páez, (Fuente: Autor)

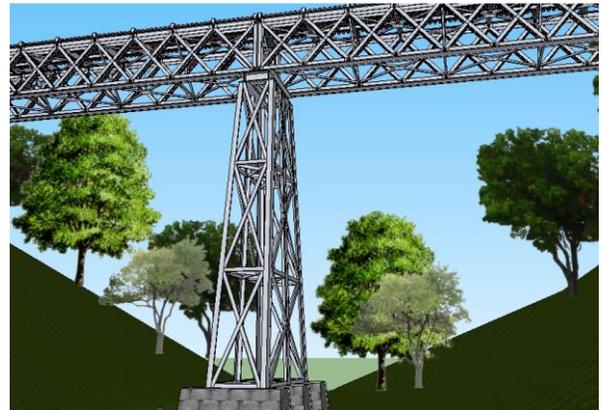


Figura 101. Vista inferior de modelo 3D del puente sobre río Páez (Fuente: Autor)



Figura 102. Vista aérea de modelo 3D del puente sobre río Páez (Fuente: Autor)

En las tres figuras anteriores se presentan imágenes del modelo 3D realizado al puente del río Páez; se observan elementos tales como

vigas-cerchas, travesaños, torre central y sus bases, durmientes, rieles y bastiones. En el apéndice 3, se muestran más imágenes de dicho modelo.

Puentes sección 4

En esta sección existe un solo puente el cual se ubica sobre el río Birrisito; es una estructura a base de acero y tiene una luz de 15 m, apoyos de 1m sobre los bastiones y una altura de 11m sobre el lecho del río. Está constituido por los siguientes elementos:

- Dos vigas principales de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida de 1m de altura y 0,4m de ancho. Tanto el ala como el alma tienen un espesor de 1,25cm.
- Arriostramiento entre las vigas construidos principalmente con perfiles tipo angular y canal.
- Durmientes de 0,2x0,2x2,1m en madera a cada 40 cm apoyados directamente sobre las vigas.
- Travesaños de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida apoyados en las vigas con un ancho de 0,19m y una altura de 0,3m en sus extremos y 0,6m en su centro.
- Diafragmas de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida entre travesaños, con un ancho de 0,19m y una altura de 0,3m.
- Durmientes de 0,2x0,2x2,1m en madera a cada 40cm apoyados directamente sobre los diafragmas.
- Rieles de 70 libras y contraríeles de 40 libras; estos últimos en su mayoría fueron removidos.
- Bastiones con paredes de bloques de piedra sólida.



Figura 103. Puente sobre río Birrisito (Fuente: autor)

En la figura anterior se muestra el puente sobre el río Birrisito. Se observan las vigas principales, los travesaños y los durmientes de madera, así como un bastión. Este puente tiene la particularidad que está ubicado en una curva, correspondiente a una de las que poseen menor radio de giro.

Los contraríeles fueron removidos en su mayoría.

Puentes sección 5

En esta sección no hay presencia de puentes, sin embargo, hay gran abundancia de pasos de agua menores a manera de alcantarillas, los cuales serán mencionados posteriormente.

Pasos de agua menores

Se le asignó el nombre de "Paso de agua menor" a todo paso de agua transversal a la vía que no fuera catalogado como puente, por el cual trasegaba un río intermitente o un desfogue pluvial natural. Los casos más comunes corresponden a alcantarillas.

Paso de agua menores, sección 1

A lo largo de esta sección no se detectaron quebradas, ríos intermitentes o pasos pluviales adicionales. Por supuesto que al estar ubicada en una zona urbana, se da la presencia de intersecciones con carreteras las cuales transportan aguas pluviales por medio de cunetas o caños, sin embargo, solo se detectó un problema relacionado con este tema. Precisamente en la esquina noreste de la Basílica de Los Ángeles, sobre la intersección con la ruta férrea en medio de los dos rieles, lo cual evidencia que en este punto se recolectan aguas pluviales provenientes de las carreteras circundantes. Esto se aprecia en la siguiente figura.



Figura 104. Tragante sobre vía (Fuente: Autor)

Paso de agua menores, sección 2

La sección cuenta con tres intersecciones con carreteras o caminos; la primera de ellas es en la vía de acceso a San Rafael de Oreamuno en la esquina noreste de la plaza de la urbanización Invu (punto P146 en planos), donde se cuenta con un canal abierto de concreto con sección rectangular de 2, 1m de ancho y 1, 6m de alto con dos vigas de acero empotradas; este desfogue pluvial proveniente de la carretera se aprecia en buen estado.

En la segunda intersección, dentro del residencial Don Edgar (punto P128 en planos), se cuenta con alcantarillado pluvial, sin embargo, la vía férrea se encontró cubierta con el asfalto de la carretera, así como por sus aceras y cordones de caño.

En la tercera y última intersección, en las cercanías del aserradero (punto P123 en planos), se tiene un problema con las aguas provenientes del camino por medio de una zanja; esto se muestra en la siguiente figura, donde se aprecia cómo los rieles descansan sin apoyo alguno, ya que no existe un canal o alcantarillado adecuado, por lo que las aguas pluviales han provocado una excavación bajo la vía.



Figura 105. Zanja pluvial bajo vía férrea (Fuente: Autor)

Paso de agua menores, sección 3

La sección cuenta con cuatro pasos de agua menores; uno de ellos le corresponde a la quebrada Púcares, esto en las cercanías de las bodegas del ICE (punto P106 en planos), el cual está construido con dos pequeños bastiones de concreto y dos vigas de acero en perfil \mathbb{I} o H invertida de 0, 3m de alto, 0, 2m de ancho y 3,2m de largo. Hacia el este de la quebrada Púcares se localiza un canal de desagüe de una laguna localizada en las colindancias de la vía férrea; este paso está construido de la misma manera que el anterior, pero sus vigas tienen una longitud de 3m. En estos dos casos los elementos se observan en buen estado a excepción de los durmientes de madera de los cuales muchos han sido removidos.

Un tercer paso se encuentra en la intersección con la ruta 10 en Paraíso centro, donde el agua es transportada de manera subterránea bajo la carretera. Consiste en una estructura de dos muros de bloques de piedra sólida entre los cuales se tiene el material de relleno sobre el cual se desplaza la vía férrea; funciona como túnel para el tránsito que circula por la ruta 10 y tiene sección semicircular con una altura de 6 m y un ancho de 5, 5m. Se observó en sitio que la cara superior del túnel ha sufrido desprendimiento de material esto muy probablemente por el choque de vehículos de gran altura.

En la siguiente figura se muestra el caso anterior y en los planos de levantamiento del

apéndice 1, donde se nombró como “Puente 22”, se tiene un detalle del mismo.



Figura 106. Túnel sobre ruta 10 (Fuente: Autor)

El último paso de agua menor se tiene hacia el este del río Páez (punto P79 en planos), el cual consiste en un desfogue natural de aguas pluviales provenientes de la trocha y de fincas colindantes, sin embargo, no existe ninguna estructura adecuada para este fin, por lo que en sitio se observó una excavación sobre la cual descansan los rieles sin apoyo alguno.

Esta sección cuenta con ocho intersecciones con carreteras o caminos; no se detectó problemas con el manejo de aguas pluviales en estos puntos.

Paso de agua menores, sección 4

La sección cuenta con ocho pasos de agua menores, algunos de mayor importancia y dimensiones que otros. Dicha información se resume en el cuadro 11; todos los pasos de agua indicados en el cuadro 4 corresponden a desagües pluviales, a excepción del número 8 (puente 11 en planos) en el cual fluye un río intermitente. Los número 2, 3, 4, 6 y 8 (puente 17, 16, 15, 13 y 11 en planos, respectivamente) corresponden a puntos donde la vía férrea se encuentra en zonas de relleno; los número 1 y 7 (puente 19 y 12 en planos, respectivamente) consisten en alcantarillas a un nivel superficial que recolectan aguas de las zanjas paralelas a la trocha.

El número 6 no se pudo observar, ya que las condiciones del sitio no eran seguras, sin embargo, sobre la vía no se detectó evidencia de

algún problema relacionado con la ausencia o mal funcionamiento de dicho paso.

CUADRO 11. PASOS DE AGUA MENORES, SECCIÓN 4		
Ítem	# en planos	Descripción
1	Puente 19	Alcantarillado de sección circular con cabezales de concreto para desagüe de aguas pluviales.
2	Puente 17	Alcantarillado de sección circular en zona de relleno protegida con muros de retención de bloques de piedra sólida.
3	Puente 16	Alcantarillado de sección circular en zona de relleno protegido con recubrimiento de bloques de piedra sólida.
4	Puente 15	Desagüe pluvial en zona de relleno. No pudo ser observado.
5	Puente 14	Desagüe pluvial natural sin estructura alguna para este fin.
6	Puente 13	Desagüe pluvial en zona de relleno. No pudo ser observado.
7	Puente 12	Alcantarillado de sección circular con cabezales de concreto para desagüe de aguas pluviales.
8	Puente 11	Alcantarillado tipo bóveda en zona de relleno protegida con muros de retención de bloques de piedra sólida.

(Fuente: Autor)

Todos los pasos se encontraron con basura vegetal acumulada y maleza a sus alrededores y en dos de ellos se detectó deficiencias mayores, tal es el caso de los pasos número 4 y 5; el resto se apreciaron en buenas condiciones y con capacidades hidráulicas adecuadas. La situación localizada en el paso número 4, se muestra en la siguiente figura. Tal como se observa, en esta zona ocurrió un deslave, con una longitud de 14m y una altura aproximada de 10m dejando la vía férrea al borde de la corona del talud. Este paso se ubica en una sección de relleno y las condiciones del sitio, así como de seguridad, no permitieron descender a corroborar la existencia

del sistema de desfogue. Las circunstancias encontradas aparentan que el pie del talud fue socavado por una insuficiente evacuación pluvial, que en conjunto con las aguas provenientes de la trocha, pudieron provocar el deslave.



Figura 107. Deslave en vía férrea en paso de agua menor #4 (Fuente: autor)

En el caso del paso de agua menor número 5, se encontró en este punto una excavación de 0,8m de ancho y profundidad de 0,5m la cual se conecta con una zanja paralela a la vía férrea que en apariencia recolecta aguas pluviales provenientes de las fincas colindantes; los rieles y uno de los durmientes descansan sobre esta excavación sin apoyo alguno y no hay duda de que con el tiempo se puede convertir en un problema de dimensiones mayores.



Figura 108. Alcantarillado de desagüe pluvial, paso de agua menor #3 (Fuente: autor)

En la figura anterior se muestra el paso de agua menor número 3, el cual consiste en un alcantarillado de sección circular con un recubrimiento o protección superior y lateral en bloques de piedra sólida; fuera de la basura orgánica en su salida, se apreció en buenas condiciones.



Figura 109. Alcantarillado tipo bóveda en río intermitente, paso de agua menor #8, (Fuente: autor)

En la figura anterior se muestra el paso de agua menor número 8, el cual consiste en un alcantarillado tipo bóveda en un río intermitente cuyo cauce se une al río Parruás. Dicha bóveda tiene una altura de 2,5m en su eje central y un ancho de 1,7m; se apreció en buen estado pero evidentemente tiene raíces de árboles y demás vegetación acumulada en sus paredes.

Esta sección cuenta con seis intersecciones con carreteras o caminos, solo en una de ellas se detectó una deficiencia con el manejo de las aguas pluviales, esto en una calle de lastre que se extiende hasta el Valle de Ujarrás (punto P44 en planos) donde se apreció problemas de socavación en la entrada del alcantarillado existente el cual no cuenta con cabezales.

Paso de agua menores, sección 5

La sección cuenta con nueve pasos de agua menores, algunos de mayor importancia y dimensiones que otros. Dicha información se resume en el siguiente cuadro.

CUADRO 12. PASOS DE AGUA MENORES SECCIÓN 5		
Ítem	# en planos	Descripción
1	Puente 9	Alcantarillado tipo bóveda en zona de relleno protegida con muros de retención de bloques de piedra sólida. Río Parruás.
2	Puente 8	Estructura inexistente en zona de desagüe pluvial.
3	Puente 7	Alcantarillado en zona de relleno. No pudo ser observado. Río Títire.
4	Puente 6	Alcantarillado en zona de relleno. No pudo ser observado. Río Regado.
5	Puente 5	Canal abierto de concreto de 1,15m de alto y 1,3m de ancho.
6	Puente 4	Canal abierto de concreto.
7	Puente 3	Alcantarillado de sección circular en sección de corte, con cabezales de concreto para desagüe de aguas pluviales.
8	Puente 2	Sistema de drenaje con rocas en zona de relleno.
9	Puente 1	Estructura inexistente en río intermitente.

(Fuente: Autor)

De los pasos de agua mencionados en el cuadro anterior, dos de ellos, los número 3 y 4 (puente 7 y 6 en planos, respectivamente), no fue posible observarlos, ya que las condiciones del sitio no eran seguras, sin embargo, sobre la vía no se detectó evidencia de algún problema relacionado con la ausencia o mal funcionamiento de dicho paso.

En dos pasos de agua se encontró que no existía estructura alguna para su funcionamiento. Uno de estos casos fue hacia el Este del río Parruás (paso de agua menor número 2 del cuadro 12); la topografía localizada en el sitio, hace pensar que esta zona funciona como un canal natural de desagüe pluvial.

El caso anterior se muestra en la figura 110, donde se puede apreciar que algunos durmientes de madera aún conectados a los rieles, no poseen apoyo alguno. No se detectó la presencia de bastiones, muros, cabezales o alguna otra estructura, por lo que es muy posible que originalmente fuera una zona de relleno con

sistema de drenaje; posee una longitud de 10m y una altura de 3,5m en el centro del claro.



Figura 110. Paso de agua menor #2 (Fuente: Autor)

Otro caso similar se encontró en el paso de agua menor número 9 (puente 1 en planos), en el cual la vía férrea atraviesa un río intermitente, esto hacia el suroeste de la plaza de fútbol de El Yas. Los rieles se encontraron sin durmientes y sin ningún tipo de apoyo, además, tal como se aprecia en la figura 111, los lugareños construyeron una losa entre ambos rieles para ser utilizada como paso peatonal. Este paso tiene una longitud de 6,5m y una altura de 2,3m en el centro del claro.



Figura 111. Paso de agua menor #9 (Fuente: Autor)

Tanto el paso de agua menor número 5 como el 6 (puente 5 y 4 en planos, respectivamente) son canales abiertos de concreto de dimensiones similares; en estos los durmientes de madera se encontraron apoyados sobre dos rieles empotrados en la estructura de concreto. En la figura 112 se muestra el paso de agua menor número 5 y en ella se aprecia el mal estado de los durmientes de madera.



Figura 112. Paso de agua menor #5 (Fuente: Autor)

En el río Parruás se encuentra el paso de agua menor número 1 del cuadro 12, este es el de mayor importancia en cuanto a dimensiones y atractivo arquitectónico. Se trata de un alcantarillado tipo bóveda con una altura de 32m en su eje central y un ancho de 2,5m; se apreció en buen estado y se localizó una placa con fecha de 1881 en su borde superior. Este caso se muestra en la figura 113.

La sección 5 cuenta con cuatro intersecciones con carreteras o caminos; en ninguna de ellas se detectó deficiencia alguna con el manejo de las aguas pluviales.

En el anexo 1: Planos de Levantamiento, se muestra la ubicación exacta de cada uno de los pasos de agua menores, así como un detalle del pasos número 1 (puentes 9 en planos)



Figura 113. Alcantarillado tipo bóveda en río Parruás (Fuente: autor)

Cunetas y zanjas paralelas a la vía

En la sección 1, las cunetas paralelas a la vía férrea utilizadas para la recolección y evacuación del agua pluvial, fueron detectadas en un tramo de 1120m, esto a lo largo de la avenida 6, donde se tienen cunetas a ambos lados, hasta la intersección con la ruta 10 donde se tiene cuneta a un solo lado; en la siguiente figura se aprecia este último caso.



Figura 114. Cuneta a un lado de la vía, (Fuente: Autor)

Las cunetas encontradas son del tipo canal abierto de sección circular en concreto; estas se apreciaron en buen estado.

En la sección 3 se localizó un tramo de 200m con cunetas prefabricadas de concreto a un solo lado de la vía, esto hacia el este de la estación de Paraíso (entre puntos P93 y P91 en

planos); las mismas se aprecian en buenas condiciones. El resto de la sección no cuenta con sistema de cunetas paralelas a la vía férrea para la recolección y evacuación del agua pluvial. Adicionalmente se percibió la existencia de zanjas de desagüe pluvial, sin embargo, todas mal conformadas y en su mayoría cubiertas con maleza.

