

**CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Arq. Carlos Ugalde Hernández, Ing. Marco Coto Segura, Ing. José Quirós Campos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



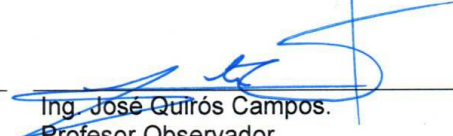
Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Arq. Carlos Ugalde Hernández.
Profesor Guía



Ing. Marco Coto Segura.
Profesor Lector



Ing. José Quirós Campos.
Profesor Observador

Diagnóstico técnico y Análisis de costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección El Yas – Turrialba

Abstract

The project entitled Technical Diagnosis and Cost Analysis for the rehabilitation of the railway network in El Yas-Turrialba Section, aims to verify the physical condition of the road, in this section of 28.8 kilometers length.

In the same way, it pretends to obtain in a georeferenced way, all the information of each finding in terms of cleanliness of the road, landslides, requirement of retaining walls, condition of railway structure in general, bridges, water passages, analysis related to affectations and natural risks; so with this information an estimated budget of the total reconstruction of the road can be elaborated.

To carry out the aforementioned, the route was crossed by feet, walking and dividing it in seven sections:

Section 1: El Yas Station- Santiago Station

Section 2: Santiago- Quebrada Honda

Section 3: Quebrada Honda- Santa Marta

Section 4: Santa Marta - Chiz

Section 5: Chiz- Murcia

Section 6: Murcia- Pavas

Section 7: Pavas- Turrialba downtown

In general terms, 73% of the road must undergo a general cleaning process due to the existence of organic material and landslides throughout the section. The same percentage corresponds to the lack of rails, and 100% as a result of the replacement requirement, due to defective elements in fasteners and joints.

The total estimated cost for the work is **\$60.259.897,87**.

Finally, this study provides tools that can be used in the future, and thus have a guide to locate the rail sector again, as part of the development of Costa Rica.

Key words: railway, railway network, railway track, rehabilitation, reconstruction, diagnosis, budget, El Yas- Turrialba.

Resumen

El proyecto titulado "Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección El Yas - Turrialba" tiene como objetivo verificar el estado físico de la vía en dicho tramo de 28.8km de longitud. De la misma forma, pretende obtener de forma georeferenciada, toda la información de cada hallazgo en cuanto a limpieza de la vía, derrumbes, requerimiento de muros de contención, estado de estructura ferroviaria en general, puentes, pasos de aguas, análisis con respecto a afectaciones naturales y riesgos; para que con esta información, se pueda elaborar un presupuesto estimado de la reconstrucción total de la vía.

Para lo anterior se procedió a recorrer la vía, caminando y dividiéndola en siete secciones:

Sección 1. Estación El Yas - Estación Santiago.

Sección 2. Santiago - Quebrada Honda.

Sección 3. Quebrada Honda - Santa Marta.

Sección 4. Santa Marta – Chiz.

Sección 5. Chiz – Murcia.

Sección 6. Murcia – Pavas.

Sección 7. Pavas - Turrialba centro.

En términos generales, un 73% de la vía debe someterse a un proceso de limpieza general, a raíz de la existencia de materia orgánica y derrumbes en toda la sección. Mismo porcentaje corresponde a la ausencia de rieles y un 100% como resultado del requerimiento de sustitución debido a elementos defectuosos en sujeciones y uniones.

El costo total estimado para la obra, es de **\$60.259.897,87**.

Por último, este estudio provee herramientas que pueden ser empleadas en un futuro y así tener una guía que permita ubicar al sector ferroviario nuevamente como parte del desarrollo de Costa Rica.

Palabras claves: Ferrocarril, Red ferroviaria, Vía férrea, Rehabilitación, Reconstrucción, Diagnóstico, Presupuesto, El Yas – Turrialba.

Diagnóstico técnico y Análisis de costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección El Yas – Turrialba

GERARDO SEQUEIRA PEREIRA

Proyecto final de graduación para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	2
Resumen ejecutivo.....	4
Introducción.....	7
Marco teórico.....	9
Metodología.....	41
Resultados.....	43
Análisis de los resultados.....	73
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Apéndices.....	89
Referencias.....	90

Prefacio

Durante gran parte del Siglo XX, el ferrocarril constituyó el medio más importante de comunicación entre el centro del país y los principales puertos de Costa Rica (regiones del Atlántico y Pacífico). El ferrocarril, a su vez, integró grandes extensiones del territorio nacional, al desarrollo económico y social que alcanzó el país en un momento histórico.

El servicio ferroviario se implantó en el país originalmente, con la finalidad de exportar café y banano a Europa y Estados Unidos, pues las condiciones en que dicha actividad floreció, estuvieron dadas en un marco, donde el sistema de transporte por carretera era muy incipiente.

Turrialba fue considerada, desde la creación del Ferrocarril al Atlántico, como uno de los puntos sociales y económicos de mayor importancia en la ruta ferroviaria entre San Jose y Limón. Es a raíz de esta obra, como se dio un incremento considerable, poblacional y comercial en este cantón; y es debido al Terremoto de Limón, entre otros factores, en el año 1991, que no volvió a darse el trasiego de pasajeros y productos a través de este medio de transporte por Turrialba.

Al día de hoy, el acelerado crecimiento vehicular a nivel nacional, ligado a lo reducidas y deterioradas condiciones de las vías, exige alternativas para transporte de productos y especialmente de pasajeros hacia la capital. Se cuenta con el servicio de ferrocarril en toda la Gran Área Metropolitana; y una propuesta de rehabilitación desde Cartago hasta la comunidad de El Yas, la cual se quiere ampliar mediante este proyecto, para retomar todo lo que significa para Turrialba, el tren en esta zona.

De la misma forma, se cuenta con una serie de problemas en la Ruta Nacional Braulio Carrillo (Ruta 32), la cual, en sus múltiples cierres por mantenimiento, exige que todo vehículo que requiera trasladarse desde el Caribe del país hacia la capital, lo haga por Turrialba, y esto genera caos vial en el transporte por esta zona, múltiples accidentes y un alto incremento en la

inseguridad vial y social de las comunidades entre Siquirres y Cartago por medio de la Ruta 10.

A nivel ecológico y de sostenibilidad ambiental, en el año 2004, un estudio aportado por “Ecologistas en acción”, señala que la diferencia es aún más acusada: desplazar una tonelada a lo largo de un kilómetro emite 120 gramos de CO₂ si se hace en camión, frente a los 23 gramos (casi 6 veces menos), que emitiría si se desplazase en ferrocarril de operación con diesel.

Asimismo es el medio de transporte más seguro. Atendiendo a una estadística europea (PEIT, 2005), que utiliza datos de 2001, “el número de muertos por cada 1.000 millones de viajeros/km en la Unión Europea es de 0,2 en ferrocarril, 0,4 en avión y 8,7 en carretera”. En otras palabras, la carretera resulta 43 veces más peligrosa que el modo ferroviario, sin embargo, todas estas evidencias positivas no se reflejan en las políticas que desarrollan los administradores costarricenses. La situación y las perspectivas del ferrocarril deben contemplarse en las políticas nacionales de transporte y en los proyectos de crecimiento a largo plazo, para que el papel del ferrocarril se revalorice y lejos de aminorarse, la red ferroviaria se extienda y mejore.

Por lo anterior y dada la gran importancia del ferrocarril para el Cantón de Turrialba, se planteó el presente proyecto titulado: “Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección El Yas - Turrialba”, y que pretende ser una herramienta para lograr soluciones a la problemática de infraestructura de carreteras y transporte público en el Sector de Paraíso hasta Turrialba y por consiguiente que, el sector ferroviario se ubique nuevamente como parte del desarrollo del país.

Asimismo, por medio de este estudio se pretende contribuir al desarrollo del PRUGAM (Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana) y ofrecer una propuesta de solución a la necesidad de mejorar el transporte público de personas en el sentido Este – Oeste de la provincia de Cartago.

Así en el siguiente trabajo, se tiene como objetivo realizar un diagnóstico técnico del estado de la vía en la sección El Yas – Turrialba, a través de la determinación de la situación física de la infraestructura actual de la vía y emitir así las recomendaciones para su rehabilitación.

Finalmente, todas estas propuestas, con datos presupuestarios de INCOFER y datos obtenidos en campo, se plantearía un costo de la puesta en marcha para el tramo de vía ferroviaria en estudio.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a Dios, por la oportunidad de vida y salud para finalizar una etapa tan importante en mi vida, sobre todo por la motivación y decisión hallada para realizar este proyecto.

Al Arq. Carlos Ugalde por la propuesta de proyecto y por ser el guía en la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Marco Coto, por aceptar la solicitud de colaboración para con este proyecto, especialmente para ser el lector del mismo y aportar su conocimiento con recomendaciones técnicas en el proceso de elaboración del documento final y cálculos generales.

Compañeros de trabajo, como el Geógrafo Evighriff Granados por todos sus conocimientos y aportes en la elaboración de planos y mapas en general; el Ing. Esteban Hernández por su acompañamiento en una de las giras; al Sr. Walter Egidio Torres por su gran labor de campo en la última de las inspecciones y el Sr. Óscar Camacho por su aporte con el Drone para la captura de imágenes y videos en tramos específicos y puentes de la ruta a rehabilitar.

Muy especialmente al Sr. JeanCarlo Seas Bermúdez, quien de una forma desinteresada, pero con muchísimo compromiso, brindó acompañamiento a todas las giras realizadas, aportó conocimientos, esfuerzo y mucha entrega para este proyecto. Sin su ayuda no hubiese sido posible la ejecución de este trabajo.

A la Licda. Silvia Navarro por su apoyo incondicional y motivación constante.

A mi familia en general, por sus oraciones y a cada una de las personas que me apoyaron y motivaron en este proceso.

Resumen ejecutivo

La Escuela de Ingeniería en Construcción posee como parte de sus recursos más importantes, al Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO); este a su vez, brinda un espacio a las Municipalidades de la provincia de Cartago, en apoyo a su accionar una especial atención a temas de Planes Reguladores y puesta en marcha del ferrocarril como medio de interconexión y mejora en comunicación de toda la provincia con la Gran Área Metropolitana. Es así como se pretende llegar con esta rehabilitación a contar con una comunicación hasta el cantón de Turrialba y posteriormente, con el Caribe de nuestro país.

De ahí la importancia de este proyecto para la provincia de Cartago y específicamente los intereses del cantón de Turrialba, pues se lograría dar continuidad a los estudios realizados y diagnósticos brindados para toda la zona, y que actualmente se cuentan hasta el sector de El Yas de Paraíso, dando conexión desde la GAM hasta Turrialba y posteriormente poder implementar estas técnicas para llevar pasajeros al Caribe.

Como objetivo general, el proyecto determinó el estado de la vía férrea en el tramo El Yas – Turrialba (29km aproximadamente); y el costo asociado a su reconstrucción y rehabilitación.

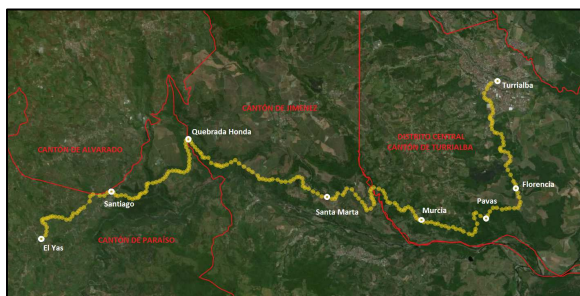


Figura 1. Tramo de vía férrea a rehabilitar, El Yas – Turrialba (29km) y cantones involucrados.

Para esto, se realizaron las siguientes actividades:

1. Se recorrió por completo la vía ferroviaria.

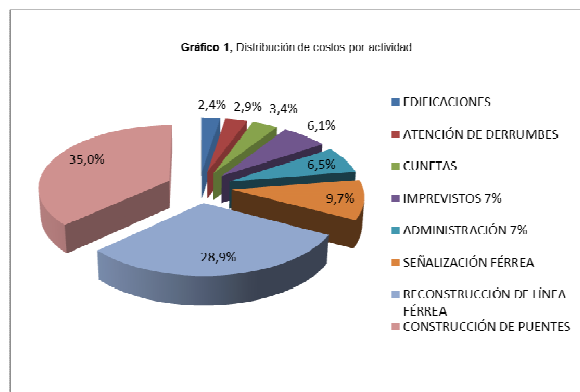
2. Se realizó el registro fotográfico del recorrido ejecutado, donde se observaron los obstáculos que existían en la vía, alcantarillas y/o pasos de aguas, puentes, invasiones al derecho de vía férrea, sitios de afectaciones naturales, estado de elementos ferroviarios y edificios.
3. Cada detalle observado y eventual recomendación, se georeferenció con GPS.
4. De esta forma, se elaboraron planos de taller, como producto, con la siguiente información:
 - a. Mapa catastral parcial, con ayuda de los Municipios involucrados.
 - b. Ubicación y georeferencia de cada una de las afectaciones observadas en sitio.
 - c. Curvas de nivel y topografía del terreno, con las cuales se podrían obtener cortes y secciones de la vía en puntos específicos.
 - d. Red vial e hídrica que involucra el tramo en análisis.
5. Todos los hallazgos georeferenciados, se dimensionaron y de la misma forma en las reuniones con INCOFER, se lograron determinar los costos unitarios para cada actividad definida como solución a dichos detalles observados.
6. Con todas las recomendaciones definidas, se procedió a elaborar un procedimiento de trabajo y un costo asociado, para conocer el monto total de obra a reconstruir.

La Escuela de Ingeniería en Construcción ha participado activamente a través del CIVCO en la elaboración de planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano a nivel nacional, donde la conectividad vial y la mejora en infraestructura ferroviaria han sido su mayor aporte en todos los cantones de la Gran Área Metropolitana y Cartago en general. De la misma forma, se espera que este proyecto sea la guía y un insumo a tomar en cuenta por INCOFER a

raíz de que no se cuenta con recursos disponibles para las etapas de evaluación inicial y ejecución de obras. Este podría ser el proyecto que dé inicio a la finalización de conectividad ferroviaria de la GAM con toda la provincia de Cartago, al terminar con el tren hasta Turrialba.

Finalmente, los municipios involucrados en el tramo en estudio, a saber: Paraíso, Alvarado, Jimenez y Turrialba, 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.

El costo total de la rehabilitación es de **\$60.259.897,87.**; los cuales están divididos de la siguiente forma:



Es importante destacar que se cuenta con premisas importantes para la determinación del costo mostrado, donde la más representativa es asumir que se deben reconstruir completamente los puentes hallados, mismos que representan un 4% de la longitud total del recorrido, con 1070m.

También es importante evaluar el costo nuevamente, una vez que se ejecuten labores de análisis estructural de todos los puentes, para garantizar cuáles pueden ser reutilizados y cuáles deben reconstruirse.

El análisis de este tramo de vía férrea, fue seccionado a raíz de las complicaciones existentes en el campo durante el recorrido; de ahí que se utilizaron 7 subdivisiones, las cuales se describen a continuación:

Sección 1. Compreendida entre la Estación de El Yas de Paraíso, hasta la estación de Santiago, con una longitud de 4015.95m.

Sección 2. Tramo entre Santiago y el sector de Quebrada Honda, específicamente en la comunidad de Naranjo de Jimenez, para una longitud de 4137.49m.

Sección 3. Entre Quebrada Honda y la comunidad de Santa Marta para una distancia de 3014.67m.

Sección 4. Tramo comprendido entre Santa Marta y Chiz, ambas comunidades en el cantón de Jimenez, con una longitud entre ellas, de 5672.4m.

Sección 5. Entre los poblados de Chiz y Murcia, ya en el cantón de Turrialba, con una longitud de 2085.22m.

Sección 6. Entre Murcia y la comunidad de Pavas, con una longitud de 3429.55m.

Sección 7. Con una longitud de 6447.17m, el tramo final entre Pavas y Turrialba Centro.

En general, se conoce de una vía férrea donde el 73% está completamente en abandono, con maleza, derrumbes, obstrucciones a la vía y material orgánico en toda su sección, el cual debe ser removido para contar nuevamente con el derecho de vía en óptimas condiciones para la puesta en marcha.

De la misma forma, otro 73% corresponde a rieles en mal estado, los cuales deben sustituirse para contar con estructura de calidad y seguridad para la operación. Fijaciones y Eclisas, que deben ser removidas y cambiadas en un 100% al igual que todos los durmientes, a raíz de la alta humedad presente en las montañas donde se ubica este tramo de vía férrea analizada.

En general condiciones poco favorables de reuso para la estructura, hacen que se deban tomar en consideración datos que se evidencian en los costos de esta obra.

Finalmente, es importante tomar en consideración que se está en una zona donde más del 50% del recorrido realizado es de pendientes altas (zona montañosa), cuya línea férrea se ubica en cortes hechos directamente en el macizo montañoso, además se halla en zonas de fallas geológicas (según mapas obtenidos de la CNE) y alta sismicidad en general, esto tomando en cuenta la alta presencia de cuencas que aportan aguas directamente a la zona ferroviaria.

Es así como queda claro y está evidenciado en el Marco teórico de este trabajo,

que fue la construcción del tramo del ferrocarril en el país, que más muertes trajo en su época de construcción, a raíz de las complicaciones presentes en la ejecución de obras.

El “Diagnóstico técnico y Análisis de costos para la Rehabilitación de la Red Ferroviaria en la Sección El Yas - Turrialba”, da a conocer, cuantifica y emite su costo aproximado de reconstrucción para el tramo en análisis, sirviendo como guía para la rehabilitación de la red ferroviaria nacional, específicamente la conexión entre la GAM con el Caribe del país, en este caso ampliando los conocimientos del estado actual hasta el cantón de Turrialba.

Introducción

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.

Específicamente para el año 1991, el paso del ferrocarril desde Siquirres hasta Cartago, se vio detenido a raíz del terremoto de Limón de 1991. Los daños que se generaron en todo el tramo y lo riesgoso de continuar realizando el trasiego de productos y pasajeros hacia la capital, en una ruta tan vulnerable y de tanto riesgo por amenazas naturales, hizo que se tomara esta decisión.

Actualmente, el alto flujo vehicular y el aumento excesivo de tiempo en carretera a la hora del traslado de un lugar a otro, aumenta la necesidad de lograr el rescate de la red ferroviaria nacional. Como parte de los esfuerzos del gobierno, se han habilitado las rutas Belén-San José, Pavas – Curridabat, Heredia – San José, Curridabat – Cartago, Heredia – Alajuela y se trabaja en la habilitación de Cartago – Paraíso.

El proyecto pretende formar parte de la iniciativa de rescate de dicha red y para este caso en específico, dando continuidad a las propuestas existentes para la rehabilitación de los tramos que involucra las comunidades de Cartago – Paraíso – El Yas, ampliando así el estudio hasta el cantón de Turrialba. De esta forma, se pretende tener la propuesta de los 45km aproximadamente existentes entre los cantones mencionados.

Tiene como objetivo realizar el diagnóstico técnico del estado actual y análisis presupuestario para una posible rehabilitación de la sección El Yas – Turrialba. Para ello, se analizarán los componentes relacionados con la vía férrea, a saber, secciones transversales y sus elementos, requerimientos de diseño, métodos y materiales constructivos, estado actual y posibilidades de reutilización para algunos elementos, amenazas naturales, metodologías de mantenimiento y aspectos legales que en

conjunto determinan el espacio físico de una vía férrea.

El tramo en estudio tiene una extensión de 29km aproximadamente, desde el apartadero de El Yas (1222msnm) hasta la estación de Turrialba (635msnm).

Es importante tomar en cuenta que el presente proyecto, ubica un entorno cronológico donde se puede apreciar la historia de construcción del ferrocarril y las diferentes etapas en las que se ejecutó la obra ferroviaria más importante de la historia del país, aunado al aporte y avance que esta le generó al país en su momento. De la misma forma, se muestra de una forma general, todo el componente que debe poseer una vía férrea para que opere con normalidad y sobre todo, para este caso en específico, todas las amenazas naturales que se presentan en el tramo a analizar. Esto con el fin de que se tenga una noción del riesgo existente en el tramo en estudio, partiendo de lo acontecido en cada cantón involucrado y que ha sido objeto de análisis por parte de la Comisión Nacional de Emergencias.

El principal problema con el que se cuenta en la ruta entre Turrialba y la Gran Área Metropolitana, es el incremento vehicular respecto a un mantenimiento dimensional en la Ruta Nacional que da acceso a estos sitios. Es decir, las rutas terrestres se mantienen y el uso de estas cada vez es más denso y acelerado. Esto hace que se requiera de alternativas para aminorar los tiempos de traslados en carreteras.

En conversación con personal de INCOFER, una propuesta es aprovechar la salida del GAM de todo el equipo ferroviario a base de combustible, producto del cambio que se pretende realizar a un Tren eléctrico para pasajeros y utilizarlo entre Paraíso y Turrialba; esto aplicado únicamente para el traslado de pasajeros y no carga de productos.

Es de esta forma como el proyecto daría no solo continuidad y conectividad ferroviaria desde la GAM hasta Turrialba, sino que mejoraría las condiciones en carretera en la Ruta 10 y como detalle adicional, reactivaría las comunidades de El Yas, Santiago, Santa Marta, Murcia, Pavas y Florencia; las cuales quedaron en el olvido una vez se dio la salida del ferrocarril al atlántico.

Trabajos similares a este proyecto, corresponden a los elaborados por los Ingenieros:

1. Marco Coto Segura. 2009. "Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección Cartago - Tres Ríos".
2. José Pérez Barboza y Walter Schmidt Chaves. 2012. "Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección Cartago – Paez – Yas".

Estos proyectos corresponden a la rehabilitación de tramos de vía ferroviaria de la provincia de Cartago, lo cual sería la continuidad hasta Turrialba, para que así se tenga la conexión mencionada anteriormente.

Así mismo, estos proyectos emiten sus criterios de rehabilitación, sin embargo para este tramo entre Turrialba y El Yas de Paraíso, se quiere que este estudio, al no contar dentro de sus alcances la ejecución de pruebas de laboratorio, que sea puerta para futuros proyectos de análisis para puentes, estabilidad de taludes y demás obras de contención para la ruta en general. Con el fin de dejar claro esta información, las visitas realizadas cuentan con un levantamiento georeferenciado de todos estos detalles, de forma tal que pueda conocerse la ubicación y el estado de la vía.

Como objetivo general del proyecto se tiene:

- Determinar el estado de la vía férrea en el tramo El Yas – Turrialba (29km aproximadamente) y el costo asociado a su reconstrucción y rehabilitación.

Por su parte, los objetivos específicos son los siguientes:

1. Diagnosticar el estado general de la infraestructura ferroviaria en el tramo en estudio, tomando en cuenta los elementos que lo conforman.
2. Recomendar acciones aplicadas para la rehabilitación de la línea ferroviaria en el tramo El Yas – Turrialba.
3. Presupuestar las mejoras recomendadas y aplicables a la rehabilitación de este tramo de red ferroviaria.

Marco teórico

Situación de Costa Rica antes de M. Keith

El cultivo y beneficio del café se había incrementado espectacularmente desde sus inicios en la Costa Rica independiente. La exportación se realizaba a través del puerto de Puntarenas, donde llegan las carretas que viajan ininterrumpidamente por la carretera que enlazaba Atenas, San Mateo y Esparza.

El costo de embarcar en Puntarenas y hacer la travesía rodeando América del Sur, pasando Cabo de Hornos o El Estrecho de Magallanes, para llegar al Océano Atlántico, resultaba muy gravoso, encareciendo nuestro producto y reduciendo las utilidades. El precio de cada viaje desde Puntarenas hasta Europa, sobrepasaba de los cinco SP (Libras Esterlinas) por tonelada y el producto tardaba casi medio año en tránsito. En cambio, si se embarcaba en algún puerto del Caribe, el costo de transporte sería de unos treinta chelines y tardaría en el mar solamente seis semanas.

Por esa razón, fue idea fija de los costarricenses la construcción de un camino que pusiese en comunicación, breve y barata, los centros poblados y de producción cafetalera, con el Mar del Norte o Caribe.

Varios intentos se hicieron por construirlo, el territorio de la zona costera Caribe, no era conocido, y hubo dudas y vacilaciones sobre la ruta a seguir. En los primeros años el esfuerzo estuvo encaminado a crear la ruta por el Rio Sarapiquí hacia San Juan del Norte. En el gobierno de don Manuel Aguilar, 1838, se contrató un reconocimiento de la salida hacia el este. El señor Enrique Cooper proyectó un camino de Turrialba a Moín y luego a Limón.

Posteriormente, el gobernante Carrillo ordenó que el camino se abriera hasta la Bahía de Moín por el antiguo sendero, pasando por la Laja, Pascua, Reventazón y Pacuare. Se contrató

la construcción con don Joaquín Iglesias, quien emprendió la construcción. La muerte de Iglesias, el terremoto de 1841 y la salida de Carrillo, dieron al traste con este proyecto.

Mientras tanto el cultivo del café continuó aumentando y la necesidad del camino se hizo más urgente. Los gobiernos optaron por la solución más rápida, mejorar el camino a Puntarenas.

El Presidente Jesús Jiménez, retomó el Proyecto del camino al Caribe y trajo ingenieros americanos que estudiaron el trazado, iniciando la Dirección de Obras Públicas su construcción, pero, no obtuvo el éxito deseado por motivos políticos. Sin embargo, ya los tiempos habían cambiado y el transporte terrestre estaba dominado por los ferrocarriles, nueva característica del progreso económico de ese entonces. Por eso el Presidente Jiménez discutió la posibilidad de planear esta opción.

El Gobierno que lo sucedió, encabezado por el Dr. José María Castro, contrató un grupo liderado por John C. Fremont; para la construcción de un Ferrocarril interoceánico de Limón a Caldera. Lamentablemente los empresarios no dieron la respuesta esperada.

El antecedente para la primera obra ferrocarrilera del país lo suscribió el presidente Juan Rafael Mora Porras en noviembre de 1857, cuando firmó el primer contrato ferrocarrilero de la historia de Costa Rica con el empresario inglés Richard Farrer. *“Fue muy triste para don Juanito porque él creía que iba tener un ferrocarril de San José a Puntarenas, pero Farrer solo hizo una línea de Puntarenas a Barranca. Lo más triste de todo es que lo que Farrer puso en funcionamiento fue un pequeño cajón de madera con unas ventanas, colocado sobre unos rieles y tirado por un par de burros”*, explica un historiador y abogado desconocido. Este “burrocarril” solo permaneció un año en funcionamiento, debido al enorme descontento de la población.

Nuevamente el Dr. Jesús Jiménez en el gobierno, contrató la construcción de un ferrocarril mar a mar, con el americano Eduardo Reilly, quien no logró organizar una compañía ni rendir una fianza a satisfacción del Gobierno. En 1870 se declaró la caducidad del contrato. Luego hubo otro intento similar que no llegó a firmarse.