En las secciones 2, 4 y 5, no se encontraron cunetas paralelas a la vía férrea en toda su longitud.

Parcialmente en todo el recorrido se percibió la existencia de zanjas de desagüe pluvial, sin embargo, todas mal conformadas y en su mayoría cubiertas con maleza.

Derrumbes, deslaves y taludes importantes

En las secciones 1 y 2, no se encontraron problemas relacionados con suelos, tales como derrumbes, deslaves, hundimientos o taludes inestables.

En la sección 3, se detectaron cinco taludes que representan potencial peligro para la vía férrea, los cuales se presentan en el cuadro 13. El caso número 1 no representa mayor peligro para la vía, pero se encontraron árboles con ramas dentro del derecho de vía; el número 2 se apreció como un relleno mal conformado y a futuro podría fallar y derrumbarse. Los casos número 3 y 4, se ubicaron en una misma zona, con una sección de corte para dar paso a la trocha, ambos poseen pendientes considerables. El caso 5 es el más crítico de la sección; en conversación con un lugareño este comentó que el propietario de la finca donde se encuentra, realizó el corte de terreno para dar paso a un camino de acceso; este talud tiene una pendiente excesiva y la corona se encontró a una distancia crítica de 1,5 m del centro de vía.

En la sección 4, se detectaron tres deslaves, un derrumbe y dos taludes que representan potencial peligro para la vía férrea los cuales se presentan en el cuadro 13. El caso número 6 consiste en un deslave en el apartadero de El Rincón, donde parte de la vía se apreció ubicada justo en la corona del talud. El caso número 8 se mostró anteriormente en la figura 107, el cual consiste en un deslave en el punto donde se localizó un paso de agua menor.

El caso número 10 está ubicado en una sección transversal de relleno; es un talud formado en las colindancias de un paso de agua menor; en sitio no se localizaron agrietamientos o signos de superficies de falla que indiquen un posible deslizamiento, sin embargo, sí se percibió un desgaste superficial del talud. El caso número 11 fue localizado en una zona transversal de relleno; se observó en sitio que en finca colindante se realizó un corte para la construcción de un camino, generando un talud de pendiente excesiva. En esta sección se localizó un único derrumbe, esto hacia el este del río Birrisito en una sección transversal de corte; la vía no se encontró totalmente obstruida, ya que el material desprendido cubre la mitad de la trocha.

En la sección 5 se detectaron tres derrumbes, un deslave y seis taludes importantes. El caso número 1 corresponde a un talud de corte generado en la plaza de El Yas el cual se pudo medir en sitio; posee una longitud de 105m, un ancho de 5m y una diferencia de altura de 7m respecto a la carretera contigua, generando un talud promedio de 57°.

Físicamente se observa que el talud ha sufrido un desgaste superficial bastante considerable, ya que en la parte más crítica la corona se encontró a una distancia de 1,5m del centro de vía. Este es un tramo de importancia, ya que en él se ubica el apartadero de El Yas. En los tres derrumbes detectados, la vía no se encontró totalmente obstruida, ya que el material desprendido cubría parcialmente la trocha, además, contenían una densa maleza lo cual puede sugerir que ocurrieron mucho tiempo atrás.

Cabe mencionar que el levantamiento de dichos taludes, derrumbes y deslaves, se realizó bajo circunstancias limitadas de equipo y seguridad, por lo que las dimensiones presentadas en el cuadro 13, a excepción de la longitud, fueron estimadas. El volumen se calculó como una cantidad razonable y representativa de cada caso lo cual será aplicado en el análisis de resultados.

En los planos de levantamiento del apéndice 1, se muestra la ubicación exacta de todos los casos antes mencionados.

CUADRO 13. DERRUMBES, DESLAVES Y TALUDES				
Ítem	# en planos	Dimensiones: largo x ancho x altura (m)	Volumen (m3) *	Descripción
SECCIÓN 3				
1	Talud 13	165x2,5x3	288	Talud a mejorar cubierto con árboles y maleza; su pie se encontró a 1,5m del centro de la vía
2	Talud 12	60x10x7	300	Talud propenso a derrumbe; se aprecia como un relleno mal conformado y con agrietamientos
3	Talud 11	39x15x20	-	Ladera propensa a deslave; se ubica en una curva
4	Talud 10	52x15x12	780	Talud propenso a derrumbe; se ubica en una curva
5	Talud 9	100x12x10	-	Talud propenso a deslave; la corona se encontró a una distancia mínima de 1,5m del centro de vía; en apariencia, se realizó corte para construir camino en finca colindante
SECCIÓN 4				
6	Deslave 4	50x12x3	200	Deslave en sección transversal de balcón; zona de doble vía colindante a calle pública paralela; una de las vías ubicada en la corona del talud
7	Derrumbe 4	31x5x0, 7	108, 5	Derrumbe sobre vía en sección transversal de corte
8	Deslave 3	20x15x10	210	Deslave en sección transversal de relleno dejando la vía al borde de la corona del talud; se ubica en punto de paso de agua pluvial
9	Deslave 2	4x4x3	20	Pequeño deslave en sección transversal de balcón; en apariencia agua pluvial desfoga en este punto
10	Talud 8	36x20x15	-	Talud propenso a deslave en sección transversal de relleno; centro de vía a 2 m de la corona del talud
11	Talud 7	24x5x5	-	Talud propenso a deslave en sección transversal de relleno; centro de vía a 3 m de la corona del talud; en apariencia, se realizó corte para construir camino en finca colindante
SECCIÓN 5				
12	Talud 6	54x30x15	-	Ladera propensa a deslave; se ubica en una curva
13	Talud 5	77x46x20	1771	Talud propenso a derrumbe; se ubica en una curva
14	Derrumbe 3	60x1, 5x8	720	Derrumbe sobre vía en sección transversal de balcón
15	Talud 4	45x23x10	-	Ladera propensa a deslave; se ubica en una curva
16	Talud 3	85x78x40	3315	Talud propenso a derrumbe; se ubica en una curva
17	Derrumbe 2	26x1x6	156	Derrumbe sobre vía en sección transversal de balcón
18	Talud 2	58x23x16	-	Ladera propensa a deslave; se ubica en una curva
19	Derrumbe 1	28x16x7	314	Derrumbe sobre vía en sección transversal de balcón
20	Deslave 1	34x13x6	234	Deslave en sección transversal de balcón dejando la vía al borde de la corona del talud
21	Talud 1	100x5x7	-	Talud propenso a deslave en plaza de El Yas; la corona se encontró a una distancia mínima de 1,5 m del centro de vía
* se calculó como una cantidad razonable para realizar trabajos de rehabilitación				

(Fuente: Autor)

Curvas importantes

Se reconocieron curvas de importancia en el recorrido de acuerdo a radios de giro; estos datos serán utilizados posteriormente para obtener velocidades y peraltes recomendados. Se resalta en color rojo la vía férrea y en amarillo los valores de los radios, obtenidos mediante el *software* Autocad 2009.



Figura 115. Curva importante en sección 3 (Fuente: Autor)

La figura anterior muestra una curva compuesta en sentido contrario, con radios de 101,59m y 112,54m. Esta curva se ubica en la sección 3 (entre puntos P84 y P79 en planos) en las zonas externas del centro de Paraíso.

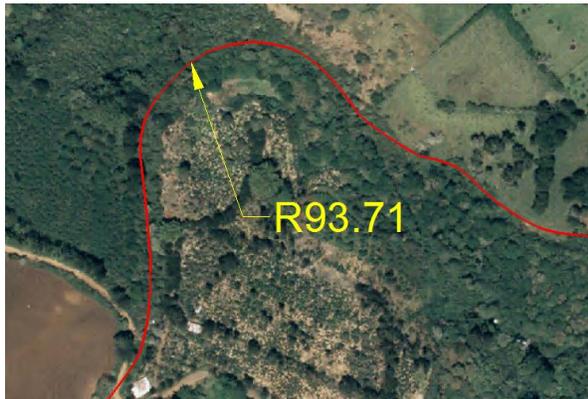


Figura 116. Curva1 importante en sección 4 (Fuente: Autor)

En la figura anterior se presenta una curva sencilla, con radio de 93,71m. Esta curva se ubica en la sección 4 (entre puntos P59 y P55 en planos) y tiene la particularidad de que justamente en su punto central se localiza el puente sobre el río Birrisito, el cual se mostró anteriormente en la figura 103.



Figura 117. Curva 2 importante en sección 4 (Fuente: Autor)

La figura anterior muestra una curva compuesta, con los menores radios localizados en la totalidad del tramo, 67,32m y 56,78m. Esta curva se ubica en la sección 4 (entre puntos P36 y P31 en planos) en la proximidad del río Parruás.

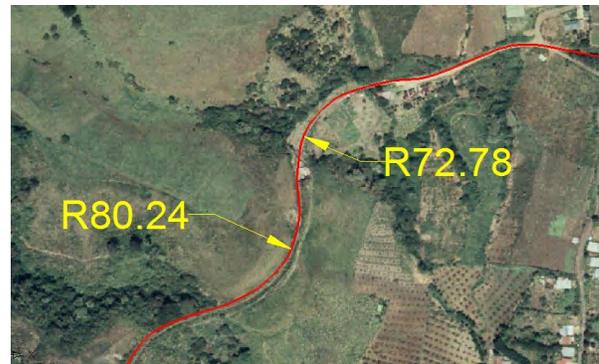


Figura 118. Curva importante en sección 5 (Fuente: Autor)

Por último, en la figura anterior se muestra una curva compuesta en sentido contrario, con radios de 80,24m y 72,78m. Esta curva se ubica en la sección 5 (entre puntos P22 y P19 en planos) en las cercanías de El Yas.

Señalización

Las señales encontradas se ubicaron en intersecciones con carreteras o caminos y estas son de acatamiento para los conductores de vehículos, no para los maquinistas de tren.

En la sección 1, en la intersección con la ruta 10, al costado norte de la Basílica de Los

Ángeles, se encontró un punto con señalización, tal como se ve en la siguiente figura.



Figura 119. Señal en sección 1 (Fuente: Autor)

Esta intersección es un cruce entre cinco carreteras y cuenta con dos señales, las cuales son del siguiente tipo:

- Señal de precaución con semáforo intermitente.

La señal mostrada en la figura anterior se encontró en buenas condiciones, no así la otra la cual se apreció en malas condiciones. En ninguna se comprobó si la señal luminosa se encontraba en funcionamiento.



Figura 120. Señal en sección 2 (Fuente: Autor)

En la sección 2, se localizó una señalización de Alto y en malas condiciones, esto en la vía de acceso a San Rafael de Oreamuno en el sentido Sur-Norte. Dicho caso se muestra en la siguiente figura.

La señal encontrada es del siguiente tipo:

- Señal de reglamentación de Alto.

La sección 3 cuenta con ocho intersecciones, sin embargo, solo en dos de ellas se localizó señalizaciones de reglamentación de Alto en malas condiciones, esto en Paraíso centro (puntos P92 y P91 en planos).

La sección 4 cuenta con ocho intersecciones, en ninguna se localizó señalizaciones. Sin embargo, se encontró la única una señal sobre la vía en todo el recorrido, del tipo informativa e indicadora del kilometraje (punto P58 en planos) correspondiente a la distancia medida desde la provincia de Limón. En la siguiente figura se aprecia que la señal indica el kilómetro 137, además de que el elemento se encuentra en malas condiciones.



Figura 121. Señalización de kilometraje en sección 4 (Fuente: autor)

La sección 5 cuenta con cuatro intersecciones, solamente en una de ellas se localizó una señalización reglamentaria de Alto, esto en las cercanías de la plaza de El Yas (entre puntos P1 y P4 en planos).

La señal localizada se encontró alterada y en mal estado, por lo que no se pudo determinar su clase.

Invasiones al derecho de vía

En el artículo 8° del decreto N° 22483 del Mopt (anexo 2), se establecen los derechos de vía para el tramo en estudio, siendo para el área urbana de la ciudad de Cartago, 5 m a partir del centro de vía; en los terrenos con corte o relleno, 5 m a ambos lados a partir de los cortes o del pie del talud y de 10 m a ambos lados en el resto del tramo. Con base en lo anterior y según las mediciones realizadas en sitio, se detectaron las invasiones mencionadas a continuación.

En los planos de levantamiento del apéndice 1, se tienen los planos con los detalles del recorrido, en ellos se incluyeron todas las fincas colindantes a la vía férrea, así como la ubicación exacta de cada una de las invasiones detectadas. Para los cantones de Cartago y Paraíso, los planos catastros digitales, así como los números de finca, fueron recolectados en el Departamento de Topografía y Geografía de ambas municipalidades, lo cual se complementó con datos de área y catastros obtenidos mediante el sistema de consulta de bienes inmuebles del Registro Nacional.

Para el caso del cantón de Oreamuno, los planos catastros, así como los números de finca, fueron rastreados y recopilados en las oficinas del Departamento de Registro Inmobiliario del Registro Nacional, mediante el sistema de consulta con coordenadas polares. Debido a la poca precisión del sistema de consulta, no fue posible recopilar la información de la manera más deseada.

Invasiones sección 1

En el cuadro 14 se describen todas las invasiones detectadas en esta sección; se evidencia que la mayor afectación al derecho de vía se da por casas de habitación cuyas líneas de construcción, muros frontales, tapias o cocheras invaden los límites establecidos en el decreto antes mencionado. En total se contabilizaron 16 invasiones, es decir, 16 fincas con problemas notorios; cabe resaltar que en esta sección existe un tramo de 209 m en una zona urbanizada los cuales fueron intransitables, por lo que no fue posible comprobar la presencia de invasiones en este tramo.



Figura 122. Invasión # 11 (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la invasión número 11 según cuadro 14 (número 32 en planos), la cual es la más crítica ya que la línea de construcción se encuentra a 1.5m del centro vía; incluso en la figura se percibe que el espacio disponible entre el riel y la construcción no es seguro para ningún peatón que circule la zona cuando el tren atravesase este sitio.



Figura 123. Invasión # 1 (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la invasión número 1 según cuadro 14 (número 34 en planos), esta tiene el muro frontal a una distancia de 3, 6m del centro de vía, además de tres cocheras con acceso hacia el derecho de vía.

CUADRO 14. INVASIONES EN SECCIÓN 1

Item	# en planos	# de finca	Área (m ²)	# de catastro	Descripción
1	34	233919-000	398,86	3-008371-1975	Lote de apartamentos (al Sur) con muro frontal a 3,6m del centro de vía y 3 cocheras hacia derecho de vía.
2	34	059760-000	195,68	3-687006-1987	Casa de habitación (al Sur) con muro frontal a 3,6m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía.
3	34	039295-000	428,98	NI*	Casa de habitación (al Sur) con tapia lateral a una distancia mínima de 3,4m del centro de vía
4	34	031154-000	110,72	NI	Casa de habitación (al Norte) con tapia lateral a una distancia mínima de 3,3m del centro de vía
5	34	031566-000	NI*	NI	Casa de habitación (al Norte) con muro frontal a 3,7m del centro de vía.
6	33	027779-000	184	NI	Casa de habitación (al Sur) con línea de construcción a una distancia mínima de 4,4m del centro de vía
7	33	089387-000	NI	NI	Lote vacío (al Sur) con cerramiento frontal en hierro galvanizado a 3,6m del centro de vía.
8	33	026393-000	119	NI	Edificio comercial (al Sur) con línea de construcción a una distancia de 4,4m del centro de vía.
9	33	72545-A-000	262,7	3-514633-1983	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 4m del centro de vía.
10	33	037909-000	121,,33	3-359903-1979	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 4m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía.
11	32	022241-000	125,34	3-523979-1983	Taller-Comercial (al Norte) con línea de construcción a una distancia mínima de 1,5 m del centro de vía.
12	32	021394-000	202,32	3-425841-1981	Casa de habitación (al Norte) con muro frontal a 3,5m del centro de vía.
13	32	022427-000	141,63	3-418445-1981	Casa de habitación-soda (al Norte) con línea de construcción a 3,5 m del centro de vía.
14	32	085141-000	NI	NI	Casa de habitación (al Norte) con tapia trasera a 3,6 m del centro de vía.
15	32	117656-000	200,27	3-007876-1970	Casa de habitación (al Norte) con muro frontal a 3,6 m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía.
16	31	054466-000	2887,25	3-043648-1992	Casa de habitación (al Norte) con cochera hacia derecho de vía.

* NI = no identificado

(Fuente: Autor)

Invasiones sección 2

En el cuadro 15 se describen las invasiones detectadas en esta sección. En total se contabilizaron 11 invasiones con problemas notorios, principalmente por casas de habitación cuyas líneas de construcción y tapias invaden los límites establecidos.

El caso de la invasión número 2 del cuadro 15, consiste en las casas de habitación de la urbanización Invu, colindantes a la vía férrea, ya que todas se encuentran invadiendo el derecho de vía; las invasiones desde la número 4 hasta la número 8 son un grupo de cinco casas todas dentro del residencial Bosque Real las cuales tienen el mismo número de finca y catastro correspondiente a la finca madre.

Cabe resaltar que en esta sección existe un tramo de 261m en una zona agrícola los cuales fueron intransitables, por lo que no fue posible comprobar la presencia de invasiones en este tramo. En la siguiente figura se muestra la invasión número 2 (número 29 en planos), la

cual es la más crítica, ya que consiste en una gran cantidad de casas de habitación cuya línea de construcción se encuentra a una distancia de entre 6 a 3m del centro vía, además, cuatro de ellas tienen cochera hacia el derecho de vía. Esta invasión se da a lo largo de la urbanización Invu.



Figura 124. Invasión # 2 (Fuente: Autor)

CUADRO 15. INVASIONES EN SECCIÓN 2				
Item	# en planos	# de finca	# de catastro	Descripción
1	30	116581-001 116581-002	3-943920- 1991	Finca de caballeriza (al Norte) con tapia de columnas de concreto y verjas a 7,5m del centro del vía.
2	29	NI*	NI	Varias casas en Urb. Invu (al Sur) con línea de construcción a una distancia variable desde 6,5m hasta 3 m del centro de vía y 4 cocheras hacia derecho de vía.
3	28	057811-000	3-641963- 1986	Casa de habitación (al Norte) colindante a residencial Bosque Real con tapia a 4,1m del centro de vía.
4	27	057811-000	3-200825- 1994	Casa de habitación (al Norte) en residencial Bosque Real con tapia a 4,5m del centro de vía.
5	27	057811-000	3-200825- 1994	Casa de habitación (al Norte) en residencial Bosque Real con tapia a 4,5m del centro de vía.
6	27	057811-000	3-200825- 1994	Casa de habitación (al Norte) en residencial Bosque Real con tapia a 4,5m del centro de vía.
7	27	057811-000	3-200825- 1994	Casa de habitación (al Norte) en residencial Bosque Real con tapia a 4,5m del centro de vía.
8	27	057811-000	3-200825- 1994	Casa de habitación (al Norte) en residencial Bosque Real con tapia a 4,5m del centro de vía.
9	26	003394-000	3-326634- 1996	Casa de habitación (al Sur) en Urb. Tatiscú con tapia a 5,8m del centro de vía.
10	25	NI	3-160748- 1994	Aserradero con cercado de postes de concreto (al Sur) a 2,5m del centro de vía.
11	25	NI	NI	Aserradero con cercado de postes de concreto (al Sur) a 2,15m del centro de vía.

* NI = no identificado

(Fuente: Autor)

Invasiones sección 3

En el siguiente cuadro se describen las invasiones detectadas en esta sección.

CUADRO 16. INVASIONES EN SECCIÓN 3					
Ítem	# en planos	# de finca	Área (m ²)	# de catastro	Descripción
1	24	116793-000	351,68	3-468572-1982	Casas de habitación (al Sur) con tapia trasera a 7m del centro de vía.
2	24	127847-000	208,3	3-753628-1998	
3	23	081593-000	757,23	3-017170-1974	Casas de habitación (al Norte) con cochera hacia camino paralelo a una distancia de 5 m del centro de vía.
4	23	081591-000	552,61	3-017169-1974	
5	23	081589-000	148,33	3-017168-1974	
6	23	123093-000	166,23	3-678448-1987	
7	23	081595-000	258,54	3-017171-1974	
8	22	P000160	149,88	NI*	Casa de habitación (al Sur) contigua a antigua estación, con cochera hacia acera paralela a derecho de vía.
9	21	021689-000	1017,87	3-1232545-2007	Casa de habitación (al Sur) con tapia lateral en pie de talud a 7,5m derecho de vía.
10	21	113617-000	150,48	3-694089-1987	Casa de habitación (al Sur) con línea de construcción a 6 m del centro de vía
11	21	113618-000	150,47	3-687950-1987	Casas de habitación (al Sur) con línea de construcción a 6m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
12	21	113615-000	296,86	3-687952-1987	
13	21	067904-000	186,70	3-311710-1978	Casas de habitación (al Norte) con muro frontal a 7,5m del centro de vía
14	21	067494-000	176,53	3-324929-1978	
15	21	052780-000	189,08	3-245020-1995	
16	21	058404-000	313,68	3-245019-1995	Casa de habitación (al Norte) con muro frontal a 7,5m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
17	20	089455-000	527,73	3-332100-1979	Casas de habitación (al Sur) con línea de construcción a 3,5m del centro de vía
18	20	093583-000	137,13	3-414812-1981	
19	20	121594-000	376,6	3-672415-1987	

20	20	080999-000	119,70	3-523717-1983	Casas de habitación (al Sur) con línea de construcción a 3,5m del centro de vía
21	20	093242-000	116,34	3-376322-1980	
22	20	090183-000	96,90	3-059021-1992	
23	20	061840-000	154,08	3-072243-1992	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 4m del centro de vía
24	20	073359-000	210,38	3-072241-1992	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 3,5m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
25	20	137963-000	119,41	3-069220-1992	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 3,5m del centro de vía
26	20	P000104	56,89	NI	Casa de habitación (al Norte) con línea de construcción a 3,5m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
27	19	065613-000	179,58	3-534438-1984	Casas de habitación (al Sur) con línea de construcción a 4m del centro de vía y cocheras hacia derecho de vía
28	19	075597-000	426,30	3-556381-1984	
29	18	049477-000	1150,37	NI	Casas de habitación (al Norte) con línea de construcción a 4m del centro de vía
30	18	107057-000	168,69	3-537977-1984	
31	18	105237-000	162,07	3-518525-1983	
32	17	P000059	188,01	NI	Casas de habitación (al Oeste) con línea de construcción a 6,5m del centro de vía y cocheras hacia derecho de vía
33	16	100127-000	221,62	3-1421712-2010	
34	15	P000312	18133,53	NI	Talud de corte (al Sur) propenso a deslave a una distancia crítica de 1,5m del centro de vía
35	14	109077-000	30148,91	3-593449-1985	Pequeña construcción (al Sur) dentro de centro juvenil a 4,5m del centro de vía

* NI = no identificado

(Fuente: Autor)

En el cuadro anterior se evidencia que la mayor afectación al derecho de vía en esta sección, se da por casas de habitación cuyas líneas de construcción y tapias invaden los límites establecidos en el decreto antes mencionado.

Cabe resaltar que en esta sección existen cuatro tramos que fueron intransitables, los cuales suman una longitud de 1075m, por lo que no fue posible comprobar la presencia de invasiones en estas zonas.



Figura 125. Invasión #9 (Fuente: Autor)

En la figura anterior se muestra la invasión número 9 según cuadro 16 (número 21 en planos), la cual consiste en una casa de habitación con una tapia lateral al pie del talud, incumpliendo con los 5m de ley.

Invasiones sección 4

Cabe resaltar que en esta sección existe un tramo de 414 m que fue intransitable, por lo que no fue posible comprobar la presencia de invasiones en esta zona.

En total se detectaron nueve invasiones, descritas en el cuadro 17; las invasiones del número 1 al 4, no fueron posibles de medir, ya que la vía se encontraba obstruida con un cerramiento improvisado, sin embargo, sí se pudo transitar paralelamente sobre una finca colindante y se pudo apreciar a simple vista las invasiones mencionadas. La invasión 5 consiste en un movimiento de tierra realizado en una finca colindante, el cual se apreció como un corte generado para la construcción de un camino de acceso. La corona del talud se encuentra a una distancia de 3 m del centro de vía.



Figura 126. Invasiones # 6 y 7 (Fuente: autor)

En la figura anterior se muestran las invasiones número 6 y 7; se trata de casas de habitación con línea de construcción y cocheras a una distancia mínima de 2m del centro de vía. Como parte de la información catastral recolectada, se ubicó a estas casas de habitación dentro de dos únicas fincas madres, las cuales se nombran en el cuadro 14. En sitio se apreció que cada una de las viviendas contaba con servicios públicos como electricidad y agua.

En la figura 127, se muestra la invasión número 8, donde se aprecia la cercanía del muro frontal y cochera respecto a la red ferroviaria; en sitio se midió una separación de 3 m al centro de vía.



Figura 127. Invasión # 8 (Fuente: autor)

CUADRO 17. INVASIONES EN SECCIÓN 4					
Item	# en planos	# de finca	Área (m ²)	# de catastro	Descripción
1	13	P000718	1532,35	NI*	Casas de habitación (al Sur) con tapia trasera o línea de construcción visiblemente dentro del derecho de vía; no se pudo medir la separación a la vía por obstrucción existente
2	12	220125-000	171,1	3-1093474-2007	
3	11	125427-000	937,23	3-864311-1989	
4	10	121852-000	524,76	3-825218-1989	
5	9	118688-000	1688,05	3-765023-1988	Casa de habitación (al Sur) con muro frontal a 4,5m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
6	8	P000682	1434,64	NI	Finca con varias casas de habitación (al Sur) tipo misceláneas con línea de construcción a una distancia mínima de 3 m del centro de vía.
7	7	216902-000	402,829,6	3-798070-1989	Finca con varias casas de habitación (al Norte) tipo misceláneas con línea de construcción a una distancia mínima de 2m del centro de vía.
8	6	021690-000	26,864,45	NI	Casa de habitación (al Este) con muro frontal a 3m del centro de vía y cochera hacia derecho de vía
9	5	P000710	44,033,71	NI	Talud de corte (al Sur) propenso a deslave a una distancia de 3m del centro de vía

* NI = no identificado

(Fuente: Autor)

Invasiones sección 5

En total se detectaron nueve invasiones y en el cuadro 18 se evidencia que la mayor afectación al derecho de vía, se da por casas de habitación cuyas líneas de construcción invaden los límites exigidos.

La invasión 1 consiste en tres casas de habitación liviana, construidas principalmente a base de madera las cuales están ubicadas dentro de una misma finca. A pesar de que la línea de construcción se midió a 6m del centro de vía, no se respetan los 10m establecidos en el decreto mencionado.

La invasión 2 (invasión 3 en planos) se midió a una distancia de 2,5 m del centro de vía y está formada por columnas de concreto y malla ciclón como parte del cerramiento de la finca. En conversaciones con lugareños a la hora de realizar el levantamiento, indican que

adicionalmente esta construcción obstruye en su totalidad, un camino municipal y provoca que los vecinos ingresen en sus propiedades por la trocha.

En la figura 128, se muestra la invasión 3 (invasión 2 en planos), la cual corresponde a los vestidores de la plaza de fútbol de El Yas, los cuales se aprecian claramente ubicados al pie del talud. Tal como se mencionó anteriormente, este es un talud de consideración con una fuerte pendiente y desgaste superficial que requiere de atención.

CUADRO 18. INVASIONES EN SECCIÓN 5					
Item	# en planos	# de finca	Área (m ²)	# de catastro	Descripción
1	4	P000338	669,2	NI*	Finca con 3 casas de habitación livianas (al Sur) con línea de construcción a 6m del centro de vía
2	3	105649-000	40,334,77	3-358512-1979	Casa de habitación (al Sur) con malla ciclón y columnas de concreto a 2,5 m del centro de vía
3	2	105653-000	5502,09	3-401665-1980	Vestidores de plaza de fútbol (al Sur) con línea de construcción en pie de talud
4	1	163679-000	143,79	3-411340-1997	Casa de habitación (al Norte) con cochera hacia derecho de vía

* NI = no identificado
(Fuente: Autor)



Figura 128. Invasión # 3, (Fuente: autor)

Otros problemas

En la sección 1, se localizaron postes de iluminación pública con tendido eléctrico dentro del derecho de vía (entre puntos P158 y P156 en planos). En este trayecto se encontró un total de 6 postes dentro del derecho de vía.

En la sección 2, se localizó una hilera de árboles de ciprés de gran tamaño dentro del derecho de vía, esto al costado Norte de la plaza de la urbanización Invu. Estos árboles tienen una altura de 30m y troncos de hasta 70cm de

diámetro además de que sus ramas atraviesan todo el ancho de la trocha. Este caso se mostró anteriormente en la figura 73.

Otro caso detectado fue un problema relacionado con el manejo de aguas residuales, detrás de las casas de habitación pertenecientes al residencial Bosque Real; se encontró convertido en una zona pantanosa. Se apreció que por lo menos dos de estas casas vierten sus aguas residuales a esta zona por medio de tuberías o por drenajes colapsados, lo que posiblemente esté causando el problema citado; esto se muestra en la siguiente figura.



Figura 129. Problema de aguas residuales (Fuente: Autor)

En la sección 3, se localizaron siete postes de iluminación pública dentro del derecho de vía, cinco de ellos en el apartadero del ICE (entre

puntos P105 y P103 en planos). Además, en esta misma zona la tapia trasera de la bodegas del ICE, se encuentra a una distancia de 2.5m del centro de una de las vías. Los otros dos postes se ubicaron en las cercanías de Paraíso centro, uno en el punto P80 y el otro entre los puntos P92 y P91 en los planos de levantamiento del apéndice 1.

Adicionalmente, se localizaron dos zonas pantanosas, lo cual evidencia un nivel freático cercano a la superficie de la vía férrea (punto P110 y entre puntos P84 y P81 en planos).

En la sección 4, se encontró un poste de tendido eléctrico dentro del derecho de vía, esto en las cercanías del apartadero de El Rincón (entre punto P61 y P64 en planos).

Otro problema detectado fue la presencia de tendido eléctrico a una altura de 2,5 m sobre la vía férrea en punto P44 en planos; se apreció como cableado de acometidas eléctricas residenciales.

Por último, en la sección 5 se localizaron dos postes de madera dentro del derecho de vía y con cableado telefónico a una altura de 4 m sobre la trocha, específicamente entre los puntos de control P3 y P4 en los planos de levantamiento del apéndice 1.

Síntesis de amenazas naturales

Con el fin de localizar las posibles amenazas naturales y las vulnerabilidades en el tramo en estudio, se acudió a los mapas de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias-CNE (2003-2007), así como las recomendaciones brindadas por este mismo ente en su sitio web. Estas recomendaciones abarcan todo el territorio de Costa Rica y son producto de la labor de la Comisión en conjunto con entidades públicas, principalmente universidades estatales.

Como resultado de la investigación se logró elaborar un mapa que incluye las amenazas y vulnerabilidades a lo largo del recorrido de la vía férrea entre Cartago y El Yas y muestra las zonas con mayores riesgos naturales. Adicionalmente se elaboraron dos cuadros que sintetizan las amenazas y recomendaciones elaboradas por la CNE; se evaluó cada cantón por donde pasa la línea ferroviaria en estudio y se obtuvieron datos importantes.

Las amenazas hidrometeorológicas más importantes que pueden poner bajo amenaza la línea ferroviaria en estudio son: la contaminación de las cuencas hidrológicas, la construcción sin planificación, invasión de los retiros obligatorios para los ríos y la canalización de aguas servidas a los lechos de los ríos.

El tramo en estudio, abarca los cantones de Cartago, Oreamuno y Paraíso; atraviesa desagües naturales, pasos a nivel y más de treinta ríos. De estos últimos, los pertenecientes al tramo son:

1. Toyogres,
2. San Nicolás,
3. Chinchilla,
4. Taticú,
5. Barquero,
6. Blanquillo,
7. Páez,
8. Birrisito,
9. Parruás,
10. Títère,
11. Regado.

La figura 131 ofrece la valoración de amenazas geológicas por actividad sísmica, volcánica y deslizamientos, según cada cantón.

La presente evaluación de amenazas, se pretende aplicar posteriormente como punto de partida para la propuesta de un plan de monitoreo y de mantenimiento, mostrados en capítulos posteriores.