En esa situación se encuentra el país cuando el General Tomás Guardia da su golpe de Estado el 27 de abril de 1870. El problema era

económico, un ferrocarril de más de diez millones de colones para una república que apenas contaba con 150.000 habitantes, era una empresa prematura e improductiva y por lo tanto nadie quería arriesgarse a poner su dinero.

A pesar de ello, la necesidad del ferrocarril movía voluntades, en un mundo en el cual solo existía esa posibilidad de transporte terrestre motorizado. La opción del camino era continuar con las carretas.

El gobierno del General Guardia, un hombre atrevido e irreflexivo, quien se decidió a adoptar un medio diferente y se fue a buscar un empréstito para construir un ferrocarril al Caribe. Primero nombró un delegado en Londres, un agente financiero, un hondureño con experiencia en ese asunto. Luego se realizó un contrato de financiación para la construcción de la vía férrea.

Esta deuda de diez millones de colones, debería ser pagada mediante los recursos del propio gobierno, el cual contaba con rentas anuales que no llegaban a un millón de colones y que no alcanzaba para cubrir los gastos de la administración.

Al mismo tiempo se procuró encontrar al constructor negociando con Henry Meiggs, empresario americano, que había construido con éxito los ferrocarriles en Chile y estaba en ese momento construyendo los ferrocarriles transandinos en Perú.

El 20 de julio de 1871 se firmó en Lima con don Henry Meiggs el contrato de construcción por un millón seiscientos mil libras esterlinas, algo más que la oferta inicial, en razón de que Guardia exigió que su construcción arrancase en Alajuela, en vez de San José. El contrato no obstante lo que se firmó, fue traspasado a Mr. Henry Meiggs Keith, sobrino de Meiggs.

Inicio de la construcción del Ferrocarril

La construcción se inició simultáneamente en Limón y en Alajuela, Henry Meiggs Keith se hizo cargo del tramo de Alajuela a San José y Minor Keith inició la construcción en Limón.

El inicio de la construcción en Alajuela fue el día 8 de octubre de 1871 y en Limón el 15 de noviembre del mismo año. El 30 de diciembre

de 1872, la primera locomotora recorrió la vía entre Alajuela y San José. La locomotora había sido traída completamente armada desde el Puerto de Puntarenas mediante innumerables yuntas de bueyes y un ejército de hombres.



Figura 2. Minor Cooper Keith.

A partir de Limón los peones jamaquinos tenían que abrir la trocha a través de la jungla, con machetes y hachas. Había que derribar a golpe de hacha gigantescos árboles llamados "palencones".

El problema principal era la lluvia que se precipitaba en grandes cantidades. Los campamentos permanecían inundados, abundaban los mosquitos y las enfermedades hacían estragos entre los trabajadores; fiebre amarilla, paludismo, aguas negras y parásitos de todo tipo. La alimentación fue otra de las grandes tareas que debieron ser asumidas. Los barcos traían los alimentos de distintos puertos del Caribe y del Golfo de México. En uno de esos viajes Minor Keith trae plantas de banano a Limón para usar la fruta como alimento de los trabajadores. Posteriormente este acontecimiento cambiaría radicalmente el proyecto inicial del ferrocarril y la economía de la región.

En la segunda mitad del año 1872, ya a los Keith les preocupa la situación financiera del Gobierno y procuran obtener financiamiento propio. Minor se hace de un barco y pone negocios (comisariatos) en varios puertos cercanos. Con los dos buques establecen la empresa *The Central American Steamship Company* basada en New Orleans y

establecieron un servicio regular entre los distintos puertos.

Los barcos fueron usados para solventar el principal problema de la construcción o sea el reclutamiento de trabajadores, quienes fueron traídos de diferentes lugares.

Al terminar 1872 se habían tendido cuatro millas de vía. Tal logro se obtuvo a un costo altísimo de sufrimiento y vidas humanas, ya que las enfermedades y la violencia hicieron estragos entre los trabajadores.

En el año 1873 se trajeron un mayor número de trabajadores, vinieron seiscientos chinos y también mano de obra de Belice, Jamaica y otras islas del Caribe. En junio de 1873 había casi dos mil hombres trabajando. Limón surgió de la nada convirtiéndose en un puerto en crecimiento. El proyecto parecía tomar impulso, pero en ese momento se presentaron problemas financieros que terminaron por paralizarlo.

El empréstito de 1871 había sido un fracaso, de un millón de Libras esterlinas que suscribió el gobierno, la mayor parte quedó como descuentos y comisiones; no se recibió ni la mitad de esa suma. En 1872 se negoció un segundo empréstito, esta operación fue por un valor de dos millones cuatrocientos mil libras. Nuevamente se obtuvo una deuda por el valor original, pero solo se obtuvieron fondos por novecientas mil libras.

La falta de fondos obligó al Gobierno a suspender las obras, el 18 de agosto de 1873 el secretario de obras públicas comunicó a Henry Keith la suspensión de pagos. La situación se fue agravando con el resultado de que el 15 de abril de 1874 el gobierno dio por terminada la relación con Henry Keith.

Los trabajos estuvieron paralizados por más de dos años. En ese momento la construcción del ferrocarril tenía el siguiente avance:

1. Se terminó la línea de Limón a Matina, con 21.5 millas de longitud, se habían hecho más de 30 millas de terraplén.
2. Quedó finalizado el trayecto de Alajuela a Cartago, que era de 27 millas.
3. Prestaban servicio siete locomotoras y 118 vagones.
4. Se habían terminado las estaciones de Alajuela, Heredia y Cartago.
5. Se usaba el telégrafo en las 35 millas de Pacuare a Limón y en 44 millas de Alajuela a Santiago (Paraíso).

Un año más tarde, el Gobierno firma otro contrato con Meyers and Douglas para extender la vía a Pacuare, cerca de Siquirres.

Henry Meiggs Keith enfermó de fiebres y murió un tiempo después en New York, el 14 de julio de 1875. Años después también murieron en el Caribe costarricense otros dos hermanos Keith, quienes habían venido al país a trabajar con su hermano.

Ya al señor Minor Keith se le había ocurrido que el cultivo del banano podría ser la solución a la ocupación continua del ferrocarril durante todo el año. Empezó a cultivar banano y a exportarlo a los Estados Unidos con buen éxito, pues se vendió a precio muy satisfactorio. Al mismo tiempo continuó con sus negocios de navegación y comisariatos en las costas del Caribe.

En el verano de 1879 Guardia reúne a su gente, la plana mayor de su gobierno, para una gira en la cual invita a Minor Keith, para reanudar el entusiasmo de continuar la construcción del ferrocarril. Oyendo los consejos de Keith, el gobierno toma la decisión de cambiar el trazado y en lugar de la vía que conectaría Cartago con Limón, por la de conectar Siquirres al noroeste hasta el Río Sucio y desde ahí, por las llanuras de Santa Clara, hacia el sur al Alto de la Palma, luego a la Hondura y luego a San José. Keith ya estaba pensando en tener la ruta que le era favorable para el cultivo del banano y su transportación.

El 14 de febrero se firmó el primer contrato con Minor Keith para la construcción de un tramo del ferrocarril, del Río Pacuare al Río Reventazón. En cuatro meses se terminó este tramo, cuyo costo se pactó en 50.000 colones.

El 8 de septiembre se firmó el segundo contrato para la construcción del tramo Río Reventazón al Río Sucio, en la cual se incluían los puentes y su costo era de 1.6 millones de colones. Esta vía férrea fue inaugurada y puesta en funcionamiento en el año 1882. Este mismo año se suscribió un contrato para concederle a Keith la explotación del ferrocarril entre Río Sucio y Limón, por cinco años.

El gobierno había financiado un camino empedrado de Río Sucio a San José que construyó Keith con la ayuda de subcontratistas en algunos tramos y que fue inaugurado por Guardia, que lo denominó el **Camino de Carrillo**.

Keith fue enviado a Londres con el propósito de negociar el pago de la deuda y la

terminación del ferrocarril. A su regreso negoció Keith con Bernardo Soto y sus conversaciones dieron origen a un nuevo contrato.

El 21 de abril de 1884 dicho contrato fue aprobado (Contrato Soto-Keith) autorizando a este a hacer los arreglos de la deuda inglesa y a levantar el capital necesario para concluir la vía férrea.

Una vez más se cambió el trayecto volviendo al anterior, o sea partiendo de las inmediaciones del Reventazón, desde el sitio cercano a Siquirres que se denominó la Junta, y seguiría la cuenca del Río hasta Cartago.

El Gobierno cedería a la compañía, por el término de 99 años, en plena propiedad, los ferrocarriles terminados y el que se iba a construir.

También según la cláusula XXII, el gobierno concedió ochocientos mil acres (325.000 hectáreas) de las tierras situadas a ambos lados de la línea del ferrocarril o en otros lugares del país, con todas las riquezas naturales que contuvieran, además de la trocha para la construcción del ferrocarril y los terrenos para los edificios necesarios y lotes para los muelles, bodegas y estaciones. Como se puede observar, se dio finalmente lo que don Tomás Guardia trataba de evitar. Al General, la muerte le había librado de "beber este trago tan amargo". El 6 de julio de 1882 había muerto don Tomás.

En junio de 1885, Keith firmó en Londres en su carácter de agente especial y representante del Gobierno de Costa Rica, el arreglo con los tenedores de bonos de la deuda inglesa, originada en los empréstitos de 1871 y 1872. Se emitieron nuevos títulos por dos millones de libras esterlinas, y con estos se hizo una reconversión de la deuda.

El 22 de abril de 1886 se formó la empresa Costa Rica Railway Company Limited, con domicilio en Inglaterra y un capital de 1.8 millones de libras esterlinas. El 23 de abril de 1887, el gobierno entregó el ferrocarril a la compañía. Inmediatamente se reactivó la construcción. El Puerto de Limón también fue reconstruido, se hicieron grandes obras de drenaje, de alcantarillado y de suministro de agua potable.

Los primeros funcionarios contratados por la empresa, que llegaron en septiembre y octubre de 1871, desplegaron una gran actividad para encontrar la mejor ruta. El trazado de la línea por las ciudades de la Meseta Central no fue, según parece, un problema difícil, puesto que

ya para el 8 de octubre de 1871 se habían comenzado los trabajos en Alajuela, y el 9 de febrero de 1872, llegaba la primera locomotora a Costa Rica. Pero fuera de la Meseta Central, o sea, de Cartago hacia el este, el desconocimiento del terreno provocó numerosas dificultades.

Solo a partir de abril de 1872 se establece una división geográfica fija de la obra. En esta se hacían cuatro divisiones:

- a. La primera, nacía en Limón y llegaba hasta donde la línea cruzaría el Río Pacuare
- b. La segunda, del Río Pacuare hasta la Angostura.
- c. La tercera abarcaba de la Angostura a Cartago.
- d. Y por último, la cuarta cubría la Meseta Central de Cartago a Alajuela.

Debido al desarrollo agrícola costarricense del momento y a las demandas de operarios en la construcción de la cuarta división, hubo que recurrir a la mano de obra extranjera, sobre todo norteamericanos, europeos y chinos.

La tercera construcción no se inició hasta febrero de 1873.

El trabajo diario de los obreros que vivían en los campamentos era diverso. En la tercera división, la mayor parte de las actividades laborales de los obreros especializados destacó en la construcción de puentes. Fue necesario contratar varios canteros encargados de proporcionar a los albañiles y peones que les ayudaban, los bloques de granito necesarios para una buena cimentación de los puentes. La mayoría de los peones trabajaba en la nivelación de la línea férrea. Debido al accidentado relieve, la construcción del ferrocarril exigió el empleo de mano de obra relativamente muy numerosa, sobre todo si se tiene en cuenta la débil densidad de la población costarricense. Si en septiembre de 1873 trabajaban en la tercera división unos 2.000 empleados, se puede deducir que el número de personas que trabajaba en la construcción de solo 13 millas de ferrocarril era muy elevado (aproximadamente 154 por milla).

Por fin, la construcción del ferrocarril llegó a su término, la última pieza de la vía se colocó el 6 de diciembre de 1890 y ese día fue puesto al servicio del público.

La labor para completar ciento treinta millas había durado 19 años, y algunos dicen que resultó uno de los ferrocarriles más caros del

mundo por el costo de cada milla de construcción. La obra en la zona atlántica fue muy complicada, primero por ser zona selvática y que provocó la muerte de gran cantidad de trabajadores: jamaquinos, italianos y chinos principalmente; que se contagiaron de enfermedades como la fiebre amarilla, paludismo, parásitos, mosquitos y culebras entre otras. El acceso a los campamentos para llevar los alimentos y las herramientas utilizadas, como machetes y hachas por tierra desde el Valle Central era bastante difícil, por lo que optaron por traerlos en barco de puertos caribeños y del Golfo de México. Así, resultó una de las obras que ha tenido un alto costo en vidas humanas.

El ferrocarril después de su construcción

En 1901, la United Fruit Company consigue la autorización del Gobierno para conceder los derechos a una compañía subsidiaria y recién creada, La Northern Railway Company, con el propósito de transportar ellos mismos los cargamentos de banano. Ya para el año de 1905 la Costa Rica Railway Company y la Northern Railway Company, se unen y consolidan el ferrocarril para el transporte en general y la comercialización del banano.