RESUMEN DE AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO			
AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS	CARTAGO	OREAMUNO	PARAISO
Detalle de Ríos por Cantón			
R= Río Q= Quebrada	R. Reventado R. Macho R. Púires R. Navarro R. Toyogres R. Aguacaliente R. Taras	R. Reventado Q. Sanatorio R. Páez R. Toyogres R. Birris R. San Nicolás R. Toro Amarillo Q. Chinchilla	R. Reventazón R. Grande de Orosi Q. Los Tanques R. Pejibaye R. Purisil R. Juco
Zonas Afectadas por los Ríos			
B = Barrio	B. Fátima, Taras Tejar, El Carmen Ochomogo Quebradilla Dulce Nombre	Guadalupe Muñeco La Lima Sabana Caballo Blanco	Ujarras Orosi Palomo La Alegría Pejibaye, Humo Cacao, Palomo La Anita
Detalle de Ríos que Pasa por la Línea Férrea			
P166—	Río Toyogres		
P142—	Río San Nicolás		
P138—	Río Chinchilla		
P131—	Río Tatiscú		
P126—	Río Barquero		
P109—	Desague natural		
P106—	Quebrada Pucares		
P101—	Quebrada Pollo		
P93—	Río intermitente		
P89—	Río intermitente		
P79—	Río intermitente		
P64—	Río Paéz		
P64—	Desague natural		
P57—	Río Birrisito		
P50—	Río Birrisito		
P47—	Desague natural		
P45—	Desague natural		
P42—	Desague natural		
P38—	Desague natural		
P36—	Desague natural		
P34—	Río Parruás		
P29—	Río Parruás		
P24—	Río Titere		
P17—	Río Regado		
P16—	Río intermitente		
P14—	Río intermitente		
P11—	Desague natural		
P3—	Río intermitente		
Recomendaciones dadas por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE)			
1. Que las Municipalidades, no permitan que continúe el desarrollo en planicies de inundación y se respete el uso de suelo y el Plan Regulador de cada una, tomando en cuenta el respectivo visado de planos por parte de la Dirección de Obras Portuarias y Fluviales, así como de la Dirección General Forestal, con el objetivo de que el desarrollo urbano este a derecho.			
2. Planificar el envío de aguas servidas y pluviales que fluyen de las diferentes urbanizaciones, y que aumentan el caudal de los ríos, provocando inundaciones en períodos de lluvias intensas, y cuando se presentan otros fenómenos hidrometeorológicos tal como: frentes fríos, vaguadas, temporales, etc.			
3. Fomentar Programas de Educación ambiental y de uso de suelo, descontaminación de ríos, fomentar un mejor tratamiento para las aguas servidas y pluviales de fluyen de las diferentes urbanizaciones y formar comités cantonales y brigadas de emergencia que vigilen las cuencas de los ríos.			

Figura 130. Resumen de amenazas hidrometeorológicas (Fuente: autor)

RESUMEN DE AMENAZAS GEOLOGICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO					
AMENAZAS GEOLOGICAS	CARTAGO	OREAMUNO	PARAISO		
La provincia de Cartago es una de las regiones en el país que históricamente han presentado mas actividad sísmica destructiva en el país, actividad que se registra desde los eventos de 2-9-1841 y 4-5-1910					
A unos 3km al S de la ciudad de Cartago existe un importante sistema de fallas, pasando muy de cerca de poblados como Coris, San Francisco, Dulce Nombre y Navarro.					
ACTIVIDAD SISMICA	CARTAGO	OREAMUNO	PARAISO		
Efecto de Ampliación Sísmica	Cartago	San Rafael	Paso Ancho	Santiago	Rio Macho
En suelos limosos y poco compactos		Potrero Cerrado		Ujarras	Cachi
Rocas aluviales y fragmentos volcánicos				Orosi	Tapanti
				Purisil	
Efecto de Deslizamiento	Sectores SW, SE y N	Sector Norte		Sectores NE, SE y S	
	Malas condiciones del terreno	Topografía desfavorable		Regiones rocosas fracturadas	
Facturas del Terreno	Pueden ocasionar danos en viviendas, carreteras, vías de transporte, puentes en todos los cantones				
Efecto de Asentamientos de Terrenos	En todos los terrenos que se realicen rellenos mal compactados y aluviones y no se traten las aguas.				
ACTIVIDAD VOLCANICA	CARTAGO	OREAMUNO	PARAISO		
Determinada por los dos volcanes más cercanos y uno de ellos es uno de los volcanes con mayor actividad, del Valle Central					
El volcán Irazú registra actividad: 1724, 1917, 1918, 1919, 1924, 1933, 1939, 1940, 1961, 1963, 1965 y la influencia del Volcán Turrialba					
Distancia línea recta al Volcán Irazú	14 km	13.5km		15 km	
Distancia línea recta al Volcán Turrialba	24km	23km		22.5 km	
Caída de Ceniza	Si el volumen de la caída de cenizas es muy importante, contamina ríos, cultivos, animales y puede provocar colapso en estructuras y afectaría los ríos Sucio, Toro Amarillo y Corinto. Por el Volcán Turrialba las secciones más afectadas son: Paraíso, Birrisito, El Yas, Santiago San Miguel, Cachi y Ujarras.				
Corriente de Lodo	Las corrientes de lodo descienden por los flancos del volcán Irazú, afectando los ríos Birris, Páez Yerbabuena y Toyogres. Si afecta la cuenca del Reventado precaria el sepultamiento de, infraestructura a su paso, oleoductos, varios puentes de la línea férrea al Atlántico y acueducto de Orosi así como líneas de transmisión eléctrica y los asentamientos ubicados en la sección NE de Paraíso.				
Emanación de Gases	Emanación de gases, afectarían a la población en general, así como a cultivos , actividad ganadera y cauces de ríos, al norte del cantón, tanto por erupción del volcán Irazú como Turrialba.				
DESPLAZAMIENTOS	CARTAGO	OREAMUNO	PARAISO		
Sectores Vulnerables	Sectores mas afectados N, SW y SE	Sector Norte		Sector Norte y Sur	
	Suelo Volcánico, alta pendiente	Sectores de los ríos: Sucio		Suelos poco cohesivos	
	y Poco compacto	Corinto	Toro Amarillo	altas pendientes	
Ejemplos	Llano Grande	Ochomogo	Cot	Paso Ancho	Paraíso R. Paraíso y Q. Pollo
	Tierra Blanca	San Blas	Cipreses	Oratorio	Cachi
	Coplachi	San Isidro	Santa Rosa	San Gerardo	Volio
	San Juan N y S	Conejo	San Juan de Chicua		Loaiza
	San Antonio	Santa Elena			San Chiri
	Corralillos	Muñeco			Purisil
	Navarro				Orosi
					Rio Macho
Efectos	Destrucción de caminos y carreteras. Viviendas sepultadas. Daños a terrenos cultivados, etc.				
	Avalanchas, causadas por represamientos en ríos				
Recomendaciones dadas por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE)					
1. Evitar la concesión de permisos constructivos ubicados sobre laderas con altas pendientes y zonas con inestabilidad y fallas geológicas. Además de dar el seguimiento a los permisos de construcción brindados.					
2. Controlar los permisos para construcción en rellenos, construcción de rellenos para garantizar las condiciones adecuadas para ello.					
3. Considerar las áreas vulnerables a los diferentes desastres cuando sean planeados y diseñados de obras de infraestructura de la importancia comunal (rellenos sanitarios, acueductos, caminos, puentes). Evitar conceder permiso en las áreas ubicados dentro del Decreto del Rio Reventado o muy cerca de los ríos afectados por avalanchas.					

Figura 131. Resumen de amenazas geológicas (Fuente: autor)

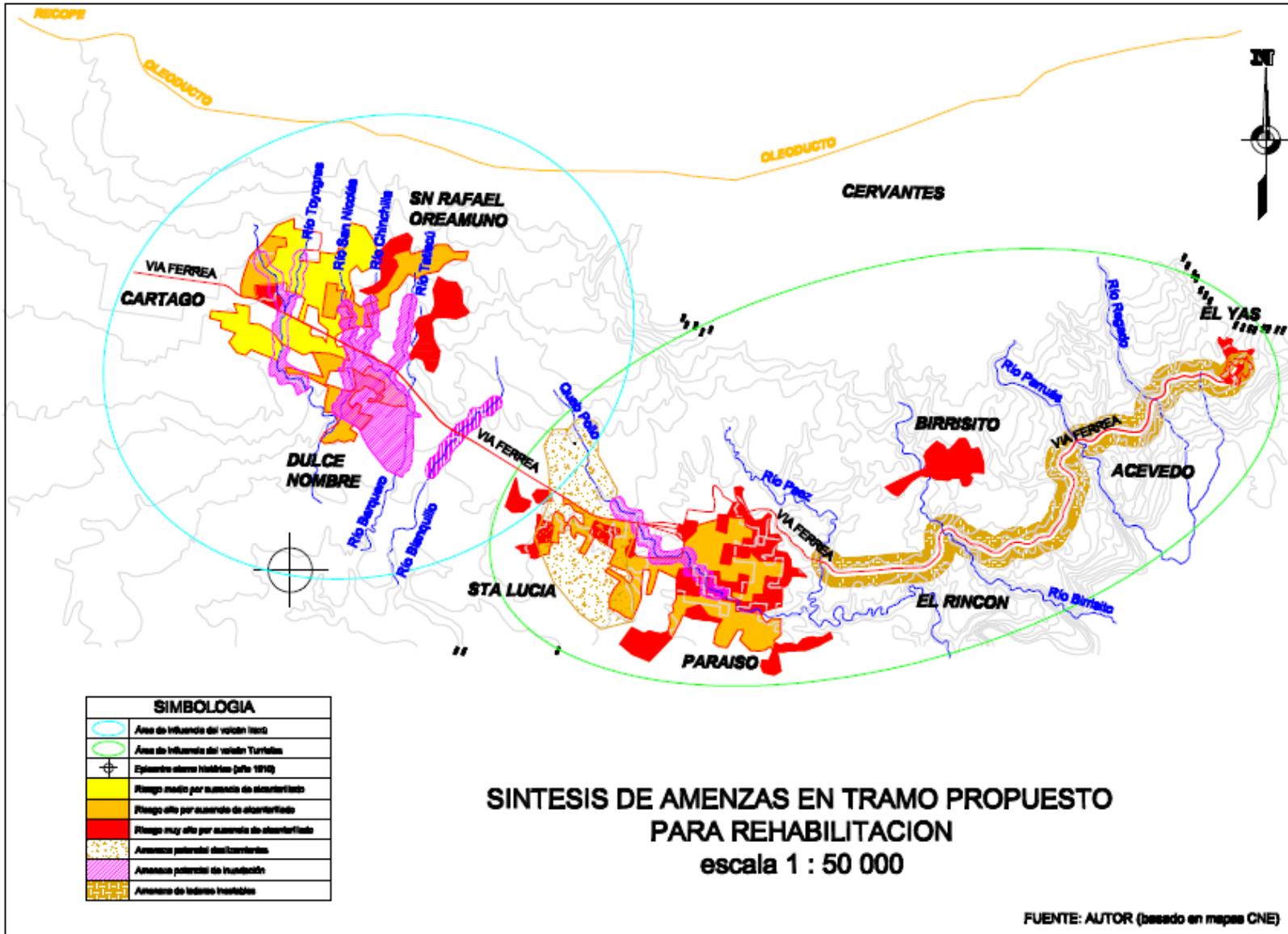


Figura 132. Mapa de síntesis de amenazas en el tramo en estudio (Fuente: autor)

Análisis de los resultados

Evaluación del tramo en estudio

De acuerdo con los resultados obtenidos y los criterios estudiados en el marco teórico, se pueden determinar tres estados cualitativos, los cuales son bueno, regular y malo.

Estos estados se traducen en porcentajes que permiten describir numéricamente el análisis de los resultados obtenidos.

El estado bueno se da cuando algún elemento, material o estructura se encuentra con las condiciones adecuadas, sin defectos o daños y son reutilizables al 100%.

El estado regular se presenta cuando algún elemento, material o estructura se encuentra con daños, desgaste, corrosión u elementos faltantes que sean fáciles de completar y que se puedan reutilizar mediante una mejora, mantenimiento u otro trabajo adicional.

El estado malo se da cuando algún elemento, material o estructura se encuentra con daños considerables, fracturas importantes o la ausencia del mismo; los elementos en este estado no son reutilizables.

El siguiente cuadro muestra el estado y los respectivos valores asignados a las actividades contempladas.

CUADRO 19. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS					
Actividad	Cantidad	Unidad	Bueno	Regular	Malo
Superestructura					
Rieles	28.426,00	metros	45%	51%	4%
Durmientes	2.324,57	unidad	0%	0%	100%
Sujeciones	9.298,29	unidad	0%	0%	100%
Eclisas	2.368,77	unidad	38%	50%	12%
Balastro aproximado	10.000,00	m3	0%	0%	100%
Puentes (179,4 m)					
Cantidad	10,00	unidad	0%	100%	0%
Bastiones	21,00	unidad	0%	90%	10%
Rieles	358,80	metros	100%	0%	0%
Durmientes de Madera	448,50	unidad	0%	0%	100%
Sujeciones	1.794,00	unidad	0%	0%	100%
Eclisas	15,00	unidad	0%	100%	0%
Pasos de agua menores					
Infraestructura	21,00	unidad	0%	67%	33%

(Fuente: Autor)

Del cuadro anterior se puede determinar el estado de la vía para las actividades de pre-rehabilitación así como su estado general, ya que como se mencionó anteriormente, el 100% del tramo en estudio requiere intervención.

Para las actividades de pre-rehabilitación se obtiene el siguiente gráfico.

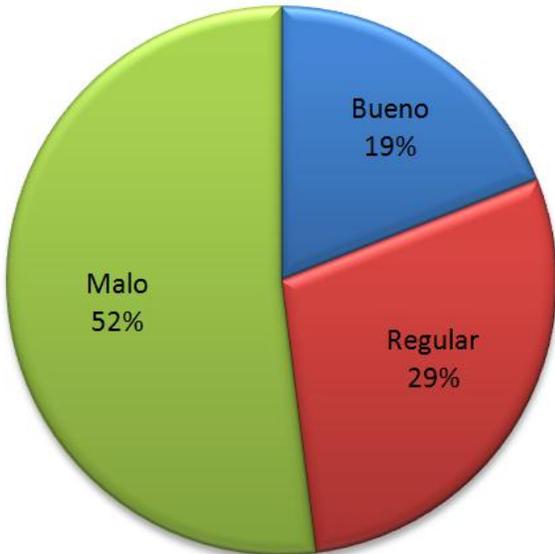


Figura 133. Estado cuantitativo de la vía para actividades de pre-rehabilitación (Fuente: Autor)

La figura anterior muestra que un 52% de la vía se encuentra en estado malo, ya que en sitio se observó completamente cubierta y requiere de trabajos de limpieza y movimientos de tierra para lograr la pre-rehabilitación.

El 29% en estado regular, corresponde a la porción de la línea que se encuentra parcialmente dañada, con faltante de rieles, durmientes o secciones que requieren de la actividad de tala y desmonte general.

El 19% de la vía se encuentra en condiciones aceptables para realizar los trabajos de rehabilitación, ya que la superestructura permite su uso para estas actividades.

Plan de rehabilitación para el tramo propuesto

El tramo de la red ferroviaria nacional propuesto para rehabilitación, inicia en la estación de Cartago y culmina en el apartadero de El Yas en

el cantón de Paraíso, con un total de 14 392 m de distancia. En su recorrido atraviesa zonas urbanas con una topografía plana, principalmente en la ciudad de Cartago, San Rafael de Oreamuno y en el centro del cantón de Paraíso, lo cual representa el 56,9 % del total del tramo; el porcentaje restante corresponde a una zona con topografía montañosa en los sectores de El Rincón, Birrisito y El Yas.

De igual manera, tal como se explicó en temas anteriores, el total del recorrido se dividió en cinco secciones para simplificar y profundizar su análisis; cada una de ellas presenta situaciones y problemas particulares.

Como resultado de las visitas realizadas a los sitios anteriormente rehabilitados, a saber, Belén, Heredia, Pavas, San José, San Pedro, entre otros, así como las inspecciones a los lugares de trabajo entre Curridabat y Cartago, se obtuvo una serie de actividades generales que son aplicables a todo el tramo propuesto, esto definido bajo el análisis de la teoría consultada afín a este tema.