Por espacio de 82 años, esta empresa operó el ferrocarril al Atlántico, 17 años antes de finalizar el contrato, en una negociación con el Gobierno de don José Figueres Ferrer, así el 21 de marzo de 1972, pasa a manos del Estado costarricense y es operado por La Junta de Administración Portuaria de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA), y ya desde ese período es que entró en crisis financiera y operativa. Cinco años después por medio del decreto N° 6686 del 12 de enero de 1977, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes tuvo que intervenir los ferrocarriles del Atlántico y Pacífico, y darle su administración a Ferrocarriles de Costa Rica Sociedad Anónima, FECOSA, subsidiaria de CODESA.

Sin embargo, estas dos organizaciones continúan con su propia estructura organizacional y con sindicatos que no se ponen de acuerdo. Así las cosas, esta intervención se realizó sin ninguna planificación y sin un proyecto, con objetivos claros que lo guiara al futuro. La

Institución fue abandonada por los distintos Gobiernos y no se le brindaron los recursos necesarios.

En 1985, los trabajadores ferrocarrileros se declaran en huelga, y solicitan la intervención del Gobierno, y es así como el 19 de octubre de 1985, la Asamblea Legislativa aprueba la Ley N° 7001, que crea el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER).

Sin embargo, con la creación del INCOFER, los cambios esperados fueron pocos, la crisis económica, financiera, de infraestructura y del equipo tractivo y rodante, continuaron. En 1991 en el Gobierno de don Rafael Ángel Calderón Fournier, la institución se vio obligada a despedir 697 trabajadores y se inicia una progresiva suspensión de servicio de carga y pasajeros.

El transporte de ferrocarril San José – Limón fue suspendido ese mismo año, debido a los continuos derrumbes producidos por el río Reventazón y por el fuerte terremoto que afectó gran parte del trayecto, e igual suerte corrió el de pasajeros San José – Puntarenas, cuyas razones se sustentaban en las pérdidas generadas.

El 27 de junio de 1995, en el Gobierno de don José María Figueres Olsen, el Concejo de Gobierno tomó la decisión de suspender operaciones, obligado por la crisis financiera y operativa acumulada por años, mostrando pérdidas diarias de unos ₡4.5 millones, de abril de 1990 a abril de 1995, era mayor a los 7 mil millones de colones; además de la condición de los puentes, parte del equipo de tracción y rodante y ciertos tramos de vía. Otro factor determinante lo fue la problemática de las distancias cortas del recorrido, una vía angosta y con una carga mayoritariamente en un solo sentido, lo cual incrementaba los costos de operación.

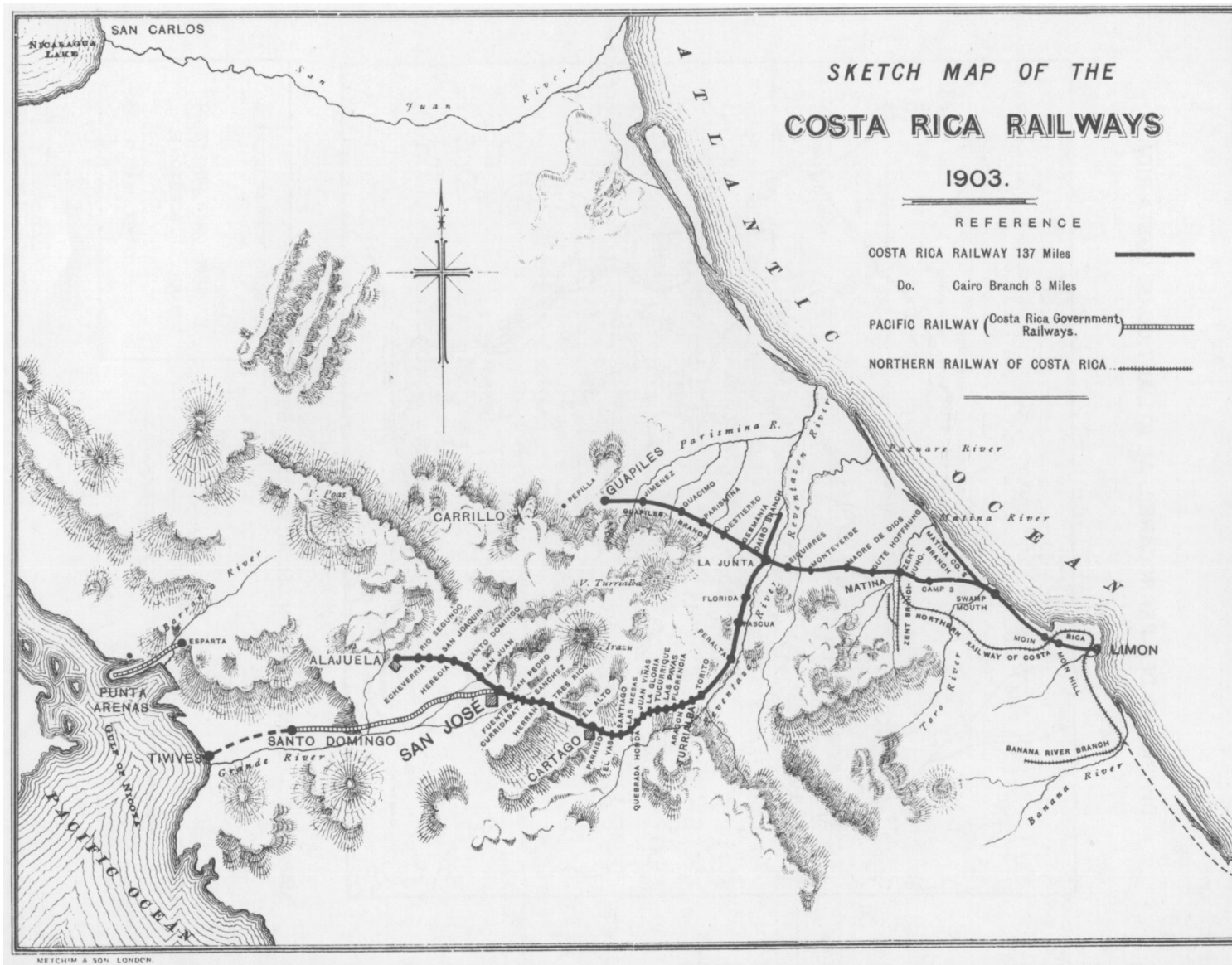
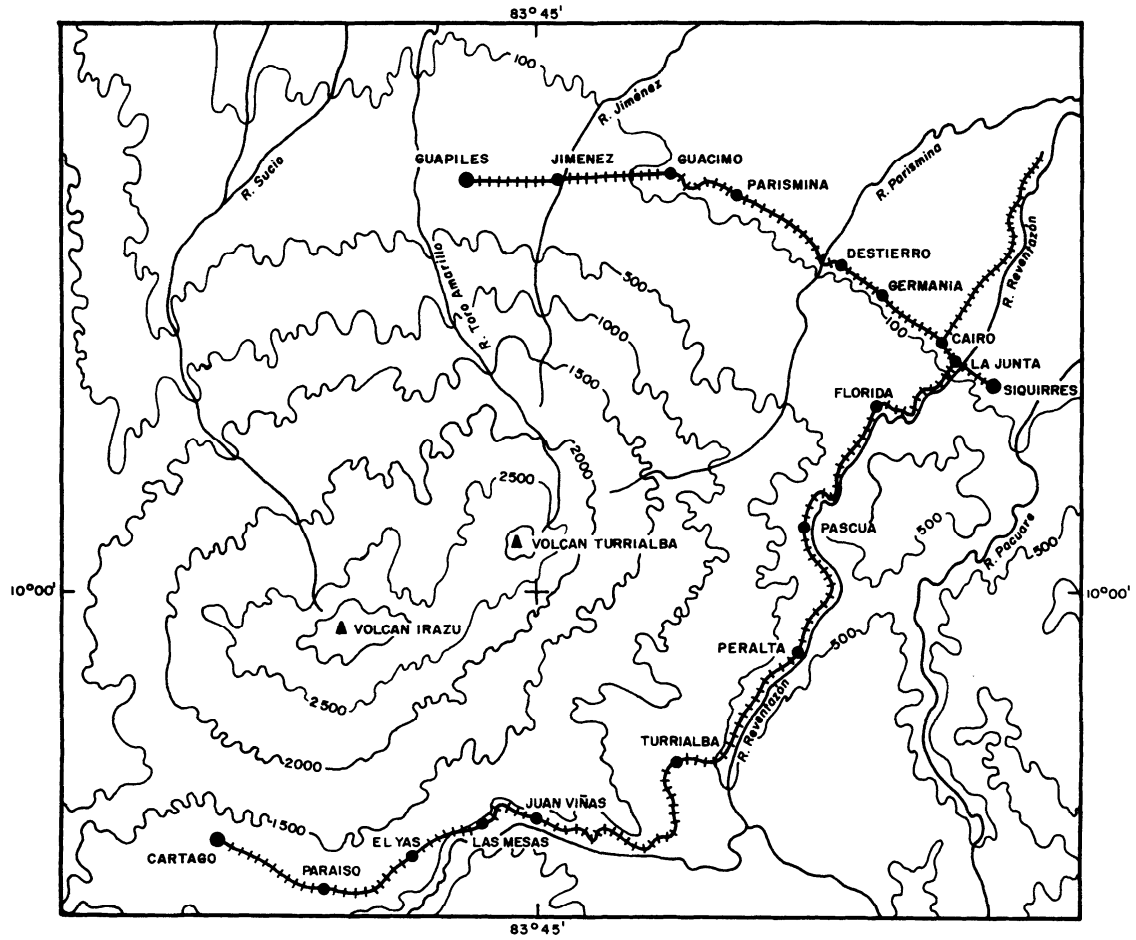
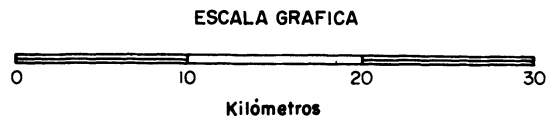


Figura 3. Mapa general del trazo del ferrocarril en Costa Rica.

DIVISIONES DEL FERROCARRIL AL ATLANTICO DE COSTA RICA



MAPA N° 3 : SEGUNDA DIVISION DEL ATLANTICO (1886)



ELABORO: RODRIGO QUESADA
MONGE

DISEÑO Y
REVISION: OMAR ARRIETA CH.

DIBUJO: F. HODGSON F.

FUENTE: VEASE EL TEXTO

Figura 4. Segunda y tercera división geográfica del tren en Costa Rica. Sector Angostura – Cartago.

Componentes de la Vía Férrea

Está constituida por la infraestructura (plataforma) y la superestructura (conformada por el riel, los durmientes, fijaciones y el balasto).

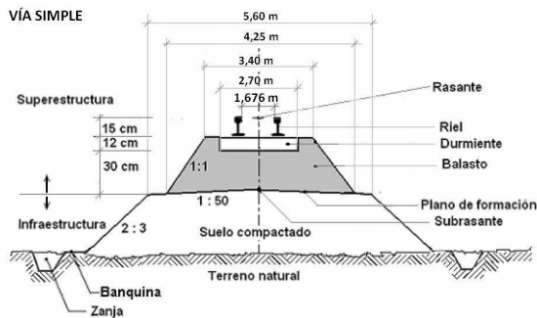


Figura 5. Componentes de la Vía.

Plataforma

Es el elemento de la vía que soporta los esfuerzos transmitidos por ella a través del balasto. Se encuentra por debajo del balasto y encima del terreno por donde transcurre la vía.

Sus funciones son las siguientes:

1. Servir de apoyo a la estructura de la vía.
2. Evitar las deformaciones de esta.

El material del que suele estar compuesta la plataforma son suelos compactados o arenas.

Algunos de los factores que influyen en la plataforma, son los flujos de agua superficiales y subterráneos, además de un diseño inadecuado de la línea.

En el caso de este proyecto, como se estudia una vía que ya existe, no se analiza el estado o la calidad de la plataforma mas no le resta la vital importancia a la funcionalidad.

Balasto

El balasto de piedra triturada, es la capa de material que se coloca sobre el plano de formación en espesor de 10 a 30 cm y debajo de los durmientes, a fin de proporcionar un buen apoyo a la estructura de vía.

Los requisitos exigidos a un buen balasto de piedra, de óptima granulometría y apto para soportar cargas verticales que superan las 20ton/eje, son los siguientes:

1. Transmitir lo más homogéneas posible las presiones de los durmientes al balasto.
2. Obtener un buen comportamiento de los esfuerzos laterales y longitudinales.
3. Permitir una fácil corrección de los parámetros geométricos de la vía.
4. Permitir una buena evacuación del agua de lluvia para mantener la capacidad portante de la plataforma.
5. Garantizar la elasticidad de la vía, con el fin de reducir las fuerzas dinámicas y transmitir las lo más atenuadas posible al plano de formación.

Para lograr lo antes mencionado, es necesario contar con una granulometría del balasto correcta según normativa vigente (evitar finos que lo contaminan rápidamente), un buen diseño del espesor del balasto, calidad óptima de la roca que se eligió para procesar el triturado del balasto y un buen comportamiento para la compactación.

La colocación de una capa de piedra balasto requiere que el plano de formación esté perfectamente construido y con las pendientes o inclinación 3 a 4 cm por metro desde el eje hacia el exterior, con el fin de facilitar el libre escurrimiento del agua.

Se están usando con mucho éxito en renovaciones de vía y/u obras nuevas, la colocación de un manto de geotextil, para evitar que los finos provenientes del plano de formación no contaminen la piedra partida.

Con respecto a la contaminación que se da en el balasto, se tienen los siguientes factores que lo generan:

1. Aportes de finos tras su instalación.
2. Aportes desde el exterior (pérdida de mercadería, basuras, finos de minerales, acumulación de polvos del ambiente).
3. Materiales finos provenientes desde la plataforma.
4. El fino que se produce por la presencia del tráfico (desgaste y fracturas de partículas).
5. Abrasión durante el bateo (mecanización pesada).

Según estudios realizados por organismos internacionales, el balasto comienza a perder sus bondades cuando el porcentaje de finos es del orden del 30 % y cuando se supera el 40 % se debe proceder a su pronta intervención.

Lo antes mencionado, nos indica que el balasto debe conservarse lo más limpio posible, la contaminación no es deseable y cuando se inicia la colmatación se van perdiendo las propiedades mencionadas anteriormente.

Durmientes o traviesas

El durmiente es uno de los componentes fundamentales en la estructura de vía. Estos pueden ser de madera dura, de hormigón o de acero. En este país se han generalizado los contruidos de madera dura y se ha estado incorporando el uso de concreto para este objetivo.

El durmiente de madera dura es una pieza de sección rectangular, posee la forma de un paralelepípedo (es decir que sus caras sean planas y paralelas entre sí, ídem sus costados), las aristas deben ser rectas y su sección rectangular.

La madera más apta para la construcción de durmientes es el quebracho colorado, madera que no necesita ningún tratamiento ante los agentes atmosféricos (lluvia, humedad, calor, fríos, etc.) por ser tánica. Además posee propiedades mecánicas que la hacen la de mejor comportamiento para su uso como durmiente y además, su vida útil supera ampliamente a otras maderas usadas en el mundo.

Los durmientes tienen como funciones primordiales las siguientes:

1. Mantener a los rieles de la vía con la separación establecida (trocha).
2. Distribución de las cargas recibidas por ambos rieles al balasto (esfuerzos verticales, esfuerzos inerciales horizontales y esfuerzos transversales originados por los rieles).
3. No ceder ni deformarse ante los esfuerzos recibidos.
4. Permitir amortiguación ante los esfuerzos dinámicos recibidos.
5. Disminuir el impacto acústico.
6. Soportar las fijaciones sin dañar el entorno de la madera y que estas puedan desempeñarse ante la retención de los

esfuerzos longitudinales y laterales a que son exigidos los rieles.

Como parte de las obras de mantenimiento para las vías ferroviarias, se debe tomar en cuenta el reemplazo de durmientes, el cual tiene por finalidad mejorar la estructura de vía, la estabilidad y asegurar la trocha.

Cualquier método de reemplazo, sea manual o con máquinas insertadoras de durmientes, debe permitir mantener los parámetros geométricos de la vía con una mejora de la calidad, por lo que se requiere que sea perfectamente calzado y distribuido en función de la densidad N°/km o N°/tramo de riel, tanto en el tramo como en el sector de juntas, donde se tiene una distribución más cercana de los durmientes.

Rieles

Para el ferrocarril, el riel cumple simultáneamente las funciones de camino de rodadura, de elemento portante y guía. Este está sometido tanto a cargas estáticas como dinámicas, en operación se transportan cargas de hasta 35ton/eje.

En función de la topografía a la que se emplazó el ferrocarril, este puede estar exigido y/o colocado en radios reducidos y sufren por lo tanto altas cargas laterales por el empuje de las ruedas.

Para que un riel pueda soportar estas múltiples funciones en operación, deben cumplir con las siguientes exigencias:

1. Alta resistencia al desgaste.
2. Alta resistencia a la compresión.
3. Alta resistencia a la fatiga.
4. Alto límite elástico, una alta resistencia a la tracción y elevada dureza.
5. Alta resistencia a la rotura.
6. Poder ser soldado.
7. Alto grado de pureza de los componentes.
8. Buena calidad de la banda de rodadura.

El perfil de riel utilizado es el Vignole, que está constituido por tres partes, que son:

Hongo o cabeza, es la que se utiliza como superficie de rodamiento y está expuesta a las mayores cargas y sufre el desgaste. Debe tener un alto y ancho suficiente, dependiendo del calibre de cada riel.

Alma, es el elemento de espesor reducido que tiene la función de unir el hongo con el patín,

asegurando la transmisión de las cargas desde el hongo al patín.

Patín, constituye la base del riel y su parte inferior es plana, lo que permite su apoyo a los durmientes y debe tener un ancho suficiente, con el fin de distribuir la carga sobre los durmientes.

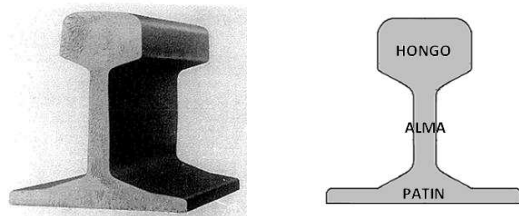


Figura 6. Perfil de un riel convencional

El reparto de estas tres partes en el riel es aproximadamente el siguiente:

Hongo o cabeza:	40 %
Alma:	22 %
Patín:	38 %

Los rieles se fabrican de acero y a título informativo la composición química de sus componentes es:

Carbono de 0,37 a 0,73 %. Con él aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, pero también influye en la fragilidad.

Manganeso de 0,86 a 1,74 %. Tiene influencia en la dureza, la resistencia al desgaste y a la tenacidad (no frágil), pero disminuye la soldabilidad.

Silicio 0,30 %. Aumenta la dureza, la resistencia al desgaste y facilita la laminación del riel.

Azufre y Fósforo menos de 0,05 %. No son deseables porque dan fragilidad, pero es muy costoso su eliminación.

A través de las cargas y de la circulación de los trenes, los rieles se desgastan en vertical y lateralmente por el contacto de la pestaña de las ruedas. El mayor desgaste lateral de los rieles se produce en el riel exterior de las curvas. En vía recta por deficiencias en la alineación y nivelación se dan los desgastes laterales.

Los desgastes de los rieles en las juntas dependen fundamentalmente del estado de estas y del balasto.

Se define como el límite de desgaste en función del área consumida del hongo del riel, tanto

en vertical como en lateral, este está en el orden de los 25 a 30 % de su sección.

Los límites de desgaste también pueden ser determinados a través de analizar el módulo resistente del hongo, considerando los aspectos de carga por eje, volumen transportado, densidad de durmientes que posee la vía y la velocidad del corredor.

Como desgaste vertical máximo, se considera que en vía principal, la pestaña más alta no toque y/o desgaste las eclisas de las juntas. Está en el orden de los 8 a 10 mm según el perfil del riel.

La vida útil del riel es determinada básicamente por el límite de desgaste que ha experimentado a través del cálculo de su módulo resistente mínimo en función de su perfil, a su vez el desgaste del riel se da en función de la carga y clase de vía. Por lo tanto, la vida útil del riel será variable conforme a las condiciones de tráfico y clase de vía a la cual el riel estará sujeto a sus características o perfil.

Fijaciones

La fijación es el principal material que se usa para la sujeción de los rieles a los durmientes. Las principales funciones que deben ser desempeñadas por las fijaciones para rieles es la siguiente:

1. Fijar los rieles a los durmientes.
2. Asegurar la invariabilidad de la trocha.
3. Facilitar la transferencia a la infraestructura de la vía (plataforma) de los esfuerzos estáticos y dinámicos ejercidos por el material rodante sobre la estructura de la vía (paquete ferroviario).
4. Poseer resistencia mecánica y elasticidad constante a lo largo de la vida útil de la fijación.
5. Contribuir al buen aislamiento eléctrico entre ambos rieles.
6. Constar del menor número de piezas, lo que facilitará su fabricación, colocación y conservación.
7. Tener bajo costo.
8. Vida útil lo más prolongada posible.



Figura 7. Fijaciones a durmientes de madera.

Juntas

La unión de dos rieles entre sí se denomina junta, se realiza mediante dos piezas metálicas, que sirven de unión, llamadas eclisas. Corresponde al punto más débil de la vía, por esa razón merece una atención especial.

Se denomina cala o luz a la pequeña separación que queda entre los dos rieles.

Las funciones que deben desempeñar las juntas son las siguientes:

1. Facilitar la dilatación del riel ante las variaciones de la temperatura.
2. Que los dos rieles se comporten como una viga continua.
3. Presenten una resistencia a la deformación, lo más idéntica posible a la de los rieles.
4. Que estén impedidos los movimientos verticales o laterales de los extremos de los rieles (uno con respecto al otro), permitiendo el movimiento longitudinal (debido a la dilatación por efectos térmicos), por tal razón el agujero del riel debe ser de mayor diámetro que el bulón de la eclisa.

Las condiciones de trabajos de las juntas:

Debido a los efectos dinámicos, son los puntos más débiles de la vía. La causa es que la rigidez de la vía en esa zona es discontinua, porque se produce una variación del momento de inercia disponible.

Cuando una rueda llega a las proximidades de una junta, el extremo del riel

tiende a doblarse (viga en voladizo), provocando un impacto al paso de la rueda.

Tipos de juntas:

1. Suspendidas (Figura 8)
2. Apoyadas (Figura 9)
3. Semisuspendidas (Figura 9)

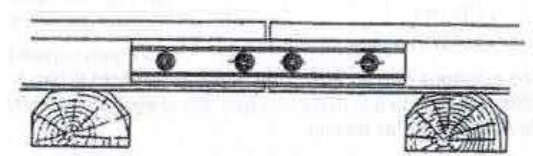


Figura 8. Junta Suspendida

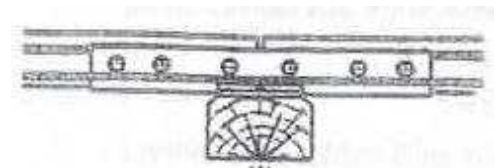


Figura 9. Junta Apoyada

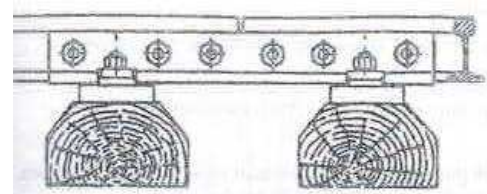


Figura 10. Junta Semisuspendida

Bulones y arandelas

Los bulones son tornillos de cuerpo cilíndrico con un fileteado o rosca en su parte extrema o punta, con cabezas de diferentes formas (las actuales son cuadradas), que son usados para asegurar o apretar en forma conjunta con la tuerca a los dos componentes de la junta.

La vibración de los rieles durante el paso de los trenes hace que las tuercas de los bulones se aflojen y se destornillen por sí mismas. Para evitar que esto suceda, se usan las arandelas elásticas tipo grower. La arandela elástica es un elemento en forma de muelle (resorte) que tiene la función de impedir que el bulón se afloje.

Anclas

El ancla es un elemento que tiene la finalidad de impedir el corrimiento de los rieles, por efecto de la circulación del material rodante.

Las anclas se colocan junto a los durmientes para que los rieles transmitan las fuerzas que producen a causa de su corrimiento directamente a estos elementos. Su objetivo es tratar de sujetar el riel al durmiente cuando las fijaciones no logran hacerlo y permitiendo al balasto efectuar la correcta sujeción.

El desplazamiento longitudinal de los rieles con relación a los durmientes, se debe a la acción de los esfuerzos longitudinales creados por material rodante y por la variación de las temperaturas de los rieles. Si las anclas muestran tendencia de empujar a los durmientes y amontonar el balasto desplazándolo, nos está indicando que no hay una cantidad suficiente de anclas distribuidas en el tramo de vía.

En vías con fijaciones rígidas (clavo gancho, tirafondos) y en vías con fijaciones elásticas (que no tienen suficiente apriete hacia el patín del riel), es necesario la colocación de anclas.

Existen distintos diseños de anclas, tales como las siguientes:

1. Las anclas tipo V
2. Las anclas tipo fair o T
3. Las anclas de doble cierre o tipo U

Se debe respetar la densidad a colocar en el kilómetro de vía y analizar si estas cantidades cumplen con la finalidad de frenar el corrimiento.

Una manera de saber si la cantidad de anclas es insuficiente, es colocando testigos y/u observar si hay durmientes que empujan el balasto.

Geometría de la vía

Trocha

Es una separación constante entre los dos rieles de la vía, esta separación recibe el nombre de ancho de vía o trocha, es el parámetro geométrico que más caracteriza a un ferrocarril. La trocha se mide a 14 mm por debajo del plano

de rodadura de ambos rieles y en forma perpendicular al eje de la vía.

Elementos que definen la geometría de la vía

La configuración del trazado de una línea ferroviaria se basa en los siguientes dos aspectos fundamentales:

1. Alineaciones en planta: rectas y curvas.
2. Altimetría: rampas y pendientes, alineación en alzada.

Alineaciones en rectas

Son aquellas que en el plano horizontal se presentan como una recta, este tipo de alineación es el ideal para cualquier trazado ferroviario. Es la distancia más corta entre dos puntos consecutivos.

Alineaciones en curvas

No es posible realizar los trazados de una línea ferroviaria, siguiendo rectas indicadas como ideales, es preciso incorporar curvas entre tramos rectos, con el fin de evitar obstáculos y obtener rampas menos pronunciadas, aunque más largas.

En principio y desde el punto de vista del trazado, las curvas pueden ser simples y curvas compuestas y la determinación puede hacerse

Por el radio, medido en metro.

Por el ángulo al centro que forman las tangentes.

Desarrollo.

Longitud de tangentes.

Con estos valores se puede trazar la curva y queda definida.

1. Curva simple

Se denomina curva simple o sencilla a la que tiene un único valor de radio a lo largo de todo su desarrollo, son las más comunes y las que más se utilizan en los diseños de trazados ferroviarios.