Por tanto, el plan de rehabilitación para el tramo propuesto, Cartago- El Yas, se compone de los siguientes rubros:

- 1) Notificación a invasores: notificar a cada uno de involucrados en invasiones (enlistados y descritos en la etapa de resultados), acerca de su situación y cómo sus propiedades afectan al derecho de vía. Es importante realizar esta etapa con anterioridad, ya que es un proceso que conlleva trámite y tiempo de por medio, además, de que permite tomar decisiones antes de iniciar los trabajos de rehabilitación. Esta etapa no será contemplada en el presupuesto de la propuesta de rehabilitación, ya que sus costos reales fueron imposibles de determinar.
- 2) Actividades de pre-rehabilitación: de las visitas realizadas a los lugares de trabajo entre Curridabat y Cartago, se comprobó la importancia de pre-rehabilitar la vía; por tanto, esta etapa consiste en realizar los trabajos necesarios para permitir el ingreso de las locomotoras y vagones los cuales transportan equipo, personal y materiales. Para lograrlo, se requiere de las siguientes actividades: tala de árboles y desmonte general, limpieza, remoción

- de carpeta asfáltica y pre-rehabilitación de la superestructura.
- 3) Actividades de rehabilitación: una vez lograda la etapa anterior, se deben iniciar los trabajos definitivos sobre la trocha, lo cual implica las siguientes actividades: conformación de la bancada, rehabilitación de la superestructura, rehabilitación de puentes y restauración o reconstrucción de estaciones.
 - 4) Señalización: consiste en la colocación de la señalización requerida, esta es del tipo informativa, preventiva y de reglamentación, tanto para trenes como para vehículos.
 - 5) Obras complementarias: esta etapa hace referencia a aquellos trabajos particulares de cada sección, lo cual varía según su ubicación, topografía y demás factores específicos de las distintas zonas por las que se extiende la vía férrea.

- 6) Mantenimiento correctivo: durante el avance de la obra, se debe brindar mantenimiento a los sectores ya rehabilitados para conservar sus cualidades; entre estas actividades se encuentran: remoción de derrumbes, estabilización de terrenos, limpieza de drenajes y cunetas, fumigación y deshierbe químico. Este rubro será desarrollado más adelante en este trabajo.

En el siguiente cuadro se resumen las actividades comprendidas en las etapas de pre-rehabilitación, rehabilitación y señalización, las cuales son rubros generales que se aplican en la totalidad de la distancia del tramo y en el cuadro 21, las actividades particulares de cada sección definidas como obras complementarias.

CUADRO 20. ACTIVIDADES GENERALES DEL PLAN DE REHABILITACIÓN			
Ítem	Nombre	Descripción	Encargado
A	ACTIVIDADES DE PRE-REHABILITACIÓN		
1	Tala de árboles y desmonte general	Despejar la trocha por medio del desmonte y tala de los árboles que afecten la vía, realizado por una cuadrilla equipada con machetes y motosierras. Este es un trabajo que no se requiere en la totalidad del recorrido, ya que existen sectores despejados; la mayor necesidad se presenta en las zonas montañosas, entre Paraíso y El Yas, así como en ciertos sectores agrícolas de Oreamuno.	Incofer
2	Remoción de carpeta asfáltica	Por medio de maquinaria y equipo como rotomartillos, se debe retirar la carpeta asfáltica que cubra la vía férrea. Un 6,9% del total de la distancia del recorrido, se encontró cubierta con asfalto, esto principalmente en Cartago sobre avenida 6.	Municipalidades y Mopt
3	Limpieza	Consiste en retirar la capa vegetal sobre la trocha, así como la basura y materiales acumulados de la tala y desmonte realizados con anterioridad, además del movimiento de derrumbes y relleno de deslaves y retiro de cerramientos sobre el derecho de vía, todo para permitir el ingreso del resto de la maquinaria y personal a los lugares de trabajo. Se requiere de uno o dos "back hoe", así como de vagonetas para el acarreo de los desechos. En esta etapa se realiza, también, sustituciones de suelos, sin embargo, será contemplado en la etapa de obras complementarias.	Mopt

4	Pre-rehabilitación de superestructura	En esta etapa se deben realizar reparaciones rápidas pero obligatorias en la superestructura para permitir el ingreso de locomotoras y vagones que transportan material desde el plantel de la estación del Pacífico, así como personal y ciertos materiales de desecho. Se deben colocar los rieles faltantes, cambiar algunos durmientes, reparar juntas en eclisas y sujeciones y reparar soldaduras.	Incofer
B ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN			
5	Conformación de la bancada	Grupo de maquinarias que se encargan de trabajar y dar el acabado al derecho de vía, para así conformar la bancada. Se debe estabilizar taludes, realizar cortes y rellenos necesarios, compactar la bancada y los rellenos, hacer zanjas pluviales y dar el bombeo a la bancada. Se requiere de una retroexcavadora, un "back hoe", una niveladora y una compactadora.	Mopt
6	Rehabilitación de superestructura	En esta etapa se hacen los trabajos definitivos a la superestructura. Se deben elevar y remover los rieles, extraer durmientes en mal estado y colocar los nuevos (de concreto tipo monobloque @ 70 cm), cambiar los rieles dañados, colocar sujeciones nuevas (tipo clip de riel), sustituir y reparar eclisas, revisar y reparar uniones soldadas, distribución del balastro y realizar dos nivelaciones de rieles. Se realiza con cuadrilla de 20 personas; los materiales y equipo son transportados por vagones o carros de carga.	Incofer
7	Puentes	En puentes se deben colocar sin excepción todos los durmientes nuevos en madera curada de 3 m de largo con sección de 20x30 cm @ 18 pulgadas, reutilizar las fijaciones tipo placa de acero con clavos nuevos, sujetar durmientes a estructura con pernos tipo gancho, recolocar rieles, contrarrieles y guardarrieles. Adicionalmente, la estructura de acero debe ser tratada con limpieza general y remoción del óxido existente, así como aplicación de pinturas anticorrosivas.	Incofer
8	Estaciones	Se debe restaurar o reconstruir las estaciones existentes. Para el tramo en estudio, se tienen dos estaciones, la de Cartago la cual se encontró rehabilitada y reconstruida, y la estación de Paraíso, la cual debe ser reconstruida en su totalidad respetando la arquitectura apropiada para estas instalaciones.	Incofer y Municipali dades
C SEÑALIZACIÓN			
9	Señales en intersecciones	En todas las intersecciones se deben retirar las señales en mal estado y colocar señales verticales nuevas de reglamentación de Alto, así como señales verticales preventivas que indican la proximidad de una intersección con la vía férrea. Además, se deben pintar señales horizontales sobre la carretera.	Mopt
10	Señales a lo largo de la vía	Conjunto de señales verticales informativas de parada y kilometraje, así como señales verticales preventivas y de reglamentación, que indiquen curvas, velocidades máximas y proximidad con puentes y estaciones.	Mopt

(Fuente: Autor)

CUADRO 21. OBRAS COMPLEMENTARIAS POR SECCIÓN			
Ítem	Nombre	Descripción	Encargado
D	SECCIÓN 1: CARTAGO		
11	Reubicar tragante pluvial	Eliminar y reubicar tragante pluvial localizado entre ambos rieles entre puntos P155 y P156 en planos.	Municipalidad
E	SECCIÓN 2: OREAMUNO		
12	Sustitución de suelos en zona pantanosa	Realizar sustitución de suelos en zona pantanosa ubicada en punto P145 en planos. Introducir un material de calidad, ya sea suelo o lastre que permita una compactación adecuada. En dicha zona, las residencias colindantes desechan aguas residuales a la trocha.	Mopt e Incofer
13	Amenaza pluvial en intersección	Construir paso de agua pluvial en intersección con camino en punto P123 en planos. Colocar bajo vía férrea tres tubos prefabricados de concreto de 45 cm de diámetro y construir cabezales de entrada y salida en concreto reforzado.	Municipalidad
14	Socavación en bastión de puente sobre río Taticú	Reparar socavación localizada en bastión Este del puente sobre el río Taticú. Limpiar zona afectada, formaletear y chorrear con concreto. Volumen aproximado 16 m3.	Incofer
F	SECCIÓN 3: PARAÍSO, BLANQUILLO- PÁEZ		
15	Sustitución de suelos en zona pantanosa 1	Realizar sustitución de suelos en zona pantanosa ubicada entre puntos P110 y P111 en planos. Introducir un material de calidad, ya sea suelo o lastre que permita una compactación adecuada. En dicha zona, existe una laguna cercana a la vía férrea.	Mopt e Incofer
16	Reparación paso de agua menor, Puente 26 en planos	Paso de agua ubicado en punto P109 en planos, con luz de 3,2 m. Reemplazar todos los durmientes de madera y reparar sujeciones.	Incofer
17	Reparación paso de agua menor, Puente 25 en planos	Paso de agua ubicado en punto P106 en planos, sobre río Púcares, con luz de 3 m. Reemplazar todos los durmientes de madera y reparar sujeciones.	Incofer
18	Sustitución de suelos en zona pantanosa 2	Realizar sustitución de suelos en zona pantanosa ubicada entre puntos P81 y P84 en planos. Introducir un material de calidad, ya sea suelo o lastre que permita una compactación adecuada.	Mopt e Incofer
19	Construir paso de agua menor, Puente 21 en planos	Construir paso de agua pluvial proveniente de trocha en punto P79 en planos. Colocar bajo vía férrea tres tubos prefabricados de concreto de 45 cm de diámetro y construir cabezales de entrada y salida en concreto reforzado.	Mopt e Incofer
20	Estabilización de taludes y laderas propensas a deslaves	Mejoramiento superficial con químicos de Talud 11 y Talud 9 en planos. Contemplar zanjeo pluvial para el manejo de aguas, así como desplazar la vía para alejarla de la corona de dichos taludes.	Incofer
G	SECCIÓN 4: PARAÍSO, PÁEZ- PARRUÁS		

21	Muro de gaviones en Deslave 4	Construcción de muro de gaviones en Deslave 4 en planos, entre puntos P61 y P64. Ubicado en apartadero de El Rincón, paralelo a calle pública. Longitud= 50m (ver detalle)	Incofer
22	Muro de gaviones en Deslave 3	Construcción de muro de gaviones en Deslave 3 en planos, en P45. Ubicado en sección transversal de relleno. Longitud= 20m (ver detalle)	Incofer
23	Amenaza pluvial en intersección	Reparar paso de agua pluvial en intersección con camino en punto P44 en planos. Construir cabezales de entrada y salida en concreto reforzado.	Municipalidad
24	Construir paso de agua menor, Puente 14 en planos	Construir paso de agua pluvial proveniente de trocha en punto P42 en planos. Colocar bajo vía férrea tres tubos prefabricados de concreto de 45 cm de diámetro y construir cabezales de entrada y salida en concreto reforzado.	Mopt e Incofer
25	Estabilización de taludes y laderas propensas a deslaves	Mejoramiento superficial con químicos de Talud 8 y Talud 7 en planos. Contemplar zanjeo pluvial para el manejo de aguas, así como desplazar la vía para alejarla de la corona de dichos taludes.	Incofer
H	SECCIÓN 5: PARAÍSO, PARRUÁS- EL YAS		
26	Construir paso de agua menor, Puente 8 en planos	Construir paso de agua pluvial proveniente de fincas colindantes en punto P28 en planos. Colocar bajo vía férrea dos tubos prefabricados de concreto de 90 cm de diámetro y construir muros laterales en voladizo de concreto reforzado (ver detalle).	Mopt e Incofer
27	Reparación paso de agua menor, Puente 5 en planos	Paso de agua ubicado en punto P17 en planos, con luz de 1,3 m. Reemplazar todos los durmientes de madera y reparar sujeciones.	Incofer
28	Construir paso de agua menor, Puente 1 en planos	Construir paso de agua pluvial proveniente de río intermitente en punto P3 en planos. Colocar bajo vía férrea un tubo prefabricado de concreto de 90 cm de diámetro y construir muros laterales en voladizo de concreto reforzado (ver detalle).	Mopt e Incofer
29	Muro de gaviones en Talud 1 en planos	Construcción de muro de gaviones en Talud 1 en planos, correspondiente a la plaza de El Yas. Longitud= 100m (ver detalle)	Incofer
30	Estabilización de taludes y laderas propensas a deslaves	Mejoramiento superficial con químicos de Talud 6, Talud 4 y Talud 2 en planos. Contemplar zanjeo pluvial para el manejo de aguas, así como desplazar la vía para alejarla de la corona de dichos taludes.	Incofer

(Fuente: Autor)

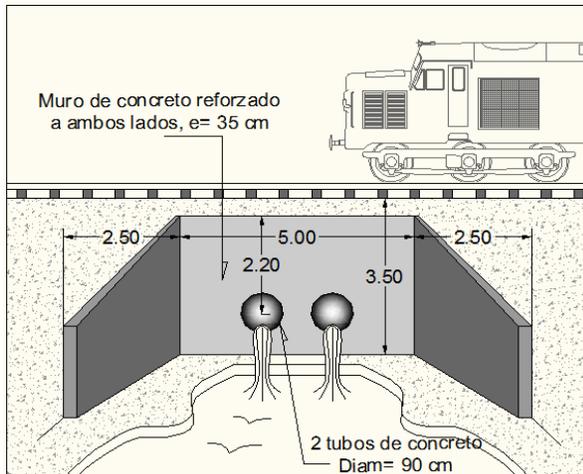


Figura 134. Detalle de obra complementaria #26, (Fuente: Autor)

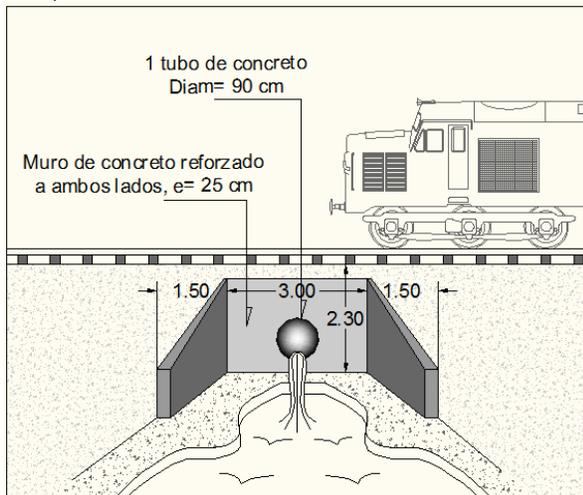


Figura 135. Detalle de obra complementaria #28, (Fuente: Autor)

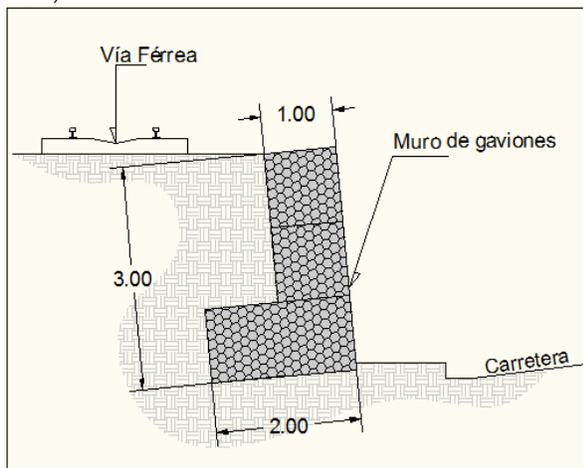


Figura 136. Detalle de obra complementaria #21, (Fuente: Autor)

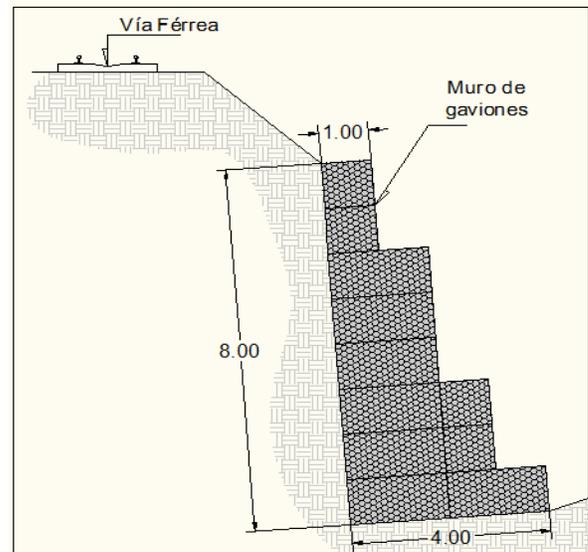


Figura 137. Detalle de obra complementaria #22, (Fuente: Autor)

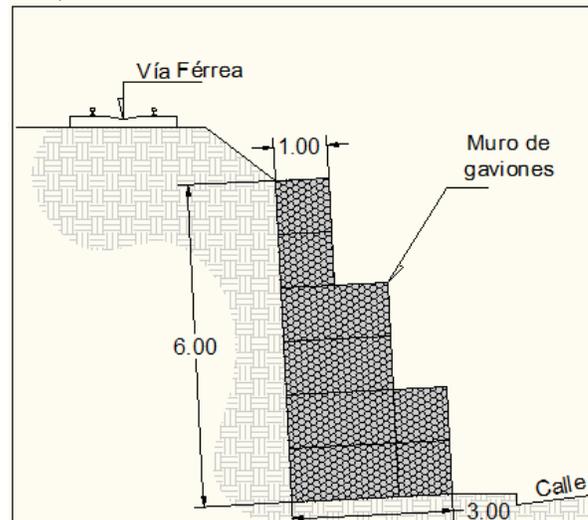


Figura 138. Detalle de obra complementaria #29, (Fuente: Autor)

Las figuras anteriores muestran las propuestas generadas para las obras complementarias número 21, 22, 26, 28 y 29, así como el diseño de cada una. Los muros de gaviones se obtuvieron según tabla del anexo 6, extraída del Folleto Diseño Geotécnico, Curso Mecánica de Suelos II del Ing. Marco Tapia; los pasos de agua se propusieron según obras observadas en las rutas rehabilitadas.