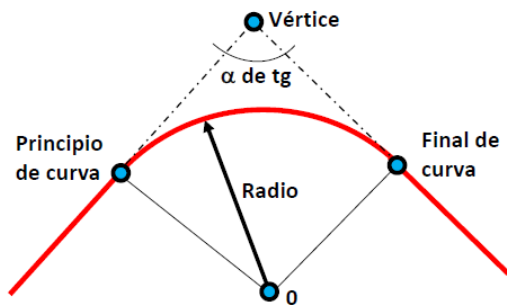


Figura 11. Curva Simple

2. Curva compuesta

Una curva compuesta en el mismo sentido o curva de radio múltiple, está constituida por una sucesión de curvas cuyas curvaturas son diferentes pero del mismo signo, con puntos de tangencias comunes.

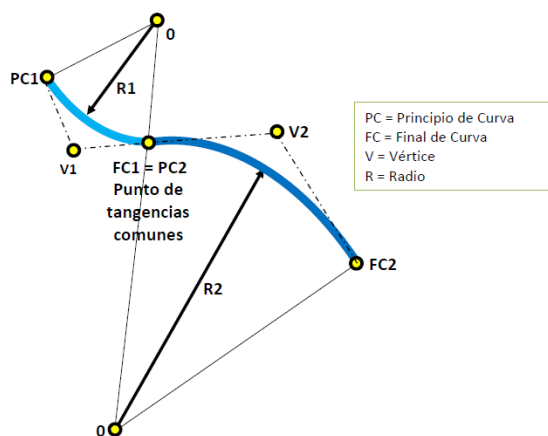
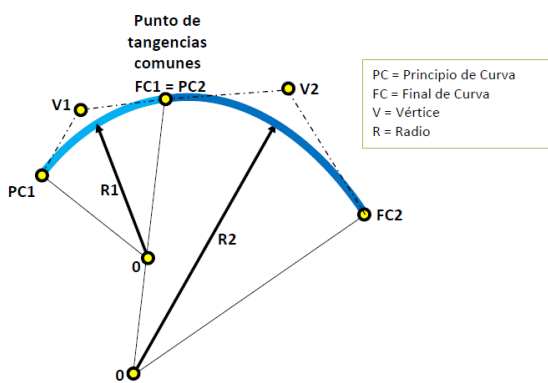


Figura 12. Curvas Compuesta

Altimetría, rampas y pendientes.

El trazado ideal de un ferrocarril sería en donde su desarrollo se realice en horizontal, este objetivo es inalcanzable, el trazado debe adaptarse al terreno, por lo tanto en la práctica las alineaciones con rampas y pendientes también están constituidas por sucesión de rectas y curvas.

Las alineaciones rectas en alzada están caracterizadas por un perfil, por su longitud y su inclinación de su plano tangente en cada punto. El signo de esa inclinación depende del sentido de la circulación, denominándose rampas a los tramos que se gana en altura y pendientes en aquellos otros sectores que se pierde altura.

Las alineaciones en recta donde se presentan desniveles (rampas y pendientes), surge como necesidad de enlazar rasantes de pendientes diferentes y nacen las curvas verticales. Estas, pueden ser convexas cuando se enlaza rampa con pendiente y curvas cóncavas cuando se enlaza pendientes de distintos gradientes y pendiente con horizontal.

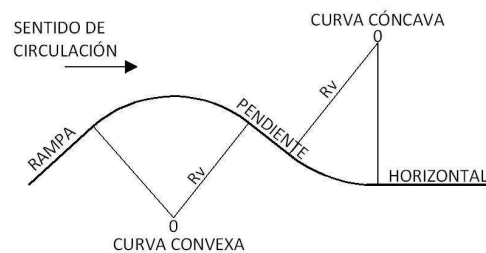


Figura 13. Altimetría

Influencia de la función de la vía en sus características geométricas

Alineación en planta

Esta debe adaptarse a la circulación del material rodante, adoptando el peralte más apropiado para cada curva, al igual que el radio y las curvas de enlace o de transición, los sobranchos que correspondan cuando el radio así lo justifique.

Peralte

Se denomina peralte a la diferencia de cota que existe entre ambos rieles de la vía en curva. Se lo consigue mediante una elevación gradual del riel exterior en relación con el interior, manteniendo a este al mismo nivel que la recta.

Las principales misiones del peralte son:

1. Producir una mejor distribución de las cargas en ambos rieles.
2. Reducir la degradación y desgaste de los rieles y del material rodante.
3. Compensar parcialmente o totalmente el efecto de la fuerza centrífuga.
4. Proporcionar confort a los pasajeros.

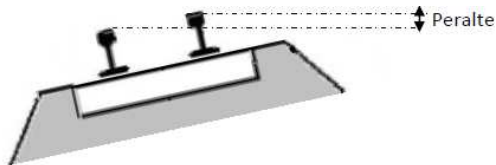


Figura 14. Peralte

Curvas de transición

Es necesaria una continuidad en la curvatura de los rieles en el plano vertical, esta no debe ser brusca, por tal razón se incorporan a las curvas estas transiciones. Es introducir entre la recta y la curva circular una curva cuyo radio disminuya gradualmente de infinito en la recta hasta el valor máximo en el inicio de la curva circular, también tiene el efecto de variar la fuerza centrífuga.

En la curva de transición también el peralte varía en función de los distintos radios que esta va adoptando.

Obviamente que esta curva de transición tiene una longitud que cuando más larga es se tiene una mejor inscripción del material rodante y mejor compensación de la fuerza centrífuga.

Sobreechanco de la trocha en vía curva

Para una mejor circulación del material rodante por las curvas de radios reducidos, se recurre dotar a la curva de un sobreechanco que debe ser ganado durante la curva de transición, de tal forma que en el punto de tangencia entre la curva circular y de transición, se alcance el valor máximo, a razón de 1mm por metro.

Defectos en elementos

Para determinar cuáles son los defectos físicos más conocidos en los rieles, se utilizó el Catálogo de defectos en los carriles, según la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (1979).

Los carriles pueden presentar en la vía los siguientes defectos:

1. Carril roto: es todo carril que ha sido roto en dos o más pedazos; así mismo aquel del que se ha desprendido un trozo de metal, provocando sobre la superficie de herradura una laguna de más de 50 mm de longitud y 10 mm de profundidad.
2. Carril con fisura: se presenta en algún punto de la longitud y cualesquiera que sea la parte afectada del perfil, una o varias soluciones de continuidad, de orientación cualquiera, visible o no, cuyo aumento puede provocar una ruptura en mayor o menos plazo.
3. Carril averiado: se entiende por carril averiado todo carril que no es ninguno de los dos anteriores y presenta otros defectos generalmente en la superficie.

Estos pueden estar situados en los extremos que es la parte del carril ocupada por las eclisas o uniones en plena barra, lo cual comprende todas las partes del carril entre los extremos y en las zonas de soldadura que se extiende 2.5 cm a uno y otro lado del eje de la soldadura. Todo defecto interno que ocurra en esta zona se clasifica como de soldadura.

Defectos en los extremos del riel

Aplastamiento:

Características y aspecto: defecto imputable del uso, se observa un hundimiento de la superficie de rodadura y un ensanchamiento de esta. El metal se contrae lateralmente y a veces en el extremo. En este último, se puede formar una rebaba con tendencia a separarse del carril.

Medio de detección: Observación visual

Recomendaciones: Observación del carril eventualmente amolado de las rebabas, reparación por recargue.

Defectos en plena barra

Desgaste vertical anormal:

Características y aspectos: defecto imputable del uso, el desgaste vertical se produce por las cargas del material móvil y progresa en función del tráfico que soporta. No constituye propiamente un defecto de carril; sin embargo, un desgaste vertical anormal puede producirse en ciertos carriles. Su importancia sobrepasa en este caso el desgaste comprobado en las mismas condiciones de los carriles vecinos.

Este puede provocar una ruptura por debilitamiento del perfil.

Medio de detección: Observación visual y medida del desgaste.

Recomendaciones: Retirada del carril afectado en el marco de trabajos organizados. Retirar lo antes posible el carril, si llega a romperse.

Escamadura

Desfibrado de la superficie de rodadura y borde activo (Shelling).

Características y aspecto: los carriles presentan en principio manchas negras alargadas, irregularmente separadas sobre la superficie de rodadura donde concuerda con el borde activo de la cabeza del carril.

Estas manchas son los primeros síntomas de una desconexión subyacente del metal, que después de un periodo de incubación se traduce progresivamente en rebabas, hendiduras y finalmente en descamaduras, pudiendo alcanzar dimensiones importantes.

En este estado de evolución, las variaciones de tensión del metal bajo el efecto de las circulaciones suponen conjuntamente disminuciones locales de la superficie de rodadura.

El desfibrado del "shelling" afecta generalmente los carriles del hilo alto de las curvas, donde el desgaste lateral ha sido combatido por engrase.

Controlar si este defecto no viene acompañado por una fisura transversal progresiva.

Medio de detección: Observación visual

Recomendaciones: Observación del carril y retirada de los carriles afectados por defectos importantes nocivos para el mantenimiento de la vía.

Aplastamiento

Características y aspectos: El metal de la superficie de rodadura está aplastado lateralmente en una longitud considerable. La cara lateral exterior del carril y de la superficie de rodadura, toma una forma tipo "lágrima". Se observa entonces la formación de una rebaba, pudiendo prolongarse sobre toda la longitud del carril. Esta tiende a deshilacharse y separarse progresivamente de la cabeza del carril. Este defecto aparece principalmente en el riel debajo de las curvas de radio pequeño.

Medio de detección: Observación visual

Recomendaciones: Observación del carril.

Corrosión

Características y aspectos: Defecto imputable al uso. Una corrosión importante del patín puede producirse en casos particulares bajo el efecto de componentes químicos del aire o agua, principalmente en algunos túneles o paso a nivel.

Se desprenden progresivamente escamas de herrumbre del patín, cuyo grosor disminuye constantemente.

Esta corrosión del patín puede provocar una ruptura del carril por adelgazamiento del perfil. Otro tipo de rotura tiene su origen en una pequeña fisura de fatiga situada en la parte inferior del patín en forma de luna centrada en una picadura de corrosión. Este tipo de rotura es imprevisible.

Medio de detección: Observación visual

Recomendaciones: Retirada de los carriles cuyas dimensiones del patín estén anormalmente reducidas por corrosión en el conjunto de trabajos de mantenimiento o renovación. Retirada lo antes posible del carril roto.

Defectos de soldadura y recargues

Fisura horizontal del alma

Características y aspecto: Este defecto se observa generalmente sobre la soldadura de los rieles anteriormente unidos sin recorte en los extremos, la fisura que en general une los agujeros de las uniones a través de la soldadura, puede propagarse al patín o a la cabeza de los rieles adyacentes y provocar la rotura.

Medio de detección: Observación visual

Recomendaciones: Observación cuando la fisura no alcance más que a los dos agujeros de la unión. Unir provisionalmente si es posible cuando la fisura se extienda más allá de los dos primeros agujeros. Retirada en breve en caso de rotura y reparación por colocación de cupón.

En forma general otros defectos en las vías son la corrosión y falta de elementos de fijación tanto entre rieles como a las traviesas.

Debe observarse el deterioro de las traviesas principalmente las de madera; y en el caso de las de concreto que no estén fracturadas y que contengan una placa de caucho de dureza "70", la cual evita los cavacotes y el afloje de la fijación.

Amenazas naturales en general (CNE)

Eventos sísmicos

El comportamiento sísmico de Costa Rica, está marcado por el choque de las placas del Caribe y del Coco principalmente, aunque también hacia la parte sur del país, la interacción de esta última con la placa de Nazca, define una zona con antecedentes sísmicos cerca de la frontera con Panamá.

Este escenario general, también define dos tipos de sismos, los de interplaca y los de intraplaca. Los primeros ocurren en las zonas de choque de estas placas, como por ejemplo el sismo del Golfo de Papagayo en 1916, el de Osa y Golfito en 1983 y, en general, los que han ocurrido frente a las costas de Garabito, Parrita y Aguirre, estos eventos aunque de magnitudes importantes, suelen ocurrir lejos de centros de población, sin embargo cuentan con capacidad de generar daños. El último evento registrado de este tipo, sucedió el 5 de septiembre de 2012.

Los sismos de intraplaca, se generan dentro de las placas tectónicas, han ocurrido con mayor frecuencia en la historia sísmica el país, pero su menor magnitud promedio con relación a los eventos de interplaca no los excluye de ser los que han generado mayores pérdidas materiales y humanas, principalmente por su cercanía a centros de población y poca profundidad. Ejemplos de este tipo de sismos están los terremotos del Tablazo y Santa Mónica 1910, Patillos 1952, Toro Amarillo en 1955, Tilarán en 1973, Pérez Zeledón 1983, Puriscal 1990, Cinchona 2009.

Un sismo consiste en la manifestación superficial de la liberación de energía interna del planeta, transmitida en ondas sísmicas. Por su parte, un terremoto es un movimiento oscilatorio violento del suelo causado por el paso de las ondas sísmicas. Normalmente se emplea para referirse a los grandes temblores, o bien, a aquellos que independientemente de su tamaño, hayan causado destrucción.

Una de las creencias más arraigadas en la cultura popular del país, es que los sismos fuertes marcan cambios de estación o condiciones del tiempo en un momento dado.

Aunque los meses que acumulan mayor actividad son abril y diciembre (meses en que se suelen dar cambios estacionales), lo cierto es que la distribución de los eventos sísmicos en la historia del país es totalmente aleatoria a lo largo del año. Se puede observar, además, que Puntarenas, Alajuela y Cartago, son las provincias con mayores sismos fuertes o con daños.