A todas las obras complementarias se les asignó un costo aproximado, el cual se contempló dentro del presupuesto total del proyecto.

Presupuesto

Como se ha mencionado, para la confección de un proyecto de rehabilitación de una línea ferroviaria, se debe considerar las diferentes actividades, obras y trabajos necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento de la infraestructura, tales como:

1. ingeniería básica, trabajos previos,
2. infraestructura de la vía férrea,
3. superestructura de la vía férrea,
4. obras de arte,
5. edificios,
6. electrificación,
7. señalización y control de tráfico,
8. comunicaciones,
9. cruces a nivel vial y peatonal,
10. otros trabajos.

Las actividades presupuestadas fueron determinadas de las investigaciones y análisis realizados a los trabajos que ejecuta el Incofer, para la rehabilitación de los diferentes sectores en operación o en proceso.

Los costos utilizados para la superestructura, fueron extraídos de referencias entregadas por Incofer, lo cual se incluye en el anexo 3.

Los trabajos de conformación de la bancada y cualquier otra referencia con respecto a movimientos de tierra, se presupuestaron con volúmenes reales determinados del diagnóstico de la vía, y los costos de estos se calcularon a partir de diferentes cotizaciones elaboradas con contratistas especialistas en el tema.

Para presupuestar la tala y limpieza, se consideraron los rendimientos obtenidos en la rehabilitación de la línea férrea de Curridabat a Cartago, considerando un avance de 0,5 km/día con una cuadrilla de seis operarios.

Con respecto a los puentes, según Incofer (2012), a estos se les asigna un costo aproximado de rehabilitación dependiendo de su longitud, sea menor o mayor a 15 m, con un valor de \$10 000,00 y \$50 000,00 respectivamente. Los puentes del tramo en estudio son de acero y a excepción del puente sobre el río Páez, todos poseen la misma distribución; por tal motivo y con el fin de generar un costo realista, se asignó un valor por metro lineal de puente considerando un

tratamiento superficial adecuado para las estructuras. En el caso del puente sobre el río Páez, este costo se aumentó debido a su complejidad.

La construcción de una nueva estación en Paraiso, fue una actividad contemplada dentro del presupuesto, ya que la existente se encontró completamente deteriorada. Por lo tanto, se le asignó un costo por metro cuadrado de construcción y se multiplicó por el área real de la estación existente.

Otro ítem que se consideró fue la señalización; con respecto a esto se debe hacer una notoria aclaración, si bien en el marco teórico se presentaron los distintos tipos de señales para ferrocarriles, en los trabajos actuales de rehabilitación no se utilizan, y únicamente en las intersecciones con carreteras se colocan señales de prevención y reglamentación de Alto para vehículos. Por lo anterior, los costos de este rubro se enfocaron en señalización para intersecciones.

El ítem D, obras complementarias, cuenta con su propio presupuesto donde se le asignó un valor global a cada una de las actividades detectadas. Para el cálculo del costo, se realizaron cálculos rápidos de acuerdo con tablas publicadas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) de precios unitarios.

Los costos restantes fueron obtenidos con criterio y experiencia; materiales, mano de obra y utilidad por parte de contratistas, se contemplaron en su estimación. Adicionalmente, en el cuadro 2 de la sección "Actividades detectadas" del capítulo de Resultados, se incluyeron los costos diarios de rehabilitación para los trabajos en la bancada y la superestructura, los cuales fueron utilizados en el presupuesto general.

Cada uno de los rubros, sigue la siguiente estructura:

$1=CD+CI+U+I$, donde CD es el costo directo contemplando materiales, mano de obra, transporte, etcétera; CI son los costos indirectos, propios de la administración y ejecución de las actividades; U es la utilidad del contratista, y la I es equivalente a los imprevistos que deben ser considerados por el propio contratista y no son responsabilidad de la administración.

CUADRO 22. RESUMEN EJECUTIVO DEL PRESUPUESTO		
A	Actividades de pre-rehabilitación	¢89.754.620,00
	Tala de árboles y desmonte general	¢10.036.500,00
	Remoción de carpeta asfáltica	¢10.049.000,00
	Limpieza	¢30.560.250,00
	Pre-rehabilitación de la superestructura	¢39.108.870,00
B	Actividades de rehabilitación	¢2.007.416.492,86
	Conformación de bancada	¢298.640.750,00
	Rehabilitación de superestructura	¢1.282.299.571,43
	Puentes	¢376.476.171,43
	Estaciones	¢50.000.000,00
C	Señalización	¢40.000.000,00
	Señalización	¢40.000.000,00
D	Obras complementarias	¢239.975.000,00
	Obras complementarias	¢239.975.000,00
I	Mantenimiento correctivo	¢50.986.538,40
	Mantenimiento correctivo	¢50.986.538,40
J	Total de presupuesto en ¢	¢2.428.132.651,26
K	Total de presupuesto en \$	\$4.808.183,47

(Fuente: Autor)

El cuadro anterior muestra el costo total de las distintas etapas; el presupuesto detallado con actividades y sub actividades se incluyó en el apéndice 4. Si se toma el monto total del presupuesto en colones y se divide entre los 14,4 km de la vía en estudio, se obtiene un costo de rehabilitación por kilómetro de ¢168.714.053,00.

El cuadro siguiente resume el costo obtenido para las propuestas de monitoreo y electrificación, las cuales serán desarrolladas más adelante en este trabajo. Adicionalmente, se incluyó sus presupuestos en el apéndice 4.

CUADRO 23. RESUMEN PRESUPUESTARIO DE PROPUESTAS ADICIONALES		
1	Propuesta de monitoreo	¢46.561.000,00
2	Propuesta de electrificación (sin subestaciones)	¢439.949.485,50
3	Total de presupuesto en ¢	¢486.510.485,50
4	Total de presupuesto en \$	\$963.387,10

(Fuente: Autor)

CUADRO 24. PRESUPUESTO TOTAL PARA REHABILITAR 14 KM DE VÍA FÉRREA CON MANTENIMIENTO, MONITOREO Y CONSTRUCCIÓN DE CATENARIAS

1	Total de presupuesto en ¢	¢2.914.643.136,76
2	Total de presupuesto en \$	\$5.771.570,57

(Fuente: Autor)

En el cuadro anterior se presenta el costo total de rehabilitación de 14,4 km de vía, incluyendo las propuestas de monitoreo, mantenimiento y electrificación.

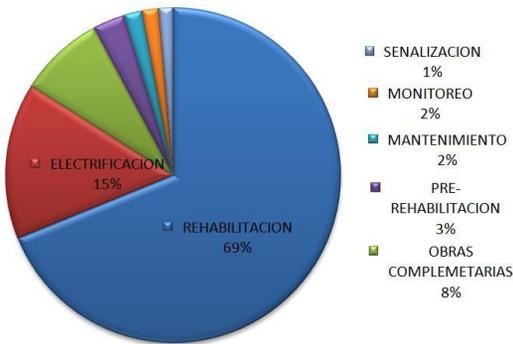


Figura 139. Distribución del presupuesto (Fuente: Autor)

La figura anterior muestra gráficamente la distribución de costos de las principales actividades del presupuesto; se evidencia que en su mayoría, el 69%, corresponde a la rehabilitación, la cual incluye los trabajos en la bancada, superestructura, puentes y estaciones.

Programación

Parte vital de todo proyecto de construcción, es contar con un cronograma de trabajo que ubique las actividades en tiempo y espacio. Los rendimientos utilizados en la programación de este proyecto, fueron tomados en los sitios de trabajo de la rehabilitación Curridabat-Cartago, y consultados con personeros de Incofer encargados de dicha obra. En el cuadro 2 de la sección “Actividades detectadas” del capítulo de Resultados, se muestran los rendimientos utilizados.

Para el desarrollo de la programación se definieron los siguientes puntos:

- jornada: de lunes a viernes,
- horario: 8am a 5pm, 8 horas diarias,
- jornada semanal: 40 horas.

Cabe mencionar que en proyectos de infraestructura al aire libre, las condiciones climáticas pueden afectar y generar retrasos en los cronogramas establecidos. Por lo anterior, es importante contar con una programación base que se pueda alimentar con los rendimientos reales y contrarrestarlos contra los valores iniciales; esta práctica mejora la base de datos y determinación del tiempo de duración en proyectos futuros.

Para elaborar la programación se utilizó el programa Microsoft Project y el método del diagrama de Gantt, con el fin de ubicar las tareas en el tiempo, determinar las dependencias de cada una y poder definir una duración probable en la ejecución de este proyecto.

El resultado de la programación para el tramo en estudio con las actividades determinadas y las condiciones anteriormente mencionadas, es de 316 días hábiles y se incluyó en el apéndice 5.

Propuesta de Monitoreo

De acuerdo con lo observado en el recorrido de la línea férrea en estudio, se pudo evidenciar las amenazas que expone la Comisión Nacional de Emergencia en sus mapas (anexo 1), lo cual se concretó en la sección “Síntesis de amenazas naturales” en el capítulo de Resultados.

Al ubicar la vía sobre este mapa de amenazas y vulnerabilidades (figura 132), se propone lo siguiente:

- realizar estabilización en taludes y laderas, con la utilización de productos químicos y la construcción de muros de contención,
- efectuar estudios estructurales en los puentes de mayor consideración,

- realizar mejoramiento superficial y tratamientos anticorrosivos en las estructuras de los puentes.

Al analizar las condiciones de algunos puentes y pasos a nivel del tramo en estudio, en cuanto a materiales, métodos constructivos, años de construcción, años sin mantenimiento e importancia, se propuso realizar monitoreo mediante tecnología de fibra óptica al túnel sobre la ruta 10 y al puente sobre el río Páez (puente 22 y puente 20 en planos, respectivamente), ambos en el cantón de Paraíso.

Según lo investigado, esta tecnología de fibra óptica para sistemas de monitoreo tiene distintos tipos de aplicaciones; la empresa Capris Engineering, representante en Costa Rica de ciertas marcas de sensores y geomembranas, ofrece tres tipos de tecnologías (ver anexo 4):

1. FBG: redes de Bragg,
2. Raman: retro reflexión,
3. Brillouin: retro reflexión.

Estas dos últimas son sumamente costosas, por lo que se recomienda utilizar la tecnología de fibra óptica de las redes de Bragg (FBG), la cual permite realizar mediciones, monitoreo y diagnóstico en áreas tales como:

1. vibración,
2. temperatura,
3. energía,
4. estructurales,
5. geotecnia.

Estas tecnologías están apoyadas en *hardware* y *software* innovadores que permiten servicios como:

1. automatización sistemática de monitoreo,
2. monitoreo en línea a estructuras civiles y geotécnicas,
3. soluciones de mantenimiento preventivo.

El sistema permite extenderse 4 km en ambos sentidos desde el cubículo o caseta de control, lugar donde se toman los datos. Para la propuesta de monitoreo, se decidió ubicar la caseta en un punto estratégico cercano al río Páez, específicamente en el Centro Juvenil de Paraíso; con esta ubicación, además de los puentes 20 y 22, se podría monitorear los puentes 9, 11, 16, 18, 23 y 24, según planos de levantamiento.

Propuesta de monitoreo para túnel sobre ruta 10

Para el túnel sobre la ruta 10, se propone un sistema de instrumentación de monitoreo geotécnico y estructural, esto por medio del producto GeoDetect, el cual es un manto geosintético que combina el funcionamiento de un geotextil con la tecnología de la fibra óptica.

Este producto permite realizar mediciones de deformación en el suelo y temperatura geoes estructural.

Para tomar los datos se requiere: GeoDetect marca TENCATE, instrumentos de medición y *software*.

Propuesta de monitoreo para puente sobre río Páez

Para monitorear el puente sobre el río Páez, se propone un sistema de instrumentación mediante sensores ópticos, marca Micron Optics, según recomendación de Capris Engineering. Estos sensores se colocan en diferentes puntos de la estructura y depende de qué tipo de medición o valor se requiera; por lo anterior se recomienda generar una modelación estructural y el análisis de la misma por parte de un ingeniero estructural para determinar los puntos indicados a evaluar.

Los sensores son soldados a la estructura y son inmunes a la interferencia electromagnética, cortos circuitos, tormentas eléctricas y corrosión; no requieren suministro eléctrico, baterías, calibración o mantenimiento. Es posible colocar decenas de sensores en serie o en topologías complejas.

Según recomendación de Capris Engineering, se requieren los siguientes sensores:

- diez sensores de deformación,
- cuatro sensores de temperatura,
- un sensor triaxial de vibración.

En puentes es importante supervisar el estrés y controlar el comportamiento bajo diferentes efectos; el del río Páez se construyó cerca del año 1900 y es notoria su falta de mantenimiento, por lo que es de suma importancia realizarle monitoreo.

Tal como se mencionó, para desarrollar el sistema de monitoreo se requiere de una caseta de medición, donde llegan las terminales de fibra óptica y estas se conectan a un lector electrónico y computadora para toma de datos. En la figura 140 se muestra una caseta utilizada en proyectos europeos; el detalle de la misma se

incluye un equipo fijo de monitoreo, sin embargo, en la propuesta se consideró uno portable por accesibilidad económica.



Figura 140. Detalle de caseta de medición (Fuente: Capris Engineering)

En el cuadro 25 se presenta el presupuesto para la propuesta de monitoreo así como los distintos materiales y equipos necesarios.

En la figura 141 se muestra la síntesis de la propuesta de monitoreo, así como la ubicación de otras obras que podrían ser contempladas en un rango de 4 km desde la caseta de medición.