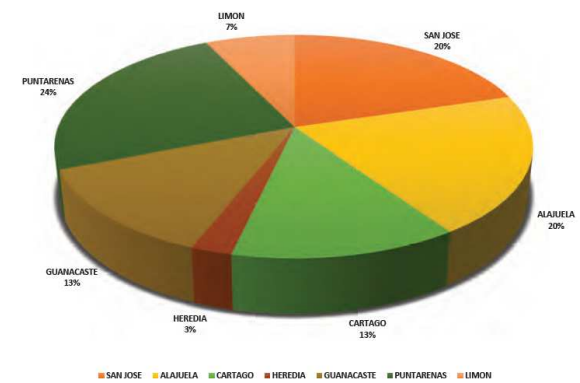


Figura 15. Gráfico de distribución de sismos por provincia.
Fuente: Centro de Información y Documentación CNE 2017.

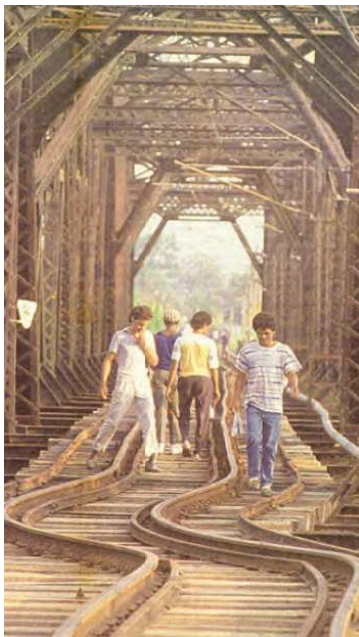


Figura 16. Terremoto de Limón 1991 y los daños estructurales a la vía férrea.

Eventos hidrometeorológicos

Geográficamente, la franja planetaria comprendida entre los paralelos Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, se define como Zona Tropical. La ubicación de nuestro país en esta región le confiere características tropicales a su entorno ecológico: bosques, red hidrográfica, suelos y clima. La fauna y la flora que se adapta a estas condiciones, son por lo tanto, de tipo tropical (IMN, El Clima de Costa Rica).

El clima tropical de este país, es modificado por diferentes factores como el relieve (la disposición de las montañas, llanuras y mesetas), la situación con respecto al continente (condición ístmica), la influencia oceánica (los vientos o las brisas marinas, la temperatura de las corrientes marinas) y la circulación general de la atmósfera (IGN 2005).

La interacción de factores geográficos locales, atmosféricos y oceánicos son los criterios principales para regionalizar climáticamente al país. La orientación noroeste – sureste del sistema montañoso divide a Costa Rica en dos vertientes: Pacífica y Caribe. Cada una de estas vertientes, presenta su propio régimen de precipitación y temperaturas con características particulares de distribución espacial y temporal (Manso et al 2005).

Varshon y otros (1990) en su documento Amenaza de Inundaciones en Costa Rica, describen de forma muy pragmática dos grandes tipos y génesis de inundaciones para el país. Las inundaciones de llanura; normalmente provocadas por lluvias prolongadas (temporales), donde el nivel del agua normalmente sube lentamente y las pérdidas son sobre todo económicas, porque suelen dar suficiente tiempo para evacuar personas. Se citan como ejemplos tipo Parrita y el Caribe. Las inundaciones de montaña o pie de monte; provocadas por tormentas locales severas, donde las lluvias intensas pueden provocar deslizamiento y aumentos súbitos del caudal. Estas inundaciones repentinas suelen ocasionar mayores pérdidas de vidas humanas. Ejemplos Ciudad Neily y varios sitios de la GAM.

Como parte de los eventos más representativos para nuestro país en este aspecto, se tienen los siguientes:

Inundaciones

Se definen como la sumersión del agua que en condiciones normales se encuentran secas, por efecto del ascenso temporal de un río, lago u otro.

Cabezas de agua

Es un evento generado básicamente por dos fenómenos: aporte de aguas subterráneas y lluvias de alta densidad y corta duración que se presentan en las partes altas de las cuencas. En algunas ocasiones también se le denomina cabeza de agua al rompimiento de un represamiento.

Avalanchas

Fenómeno que se presenta en los ríos o quebradas, por un efecto inicial de un deslizamiento. Una recarga de agua sobre laderas inestables hace que adquieran gran peso y se deslicen partes de la ladera hacia el cauce del río o la quebrada generando presas.

Huracanes

Se define como un fenómeno meteorológico de la atmósfera baja, que puede describirse como un gigantesco remolino en forma de embudo. Puede alcanzar un diámetro de cerca de 1000 km y una altura de 10 km, produce vientos con velocidades superiores a los 200 km/ hora y con ráfagas de hasta 400 km/hora, trayecto consigo fuertes lluvias.

Tormenta tropical

Consiste en un ciclón tropical con isobaras cerradas y con las velocidades sostenidas más altas del viento entre 17 y 32 m s-1 (entre 34 y 63 nudos).

Fenómeno del Niño

Es un fenómeno de origen oceánico y atmosférico que ha acompañado la evolución del planeta desde hace miles de años. Su recurrencia promedio es entre dos y siete años y su duración media es entre 18 y 22 meses. Por razones aún no bien conocidas, una masa de

agua cálida que normalmente se encuentra en el oeste del Océano Pacífico Ecuatorial (cerca de Australia), se traslada y expande hacia el este (hacia Suramérica). Esto provoca una alteración del comportamiento normal del clima en muchas partes del planeta (tomado del documento: “El Niño”, 2012).

Fenómeno de la Niña

Al igual que El Niño, La Niña es un fenómeno natural que se origina por la alteración entre el océano y la atmósfera. Aunque no posee un período regular de ocurrencia, puede presentarse entre tres y siete años y su duración varía de 9 a 12 meses aunque algunos casos han durado dos años. Se refiere al afloramiento y expansión de aguas frías en el Océano Pacífico ecuatorial. Debido a la interrelación océano – atmósfera, este desplazamiento de aguas frías afecta los patrones climáticos de muchas zonas del planeta (tomado del documento: “La Niña”, 2012).

Deslizamientos

Se estima que alrededor del 60% del territorio nacional es montañoso, esta condición junto con un ambiente geológico propicio, como rocas blandas o abundantes fracturas por fallamiento local intenso, o inclinación de rocas a favor de la pendiente, favorecen la presencia de condiciones naturales propicias para generar deslizamientos.

Este escenario, en combinación con eventos externos o disparadores, como lluvias intensas y sismos cercanos, junto con malas prácticas agrícolas, construcciones de caminos y carreteras con diseños de talud inadecuados, mal manejo de aguas, y cortes en taludes sin medidas de protección o asesoría técnica adecuada, son los ingredientes completos que hacen de Costa Rica, un territorio altamente vulnerable a los eventos de deslizamiento.

Los deslizamientos son una de las consecuencias directas de la actividad sísmica y los eventos hidrometeorológicos extremos, generando las mayores pérdidas de vidas y los daños más costosos en la red vial nacional, así mismo, son frecuentemente el origen de flujos de lodo y cabezas de agua. Prueba de esta vulnerabilidad son los grandes deslizamientos de Tapezco en Santa Ana, Banderillas en Cartago,

Potreros en Acosta, Burío en Aserrí, El Tablazo en Desamparados, Peñas Blancas en Esparza, Arancibia en Puntarenas y otros.

Se define deslizamiento, como el movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo, debido a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en la ladera. A estas condiciones se deben sumar factores externos como la sismicidad, el vulcanismo y las lluvias. En un segundo plano se deben considerar la deforestación, las aguas subterráneas, entre otros.

Actividad volcánica

La actividad volcánica en Costa Rica, al igual que los eventos sísmicos, están marcados por el choque de placas Coco – Caribe. La fuerte fricción que se da entre ambos bloques y las condiciones geológicas, hacen que se generara un alineamiento de volcanes activos y estructuras geológicas paralelas a esta zona de choque.

Se conocen cinco volcanes históricamente activos: Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba. Todos ellos son Parques Nacionales protegidos, lo que permite el control de la ocupación del terreno en sus inmediaciones.

Llama la atención, el despertar del volcán Turrialba después de poco más de 140 años de inactividad, aunque también el Rincón de la Vieja ha mantenido una actividad regular, así como el Poás, que recientemente ha incrementado su actividad. Desde 1964 hasta la fecha, el volcán Irazú ha mostrado poca actividad exhalativa, aunque sus frecuentes enjambres sísmicos recuerdan su actividad latente, y por otro lado el volcán Arenal se ha mantenido con diferentes niveles de actividad desde 1968, está en inactividad desde el 2010.

Alrededor de todos estos volcanes florece activamente el desarrollo turístico, el cual debe ser consciente de las particularidades de cada uno de ellos y su capacidad de intervenir en los procesos naturales que se gestan en su entorno.

La Actividad Volcánica es el producto de la expulsión de materiales (sólidos, gaseosos y líquidos) del interior del planeta y que suelen estar a elevadas temperaturas.

Por su parte, en la Erupción Volcánica se puede presentar lluvia de piroclastos, flujos de piroclastos, lodo y rocas (lahares), flujo de lava, gases, temblores, tormentas eléctricas e inestabilidad de laderas (colapsos o deslizamientos).

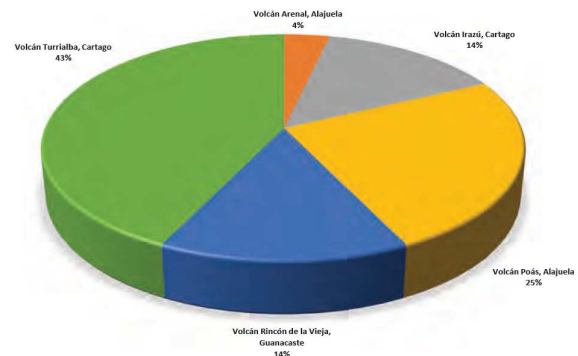


Figura 17. Gráfico de actividad volcánica en Costa Rica
Fuente: Centro de Información y Documentación CNE 2017.

La actividad volcánica está relacionada a procesos y condiciones que se presentan a varios kilómetros de profundidad de la superficie terrestre, no obstante la visibilidad en la cima de los volcanes activos ha determinado en muchas ocasiones que observadores casuales, población, turistas e inclusive científicos visualicen las columnas de gases y cenizas en un momento dado. De esta manera es posible que las buenas condiciones climáticas que se suelen presentar en los meses de enero a marzo en la Cordillera Volcánica Central y Cordillera Volcánica de Guanacaste, sean una de las razones que la mayoría de las erupciones reportadas en el registro histórico del país corresponda a estos meses. En el presente, con el desarrollo de la tecnología para la vigilancia permanente y en tiempo real de las condiciones de actividad imperante, los vulcanólogos cuentan con herramientas que les permite conocer independientemente de la visibilidad con mucha certeza, el estado de cualquiera de los cinco volcanes activos.

Amenazas naturales cantón de Paraíso

Amenazas hidrometeorológicas

El cantón de Paraíso posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos Reventazón, Grande de Orosí, Birrisito, Macho, Pejibaye, Jucó, Purisil y la quebrada Los Tanques y Pollo en el centro del cantón.

De estos ríos y quebradas, algunas han disminuido su período de recurrencia de inundaciones a un año, y algunos a períodos menores, lo anterior por causa de la ocupación de las planicies de inundación, y el desarrollo urbano en forma desordenada y sin ninguna planificación, y al margen de las leyes de Desarrollo Urbano y Forestal. Así mismo el depósito de desechos sólidos a los cauces de estos, redundando en la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, lo que provoca el desbordamiento de ríos y quebradas. Toda esta situación que se ha generado por los serios problemas de construcción de viviendas cercanas a los ríos en el cantón de Paraíso.

Las zonas o barrios más afectados y alto riesgo por las inundaciones de los ríos y quebradas antes mencionadas, son Ujarrás, Orosí centro, Palomo, La Alegría, Paraíso centro, Río Macho, Pejibaye, Humo, Cacao, Oriente, La Anita, Palomo y Purisil.

Amenazas geológicas

Actividad sísmica:

Dentro de los límites del cantón de Paraíso, se han identificado fallas locales, cuyos rasgos en superficie hacen suponer que han tenido una actividad importante y geológicamente reciente.

En caso de un eventual sismo, estos serían superficiales y cercanos a centros de población importantes del cantón. Los poblados más

importantes a estos sistemas de fallas, son Orosí, Río Macho, Purisil, Tapantí, Cachí, Ujarrás.

Vale tomar en cuenta que luego del evento sísmico de setiembre del año 2012 en Guanacaste, se presentaron enjambres sísmicos en varios puntos a lo largo del sistema de Fallas Navarro – Aguacaliente, como testigos de su alto potencial.

Los efectos geológicos más importantes de un evento sísmico en Paraíso, se pueden destacar:

1. Amplificaciones de la onda sísmica, sobre todo en aquellos sitios donde el suelo se ha formado de una acumulación de depósitos poco cohesivos (aluviales y fragmentos volcánicos). Los poblados más vulnerables a estos fenómenos son Orosí, Río Macho, Purisil, Tapantí, Cachí, Ujarrás, Santiago (punto importante en el paso del ferrocarril).
2. Deslizamientos de diversa magnitud, sobre todo hacia los sectores noreste y sureste, sur y sureste, donde la fuerte pendiente y las características de las rocas de estas regiones (Rocas volcánicas y sedimentarias, alteradas e intensamente fracturadas), favorecen la generación de inestabilidad de laderas.
3. Fracturas en el terreno, las cuales pueden causar daños a viviendas, carreteras, puentes, etc., se pueden generar en prácticamente todo el cantón.
4. Asentamientos de terreno, se van a presentar en suelos poco compactos, como aluviones y rellenos.