CUADRO 25. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MONITOREO					
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Total
1	Caseta de monitoreo				\$1.200,00
1.1	Construcción de Caseta	global	1	\$1.200,00	\$1.200,00
2	Monitoreo de puente Páez				\$28.500,00
2.1	Sensor triaxial de vibración	unidad	1	\$7.500,00	\$7.500,00
2.2	Sensor de deformaciones	unidad	10	\$1.500,00	\$15.000,00
2.3	Sensor de temperatura	unidad	4	\$1.500,00	\$6.000,00
3	Monitoreo de túnel ruta 10				\$45.000,00
3.1	Colocación de Geo Detect (10m)	unidad	3	\$15.000,00	\$45.000,00
4	Equipo necesario				\$17.500,00
4.1	Lap Top	unidad	1	\$1.500,00	\$1.500,00
4.2	Lector electrónico portable	unidad	1	\$16.000,00	\$16.000,00
5	Total del Presupuesto				\$92.200,00
6	Total del Presupuesto en colones		¢506,1		¢46.662.420,00

(Fuente: Autor)

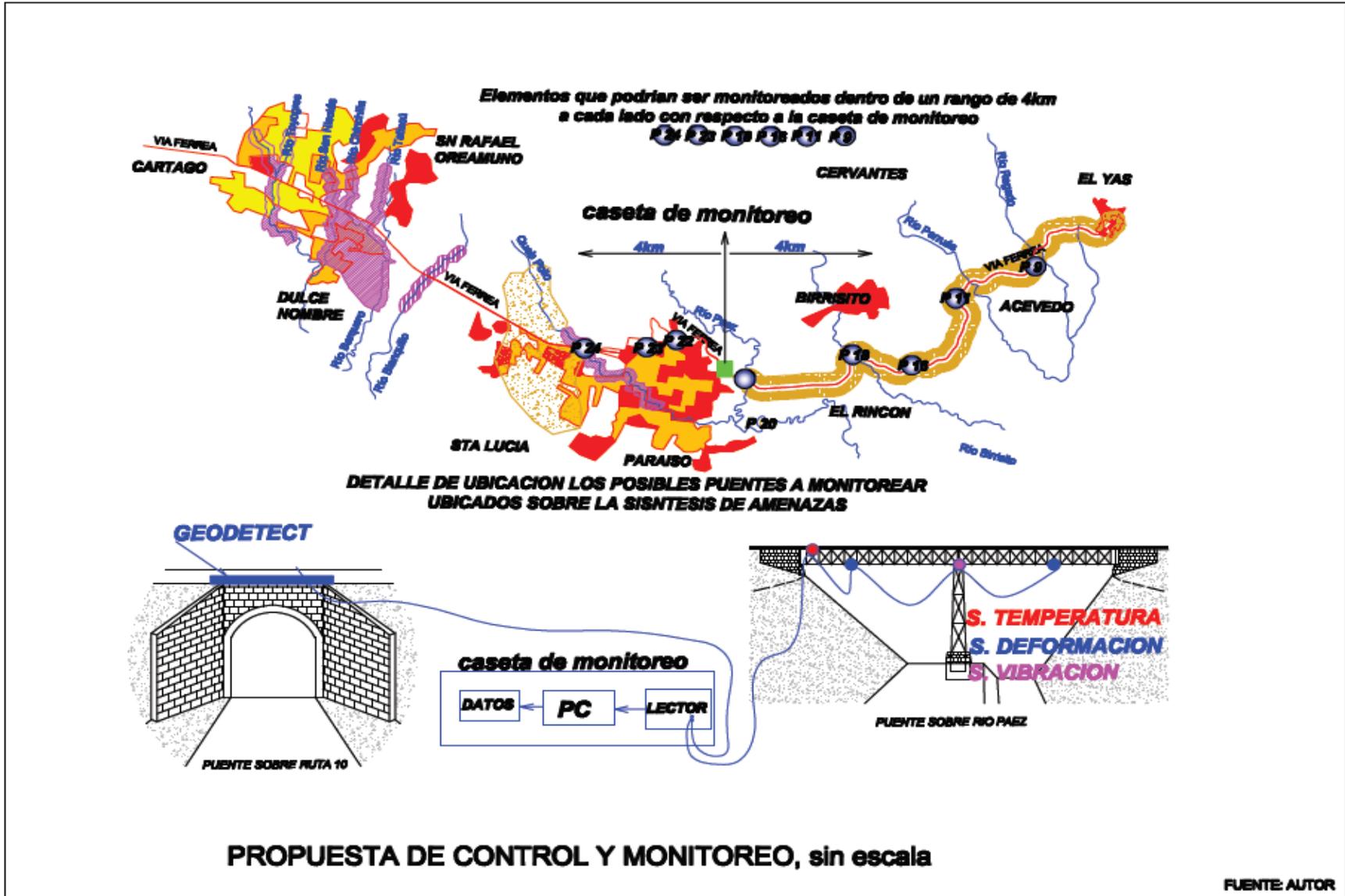


Figura 141. Propuesta de Control y Monitoreo (Fuente: Autor)

Propuesta de Electrificación

Costa Rica proyecta ser un país carbono neutro en el año 2021 y contar con el servicio de transporte eléctrico a través de la red ferroviaria, es una opción que se valora y se han generado estudios extranjeros al respecto.

El Gobierno de España, mediante la embajada en Costa Rica, donó el dinero de inversión para realizar una consultoría para la posible implementación de un corredor interurbano en el país, contemplando la posibilidad de que sea eléctrico. Cabe recordar que en el país se contó con un servicio eléctrico, por lo que la plataforma, subestaciones y experiencia, existe.

En esta propuesta se contemplaron los aspectos necesarios para habilitar el sistema eléctrico de alimentación del ferrocarril y su posible habilitación para brindar servicios en el transporte público.

Dentro de la investigación efectuada y las visitas realizadas a la estación del Pacífico se observaron las locomotoras utilizadas cuando se contaba con una red eléctrica para el ferrocarril, lo cual se muestra en la siguiente figura.



Figura 142. Patio de la estación al Pacífico, locomotoras eléctricas (Fuente: Autor)

Para un sistema eléctrico ferroviario, se requieren los siguientes elementos:

- alimentación por parte de una subestación,
- distribución de la electricidad,
- elementos que transporten la electricidad a lo largo de la vía férrea (catenarias aéreas),
- receptor eléctrico en las locomotoras,
- motores monofásicos en corriente alterna (CA).

Los motores en CA son más simples, económicos, tienen menos peso, requieren de poco mantenimiento y son de más fácil acceso que los motores en corriente continua (CC). Los motores en CA funcionan de forma asincrónica y poseen un convertidor estático y un colector por conmutador electrónico.

En resumen, para la electrificación ferroviaria se requiere de una infraestructura para la distribución pública y de la distribución interna del ferrocarril adecuada para este propósito. La presente propuesta se basa en la colocación de postes para ubicar la alimentación por líneas catenarias aéreas, partiendo del hecho que los sistemas de alimentación externos e internos, ya están integrados o se incorporarán mediante un plan país con la colaboración del Gobierno y los entes encargados.

Se generó un diagrama básico de alimentación mediante el sistema de catenarias y demás elementos mínimos de funcionamiento, lo cual se muestra en la figura 143, basado en los sistemas eléctricos del país y según lo consultado en el Manual Chileno (2003).

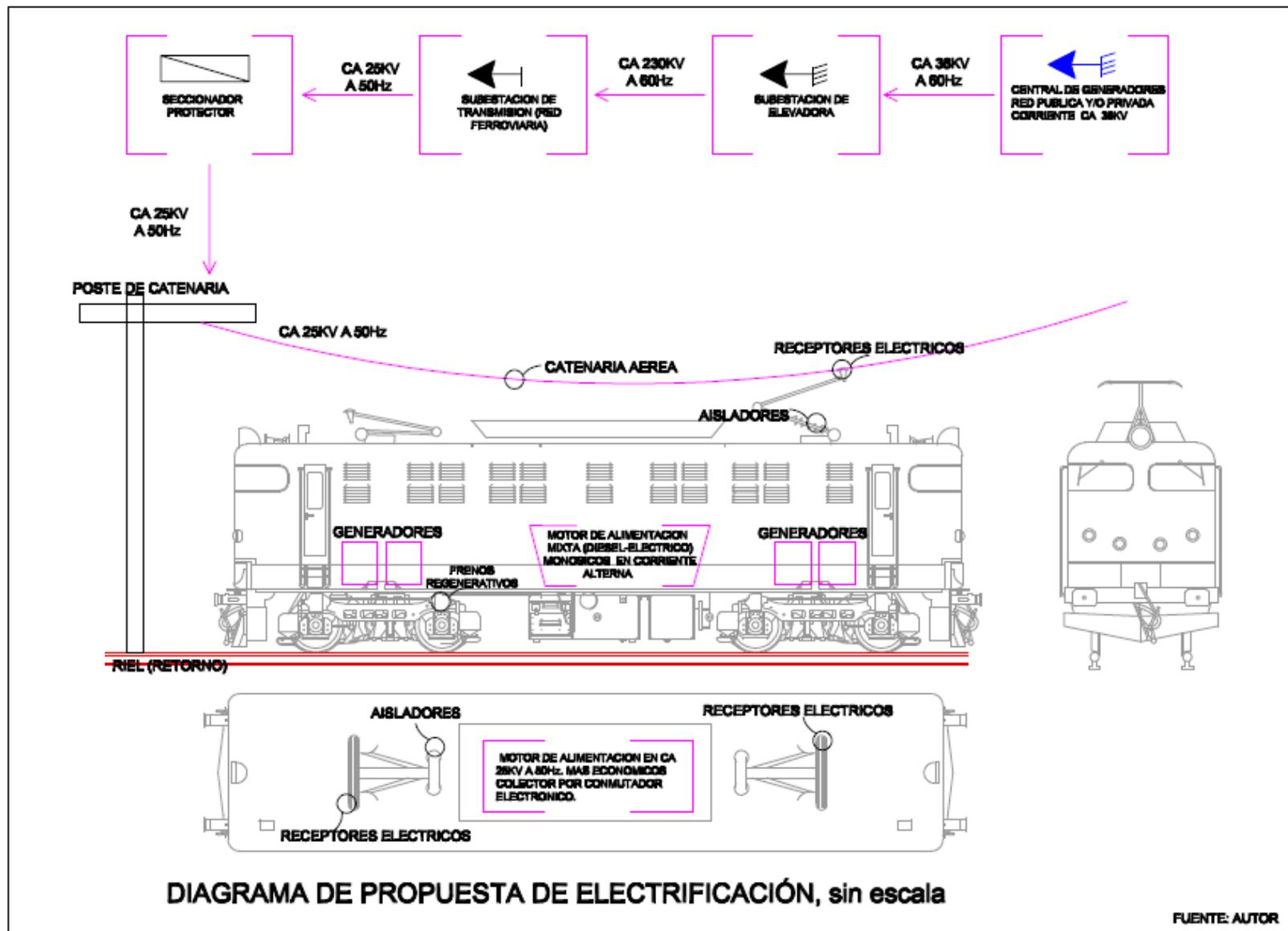


Figura 143. Propuesta de electrificación (Fuente: Autor)

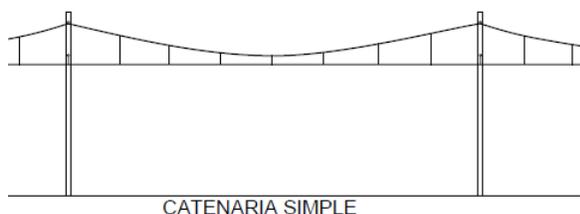


Figura 144. Detalle de catenaria simple (Fuente: Manual Chileno 2003)

La capacidad o ventaja que tienen los circuitos en CA, es que permiten transportar mayores voltajes que los de CC, además, usan catenarias más livianas, lo cual reduce costos y mantenimiento; adicionalmente, no requieren sistemas de rectificación de la electricidad y permiten una mayor distancia entre subestaciones de distribución.

Tal como se menciona en el Manual Chileno (2003), se deben considerar los

siguientes aspectos para el sistema aéreo de catenarias:

Para catenarias de 25 kv en 50 hz, existe una sección en cobre de 100 a 150 mm² equivalente a cables AWG en 4/0 a 300 MCM y con un peso aproximado de 1,6 kg/m, por lo que la distancia máxima recomendada para la colocación de los postes es de 50 m.

Las catenarias tienen diferentes configuraciones, tales como simples de un solo hilo y de varios hilos en configuración compuesta; esto determina la velocidad que pueda desarrollar el motor.

En esta propuesta se recomienda utilizar catenarias simples con suspensión de uno o dos hilos de contacto sin compensación, que permite velocidades de hasta 100 km/h. El presupuesto correspondiente se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 26. PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN CATENARIAS, PARA UN TRAMO DE 14km						
Ítem	Actividad	Cantidad	Unidad	Costo \$	Costo ¢	Total
1	Base de concreto para postes (2,2m3)	286	unidad	\$335,00	¢194.551,25	¢55.641.657,50
2	Postes de concreto armado para vía	286	unidad	\$301,00	¢174.805,75	¢49.994.444,50
3	Conjunto triangulo para vía general	286	unidad	\$869,00	¢504.671,75	¢144.336.120,50
4	Catenaria formada por conductor 270mm ²	14.3	km	\$17.380,00	¢10.093.435,00	¢144.336.120,50
5	Alimentador enterrado 300mm ²	1.4	km	\$17.300,00	¢10.046.975,00	¢14.065.765,00
6	Cable de Guarda aluminio acero 110mm ²	1	km	\$2.139,00	¢1.242.224,25	¢1.242.224,25
7	Cable de tierra 50mm ²	1	km	\$2.173,00	¢1.261.969,75	¢1.261.969,75
8	Contrapesos para catenarias	5	unidad	\$1.872,00	¢1.087.164,00	¢5.435.820,00
9	Seccionador	8	unidad	\$3.000,00	¢1.742.250,00	¢13.938.000,00
10	Pararrayos	14	unidad	\$300,00	¢174.225,00	¢2.439.150,00
11	Descargador de intervalos	14	unidad	\$882,00	¢512.221,50	¢7.171.101,00
12	Puesta a Tierra	2	unidad	\$75,00	¢43.556,25	¢87.112,50
13	Sub Total					¢439.949.485,50
14	Total de Proyecto de electrificación			\$871.187,10		¢439.949.485,50
15	Costo por kilometro			\$60.532,73		¢30.569.030,40
16	Costo anual por mantenimiento			\$2.612,63	¢1.319.378,95	¢18.988.501,81

(Fuente: Autor)

Plan de mantenimiento

El plan propuesto es para el mantenimiento de la vía durante su ejecución, ya que es un proyecto con una duración de un año y tres meses (316 días hábiles); por lo que durante la rehabilitación es necesario mantener la integridad de la superestructura y de la bancada antes de entregar el proyecto.

Las actividades contempladas para dicho mantenimiento son:

- remoción de derrumbes,
- estabilización de terrenos inestables,
- limpieza de drenajes,
- limpieza cunetas,
- fumigación,
- deshierbe químico.

Dichas tareas permitirán conservar en buen estado la vía y son indispensables en aquellos lugares con topografía montañosa, los cuales son propensos a derrumbes y deslaves.

Cabe destacar que el balastro y la bancada deben permanecer libres de vegetación, ya que tiene la capacidad de retener agua y afectar a estos elementos, los cuales deben desalojar el agua hacia los drenajes, cunetas o cualquier otro sistema de evacuación. Es aquí donde la fumigación y el deshierbe químico cumplen su función, para mantener a estas estructuras libres de contaminantes y acumuladores de humedad.

El presupuesto de mantenimiento tiene un costo aproximado de \$3.542.700,00 por kilómetro de vía, para un total de \$50.986.538,40; en el cuadro 27 se muestra el desglose de actividades y su respectivo costo.

CUADRO 27. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO					
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
1	Remoción de Derrumbes	km	14.392	\$2.450.00	\$35.260.40
2	Estabilización de Terrenos Inestables	km	14.392	\$2.450.00	\$35.260.40
3	Limpieza de Drenajes	km	14.392	\$700.00	\$10.074.40
4	Limpieza Cunetas	km	14.392	\$700.00	\$10.074.40
5	Fumigación	km	14.392	\$350.00	\$5.037.20
6	Deshierbe Químico	km	14.392	\$350.00	\$5.037.20
7	Total del Presupuesto				\$100.744.00
8	Costo unitario por Km en dólares				\$7.000.00
9	Total del Presupuesto en colones				₡50.986.538.40
10	Costo unitario por Km en colones				₡3.542.700.00

(Fuente: Autor, basado en costos Incofer)

Una vez puesto en marcha el servicio del tren, se requiere de un mantenimiento preventivo y correctivo en operación, por lo que el Incofer a través de la ley de contratación administrativa, realiza licitaciones de obra pública para contratos

de mantenimiento en diferentes áreas; como ejemplo, se puede mencionar la contratación para las vías férreas de los sectores de Orotina, San José y Heredia, denominado el sector operativo del Pacífico.

Las actividades de mantenimiento contratadas por Incofer se muestran en el siguiente cuadro.

CUADRO 28. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CONTRATADAS POR EL INCOFER			
Ítem	Actividad	Ejecución	
1	Control de maleza: chapia, herbicida, desrame, limpieza de la vía		Contrato
2	Retiro y manejo de todo tipo de material: traviesas, rieles, piedra, herramientas	Mantenimiento	
3	Colocación, sustitución, sujeción, calzada y nivelación de traviesas de vía, puentes y cambia vías	Mantenimiento	
4	Colocación, sustitución, sujeción y nivelación de rieles, apartaderos, espuelas, puentes o ramales	Mantenimiento	
5	Reparación, sustitución, colocación de sujeciones, eclisas o mancuernas de vía con pernos tornillos	Mantenimiento	
6	Construcción, reparación y sustitución de lingadas de riel soldadas		Contrato
7	Colocación, sustitución y reparación de cambia vías, agujas, guarda riel, desvíos, apartaderos o espuelas	Mantenimiento	
8	Riego y regulación de balastro	Mantenimiento	
9	Construcción de pasos a nivel	Mantenimiento	
10	Limpieza, reparaciones o construcción de drenajes, alcantarillas y desagües o cuentas	Mantenimiento	
11	Limpieza de desechos sólidos y recolección de basura (material orgánico e inorgánicos)	Mantenimiento	
12	Atención de descarrilamientos	Mantenimiento	
13	Construcción de muros de contención, cunetas y dragados o limpieza de ríos		Contrato
14	Diagnóstico, reparación y mantenimiento de las estructuras de los puentes		Contrato
15	Atención de derrumbes, lavados, deslizamientos en la vía	Mantenimiento	
16	Revisión, detección y aviso de daños o problemas en la vía		Contrato
17	Construcción de nueva vía férrea (colocación y armado de la vía, calza, riego de balastro, construcción de cunetas		Contrato

(Fuente: Incofer)

Para contratar estas actividades, el Incofer solicita cierto perfil de los participantes, así como la certificación o garantía de la experiencia de la empresa y personal. La calificación para adjudicar las contrataciones toma en cuenta los siguientes ítems: precio, experiencia y referencias.

Claro está, el estado y sus funcionarios deben salvaguardar el patrimonio de su institución y velar por la garantía de los trabajos.

Los puentes de acero encontrados en el tramo en estudio, Cartago-El Yas, se observaron sin mantenimiento alguno, por lo que en las actividades de la propuesta se contempló este rubro. Según Manual Chileno (2003), es importante programar y realizar revisiones anuales, no se debe permitir que transcurra más de veinte años sin tratamiento superficial de pintura y contra la corrosión.

La confección de un proyecto de rehabilitación de una línea de ferrocarril, debe considerar los diferentes tipos de obras necesarias para el adecuado funcionamiento del mismo. La infraestructura puede agruparse en diversas especialidades, por lo que el Manual Chileno (2003) recomienda valorar las siguientes actividades:

- ingeniería básica y trabajos previos,
- infraestructura de la vía férrea,
- superestructura de la vía férrea,
- obras de arte,
- edificios,
- electrificación,
- señalización y control de tráfico,
- comunicaciones,
- cruces a nivel, viales y peatonales,
- otros trabajos.

Cada una de las actividades mencionadas anteriormente, debe estar asociada a un mantenimiento preventivo y correctivo específico.

Invasiones al derecho de vía

Producto del recorrido realizado al tramo propuesto para rehabilitación, se identificaron las invasiones al derecho de vía las cuales fueron enlistadas y descritas en el capítulo de

Resultados. Tal como se aclaró, los fundamentos para detectar las invasiones se tomaron del decreto N° 22483 del Mopt, específicamente en su artículo 8° donde se establecen los parámetros necesarios. Este documento se adjunta en el anexo 2.

Los casos deben ser reportados a los involucrados por parte del Incofer, por lo que entregarle a esta entidad la lista de invasiones representa una herramienta de gran utilidad para realizar el trabajo. Tal como se aclaró anteriormente, la situación recomendable es realizar las notificaciones antes de iniciar una rehabilitación, sin embargo, tal como se comprobó en las visitas realizadas a la ruta Curridabat- Cartago, las invasiones son detectadas y notificadas conforme se avanza en los trabajos; no se invierten recursos para realizar recorridos con anticipación y detectar este tipo de problemas.

Basado en conversaciones con personeros de Incofer, el proceso por seguir con respecto a las invasiones es el siguiente:

- 1) Visitar los sitios detectados y realizar las mediciones necesarias para comprobar o refutar la invasión.
- 2) Informar verbalmente a los propietarios o responsables acerca de su situación y cómo las edificaciones o estructuras, afectan el derecho de vía. Existe la posibilidad que en este punto ambas partes lleguen a un acuerdo y el invasor se comprometa a solucionar su caso.
- 3) Se genera un informe técnico para cada uno técnico para cada uno de los invasores, respaldado por las mediciones de campo y por los decretos que definen el derecho de vía. Esto se entrega personalmente a los involucrados.
- 4) Los invasores cuentan con un lapso de 10 días para apelar el reporte entregado, si lo consideran necesario; de no realizarse la apelación y si los invasores no resuelven por cuenta propia su situación, el Incofer puede proseguir con los trabajos de rehabilitación e incluso eliminar o demoler las invasiones.
- 5) En caso de apelación por parte de los invasores, continúa un proceso legal que probablemente requiera de mucho tiempo para lograr una resolución, lo cual involucra al departamento Legal de

Incofer y demás profesionales necesarios.

Esta fue una etapa que fue imposible cuantificar para fines presupuestarios, sin embargo, se afirma con toda seguridad que las invasiones detectadas se encuentran dentro del derecho de vía.

Velocidades y peraltes recomendados

Se decidió realizar un estudio de las curvas importantes con el fin de recomendar velocidades y peraltes en dichos puntos. La importancia de las curvas es determinada por su radio, cuanto menor sea este, mayor deberá ser el peralte para mantener una velocidad constante.

Los valores fueron calculados con los métodos propuestos en el manual chileno "Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria" (2003).

Según lo expuesto en "Curvas importantes" del capítulo de Resultados, las curvas por considerar son:

- 1) curva compuesta en sentido contrario, con radios de 101,59 m y 112,54 m,
- 2) curva sencilla, con radio de 93,71 m,
- 3) curva compuesta, con radios 67,32 m y 56,78 m,
- 4) curva compuesta en sentido contrario, con radios de 80,24 m y 72,78 m.

Según conversaciones sostenidas con personeros de Incofer, actualmente el Tren Urbano viaja en un rango de velocidad entre 50 a 30 km/h. Nótese que la curva con menor radio en la totalidad de la tramo es de 56,78 m, por lo que se propone aplicar el peralte máximo de 170 mm en este punto (Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria, 2003).

Por lo tanto, la velocidad máxima en esta curva, se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\max} = 4.2 * \sqrt{R}$$

Ecuación 3

$$V_{\max} = 4.2 * \sqrt{56.78}$$

$$V_{\max} = 31.64 \text{ km/h}$$

El dato obtenido, por fines prácticos, se redondeó a 30 km/h (equivalente a 8,33 m/s), lo cual se recomienda como la velocidad máxima en la zona montañosa del recorrido, es decir, desde las afueras del centro de Paraíso hasta El Yas (entre puntos P84 y P1 en planos), comprendiendo parte de la sección 3 y la totalidad de las secciones 4 y 5.

Una vez obtenida la velocidad recomendada, se procedió a determinar los peraltes para las curvas antes mencionadas de la siguiente manera:

Para la curva 1:

$$h = T * V^2 / (g * R)$$

Ecuación 1

$$h_1 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 101.59)$$

$$h_1 = 70 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 112.54)$$

$$h_2 = 63 \text{ mm}$$

Para la curva 2:

En este punto se localiza el puente sobre el río Birrisito justamente en la parte central de la curva, por lo que se recomienda descender la velocidad a 20 km/h (equivalente a 5,55 m/s).

$$h_3 = 1 * (5.55)^2 / (9.8 * 93.71)$$

$$h_3 = 34 \text{ mm}$$

Para la curva 3:

$$h_4 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 67.32)$$

$$h_4 = 105 \text{ mm}$$

$$h_5 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 56.78)$$

$$h_5 = 125 \text{ mm}$$

Para la curva 4:

$$h_6 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 80.24)$$

$$h_6 = 88 \text{ mm}$$

$$h_7 = 1 * (8.33)^2 / (9.8 * 72.78)$$

$$h_7 = 97 \text{ mm}$$

En resumen, la velocidad recomendada en zona montañosa es de 30 km/h, con reducción en el puente sobre el río Birrisito a 20 km/h. Los sectores de Cartago, Oreamuno y Paraíso centro, presentan una topografía plana y las curvas en estas secciones son de radios amplios, por lo que se puede recomendar una velocidad de 50 km/h en estas zonas.

Conclusiones

- Las zonas de mayor riesgo a amenazas naturales son los sectores de El Rincón, Birrisito, Parruás y El Yas, caracterizadas por su topografía montañosa con alta presencia de laderas inestables.
- Las invasiones al derecho de vía se presentan en toda la longitud del tramo; sus responsables deben ser notificados con anticipación antes de iniciar los trabajos rehabilitación en la ruta.
- La velocidad recomendada es de 30 km/h, y puede elevarse a 50 km/h en los sectores con topografía plana.
- Las señalizaciones encontradas deben ser reemplazadas en su totalidad, además de colocar señales nuevas de reglamentación y prevención en todas las intersecciones con caminos y carreteras.
- La totalidad del tramo propuesto para rehabilitación, presenta problemas que evidencian los más de veinte años de abandono experimentado.
- La superestructura de acero de puentes, se apreció en buen estado, sin embargo, requiere trabajos de mantenimiento en su totalidad.
- La propuesta de monitoreo planteada tiene un costo de ¢46.561.000,00 y abarca al puente sobre el río Páez y el túnel sobre la ruta 10, en Paraíso y brinda las herramientas necesarias para el control permanente de las estructuras mencionadas, las cuales tienen más de 100 años de haber sido construidas.
- La propuesta de electrificación por catenarias tiene un costo ¢439.949.485,50. A corto plazo representa una inversión fuera del alcance de Incofer, sin embargo, a largo plazo es una opción viable, principalmente si se quiere aportar a las ambiciones de ser país carbono neutro en el 2021.
- Para fines de transporte público, el 100% del tramo no es apto para su uso, por lo cual requiere una intervención en la totalidad de su extensión.
- El 100% de la bancada requiere trabajos de conformación y saneamiento.
- Con fines de una pre-rehabilitación, el 52% del recorrido se encontró en mal estado, 29% en estado regular y 19% en estado aceptable.
- Los componentes de la vía férrea, deben ser reemplazados de la siguiente manera: rieles 4%, durmientes 100%, sujeciones 100%, eclisas 12% y balastro 100%.
- Los principales problemas detectados se localizaron en los durmientes: quebraduras, deformaciones, corrosión, son deficiencias que hacen que estos elementos no sean reutilizables; esto se evidencia también económicamente, al ser el rubro de mayor costo en la rehabilitación de la superestructura.
- El costo de rehabilitación por kilómetro es de ¢168.714.053,61, lo cual contempla los trabajos en la bancada, superestructura, puentes, señalización y mantenimiento.
- El costo total de rehabilitación del tramo es de ¢2.428.132.651,26, con un total de 14 392 m de extensión.
- El rubro de mayor costo es la rehabilitación de la superestructura, a saber, rieles, durmientes, sujeciones, eclisas y balastro, con un total de ¢1.282.299.571,43, lo cual representa el 53% del total del presupuesto estimado.
- En todo presupuesto de rehabilitación, se debe contemplar un rubro de mantenimiento de los tramos que han sido intervenidos. Para este caso particular tiene un costo de ¢50.986.538,40.

-La rehabilitación de la ruta en estudio representa una inversión viable para Incofer y el Gobierno, no sólo por los costos accesibles asociados, sino también por la importancia que ha adquirido el transporte ferroviario en los últimos años.

Recomendaciones

- Realizar revisiones estructurales a todos los puentes detectados, con el fin de determinar con precisión su estado actual.

- Realizar estudios de estabilidad de taludes en las principales zonas de riesgo, con el objetivo de definir laderas y taludes inestables y así, aplicar técnicas precisas para su corrección ya que los volúmenes utilizados fueron estimados.

- Investigar acerca de métodos de monitoreo en intersecciones con carreteras, que permitan establecer dispositivos de seguridad en estos puntos.

- Realizar estudios civiles y arquitectónicos para determinar las edificaciones consideradas patrimoniales y así, realizar su rescate y conservación.

- Realizar inventario físico de subestaciones de distribución eléctrica y determinar las condiciones necesarias para que se pueda implementar un sistema de electrificación en ciertos sectores de la red ferroviaria nacional.

- Realizar estudios de impacto social, económico y de transporte que demuestren las consecuencias generadas por las rehabilitaciones realizadas por Incofer, con el propósito de sustentar el rescate de la red ferroviaria nacional.

- Esta investigación puede funcionar como herramienta de utilidad para las próximas rehabilitaciones por realizar por parte del Incofer en las rutas Heredia-Alajuela y Cartago-Paraíso, así como punto de partida para futuras

investigaciones académicas relacionadas con este mismo tema.

- Generar planes de seguridad durante el proceso de rehabilitación para los trabajadores del proyecto, así como para los usuarios del tren cuando este se ponga en funcionamiento.

- Realizar estudios hidráulicos para obtener datos de escorrentía y precipitación y sean aplicados en el adecuado diseño de los pasos de agua.

- Utilizar rieles pesados entre 70 y 80 libras por yarda, para la rehabilitación en la superestructura; evitar el uso de rieles de compromiso de menor carga como por ejemplo los de 40 libras por yarda

Apéndices

- 1) Planos de levantamiento
- 2) Boletas de inspección
- 3) Fotos modelo 3D del puente sobre el río Páez
- 4) Presupuestos
- 5) Programación, diagrama de Gantt
- 6) Fotos GPS

Anexos

- 1) Mapas de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias.
- 2) Decreto N° 22483 del MOPT
- 3) Presupuestos Incofer
- 4) Documentos Capris Engineering Costa Rica
- 5) Presupuestos del manual chileno "Recomendaciones de Diseño para Proyectos de Infraestructura Ferroviaria" (2003)
- 6) Tabla de diseño de muros de gaviones, Folleto Diseño Geotécnico, Curso: Mecánica de Suelos II, Ing. Marco Tapia

Referencias

- Departamento Administrativo de la Northern Railway Company. 1953. **COSTA RICA RAILWAY COMPANY LTA. AND NORTHERN RAILWAY COMPANY.** Costa Rica: Editorial Carlos Federspiel & Co. S.A.
- American Railway Engineering and Maintenance of Way Association. 2002. **AREMA ANUAL OF RAILWAY ENGINEERING.** Estados Unidos: Versión digital PDF.
- Mideplan- Sectra. 2003. **RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA.** Chile: Versión digital PDF.
- Coto, Marco. 2009. **DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA RED FERROVIARIA EN LA SECCIÓN CARTAGO- TRES RIOS.** Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 55 p.
- Mopt. Dirección de Planificación Sectorial. 2010. **FERROCARRILES.** Disponible en: <http://www.mopt.go.cr/planificacion/ferrocarriles/default.asp>. Consultado en: Diciembre, 2010.
- Mora, Pablo. Ingeniero. 2012. **CONSULTAS DE VÍA FÉRREA Y TRABAJOS DE REHABILITACIÓN CURRIDABAT-CARTAGO.** San José, Incofer. Comunicación personal.
- Mas, Jaime. Ingeniero. 2012. **CONSULTAS DE TRABAJOS DE REHABILITACIÓN EN PUENTES FERROVIARIOS Y NORMAS DE MATERIALES.** San José, Incofer. Comunicación personal.
- Vargas, Edwin. Capataz. 2012. **CONSULTAS DE RENDIMIENTOS Y MAQUINARIA UTILIZADA EN REHABILITACIÓN CURRIDABAT- CARTAGO.** San José, Incofer. Comunicación personal.
- Consejo Nacional de Emergencias (CNE). 2012. **ATLAS DE AMENAZAS NATURALES DE LAS PROVINCIAS DE COSTA RICA.** Disponible en: http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/atlas_de_amenazas/atlasde.htm. Consultado en: Marzo, 2012.
- Herrera, Miguel. 2011. 11. 07. *INCOFER UNIRÍA CUATRO PROVINCIAS CON SISTEMA DE TREN ELÉCTRICO. LA NACIÓN*, San José. 6A-6A p.
- Registro Nacional. 2012. **CONSULTAS A BASE DE DATOS MEDIANTE COORDENADAS POLARES.** San José, Registro Inmobiliario. Comunicación personal.
- Rojas, Godofredo. Geógrafo. 2012. **CONSULTAS CATASTRALES E INFORMACIÓN DIGITAL DE PARAÍSO.** Paraíso, Municipalidad de Paraíso. Comunicación personal.
- Vargas, Erick. Geógrafo. 2012. **CONSULTAS CATASTRALES E INFORMACIÓN DIGITAL DE CARTAGO.** Cartago, Municipalidad de Cartago. Comunicación personal.
- Departamento de Educación. **MANUAL DEL FERROCARRIL AL ATLÁNTICO.** Costa Rica: Material Incofer sin fecha.
- Mideplan. 2010. **SECTOR PÚBLICO COSTARRICENSE Y SU ORGANIZACIÓN.** Disponible en: <http://www.mideplan.go.cr>. Consultado en: Enero 2012.