Actividad volcánica:

Paraíso se localiza a 15km al sur del Volcán Irazú, el cual ha mantenido actividad importante documentada desde inicios de la colonia. Por su ubicación con respecto al cono eruptivo y la dirección predominante de los vientos en la región, es poco probable que en caso de erupción las cenizas emanadas causen serios trastornos. Se debe considerar la posibilidad de flujos de lodo por el cauce del río Páez, que si bien no ha presentado esta clase de eventos anteriormente, sí es vulnerable en cierta medida.

Por otro lado, se debe indicar que los suelos en que se asienta la ciudad de Paraíso y pueblos al norte del cantón, se han formado por

sucesivos flujos de lava (rocas incandescentes), depositados hace aproximadamente 14.000 años.

También debe indicarse que en caso de erupción del Volcán Turrialba (20km noreste de Paraíso), los efectos más severos en el cantón de Paraíso, serían caídas de cenizas y expulsión de gases.

Valga señalar que a partir del año 2000, se ha dado una reactivación de este volcán, el cual se ha estado monitoreando por medio de los centros de investigación volcánica. En caso de erupción volcánica los efectos geológicos más determinantes serían:

1. Caída de cenizas, sobre todo por erupción del Turrialba, lo que afectaría sobre los poblados al norte del cantón, Paraíso, Birrisito, Yas, Santiago, San Miguel, Cachí, Ujarrás, así como caseríos cercanos a estos sitios.
2. Corrientes de barro, el cauce más vulnerable a este fenómeno en el cantón es el río Páez, cuya naciente se localiza muy cerca del foco eruptivo. Los poblados más vulnerables son los caseríos ubicados al noreste de Paraíso, y población cercana o dentro del cauce del mismo río.
3. 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 el Turrialba.

Deslizamientos (Inestabilidad de suelos)

Por las características topográficas y geológicas del cantón de Paraíso, existe una gran cantidad de regiones vulnerables a este tipo de evento.

Estos deslizamientos pueden ser acelerados por actividad volcánica y sísmica, así como fuertes lluvias, o bien malas prácticas agrícolas.

La parte norte del cantón, se caracteriza por terrenos volcánicos, poco cohesivos con una pendiente considerable, sin llegar, en general, a ser fuerte. Se tienen referencias de deslizamientos cerca de Paraíso, en la cuenca del río Paraíso y Quebrada Pollo. Estos deslizamientos se presentan sobre todo en las cercanías de los principales ríos donde la pendiente del terreno es mayor.

Hacia el sur del cantón, es más común este tipo de fenómeno, donde las rocas se presentan muy fracturadas y tomando terrenos de muy fuerte pendiente. Debido al alto régimen de lluvias de esta región, estas han sido el principal factor de aceleración de deslizamientos. Sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de un evento sísmico cercano que genere inestabilidad de laderas.

En el distrito de Orosí se identifica una serie de deslizamientos que han impacto de una u otra forma a varias comunidades en daños en viviendas, puentes, acueductos, postes de electricidad y caminos, así como, pérdidas de vidas humanas. Los deslizamientos más conocidos son: Alto Loaiza, Quebrada Los Tanques, La Vuelta del Queque, Granados y los Sitios, así como, en Purisil el Santa María. Los poblados más vulnerables hacia el sur del cantón, a este tipo de actividad son Cachí, Volio, Loaiza, Orosí, Río Macho, Purisil, Tapantí, Ujarrás, Guábata. Además son vulnerables a este tipo de fenómenos aquellos sitios donde se han practicado cortes de carretera y tajos.

Como efecto de los deslizamientos, se puede mencionar:

1. Caminos y puentes dañados
2. Casas sepultadas
3. Avalanchas causadas por represamientos en ríos
4. Daños o cultivos

La siguiente, corresponde a una imagen que muestra las amenazas descritas y que afectan exclusivamente al cantón de Paraíso.

Las más destacadas son:

- a. Falla Navarro, la cual intersecta la línea férrea en la comunidad de El Yas aproximadamente.
- b. Zonas de alto potencial a deslizamiento en las comunidades de El Yas, Santiago, Mesas y Mesitas. Esta afectación está presente en todo el tramo de vía férrea para este cantón.
- c. Cruces de quebradas y ríos de poco caudal, que deben ser tomadas en cuenta por el aporte que podría generar la altura de los taludes que lo componen, además del arrastre de aguas superficiales que podría aportarle a cada cuerpo de agua. Esto especialmente para la Quebrada Honda.

Dicha imagen señala únicamente la ubicación del cantón que contiene el paso de la línea férrea, específicamente entre las comunidades de El Yas y Santiago, hasta Quebrada Honda.

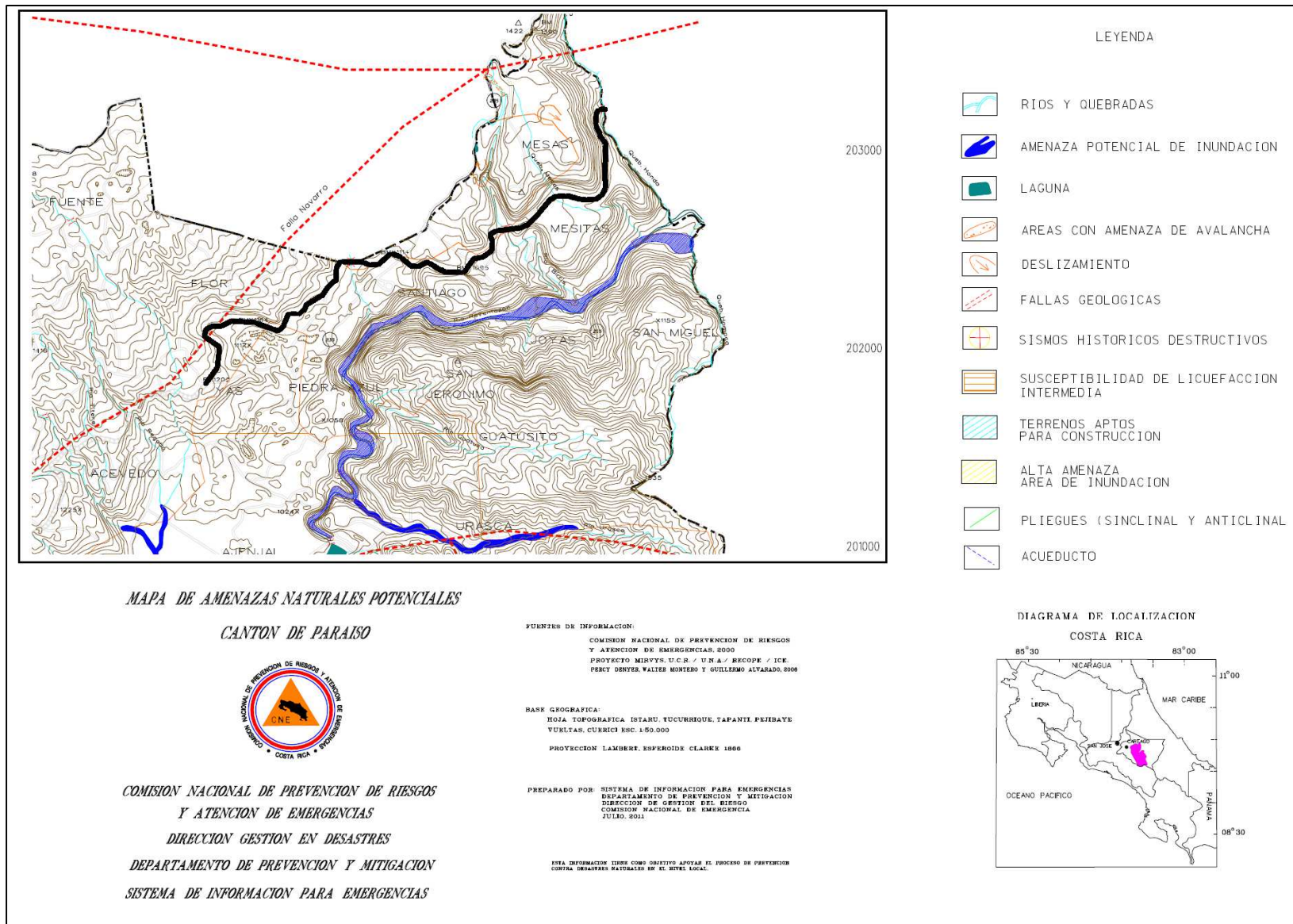


Figura 18. Mapa de Amenazas Naturales Potenciales para el Cantón de Paraiso

Amenazas naturales cantón de Alvarado

Amenazas hidrometeorológicas

El cantón de Alvarado posee una red fluvial muy dispersa y muy baja, la misma cuenta con varios ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos Birrís (de bajo caudal pero con un cauce de gran envergadura), Caris, Coliblanco y Turrialba (parte media) y las quebradas Pacayas y Presidio.

De acuerdo con información suministrada por parte de vecinos del lugar para el 31 de setiembre de 1951, se produjo un evento en la quebrada Presidio, que ocasionó serios daños en viviendas, caminos y la muerte de 17 personas, a raíz de fuertes precipitaciones y el desbordamiento de muchos desagües naturales y de la Quebrada Presidio.

El 14 de noviembre de 1997, a partir de las 3 p.m. se inició una fuerte precipitación en el área del cantón de Alvarado y Oreamuno, y que horas más tarde provocó el desbordamiento súbito de algunos cauces pequeños y por último el cauce de la Quebrada Presidio, que provocó daños en la vía principal a Pacayas y algunos caminos vecinales, así como daños de consideración a viviendas, tubería de acueductos y la formación de varias lagunas.

De estos ríos y quebradas, algunos han disminuido sustancialmente el periodo de recurrencia de inundaciones, lo anterior por causa de la ocupación de las planicies de inundación, desarrollo agropecuario y urbano en forma desordenada y sin ninguna planificación, muchas veces al margen de las leyes que regulan el desarrollo urbano y forestal.

A lo anterior, se suma el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces, redundando en la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, y provocando el desbordamiento de ríos y quebradas. Esta situación ha sido generada por los serios problemas de construcción de viviendas cercanas a los ríos en el cantón de Alvarado.

Las zonas o barrios que han sido afectados con alguna recurrencia y con alto

riesgo por las inundaciones y flujos de los ríos y quebradas antes mencionadas, son Pacayas y Capellades.

Amenazas geológicas

Actividad sísmica:

Dentro de los límites del cantón de Alvarado, así como en sus alrededores, existen fuentes sísmicas que han demostrado tener una actividad sumamente importante.

Hace algunos años, se presentaron eventos sísmicos hacia el sur y sureste de Turrialba, a unos 28km al sureste de la población de Pacayas. El evento principal (10 de julio, 1993) tuvo una magnitud de 5,2 grados, provocando algunos daños en las poblaciones de este cantón.

Por otro lado, existen fuentes sísmicas hacia el sur de la ciudad de Cartago y, que por su relativa cercanía a la región del cantón de Alvarado, también representa una amenaza. Además, se deben mencionar las fuentes sísmicas localizadas al sur de Limón y, que con el sismo del 22 de abril de 1991, causaron pánico y algunos daños en el cantón.

Entre los efectos geológicos más notorios de un evento sísmico de intensidad importante cercano al cantón de Alvarado, se debe mencionar:

1. Ampliaciones de la intensidad sísmica sobre todo aquellos sitios donde hay rellenos poco compactos, o bien suelos poco cohesivos a su origen.
2. Deslizamientos de diversa magnitud, sobre todo hacia el norte del cantón, siendo muy vulnerables los poblados de Pastora, San Rafael de Irazú, Buenos Aires, Buenavista, Coliblanco.
3. Fracturas en el terreno, pudiendo causar daños a viviendas, carreteras, puentes.

Pueden presentarse en prácticamente todo el cantón, asentamientos de terrenos, en suelos poco compactos como aluviones y rellenos.

Actividad volcánica:

El cantón de Alvarado, se extiende en su totalidad por el flanco sur del Volcán Irazú, la población de Pacayas se localiza a 8km al sureste del foco eruptivo de este volcán.

La última actividad importante de este volcán fue en 1963, expulsando una gran cantidad de cenizas y lanzando bloques de diverso tamaño.

Más recientemente, el Volcán Turrialba a partir del año 2000 inicia un nuevo periodo eruptivo que se ha caracterizado sobre todo por emisión de gases y en menor proporción cenizas, aunque los efectos han estado circunscritos a los alrededores del cráter activo, no se descarta en caso de eventos mayores una incidencia importante de gases volcánicos, lluvia ácida y ceniza.

En caso de una erupción volcánica, los efectos más importantes en el cantón de Alvarado serían los siguientes:

1. Caída de cenizas, lo que generaría problemas de salud a los pobladores del norte del cantón; Pastora, San Rafael de Irazú, Guadalupe, San Pablo, etc. Además generaría contaminación en los ríos Birrís, Coliblanco, Playas y daños a los cultivos de la región.
2. Corrientes de barro (lahares), en los cauces de los ríos antes mencionados, amenazando a los poblados y caseríos asentados en los márgenes.
3. Emanación de gases, los cuales afectarían sobre todo los poblados al norte del cantón, causando trastornos respiratorios a los pobladores de estos sectores, así como la actividad agrícola y ganadera.

Deslizamientos (Inestabilidad de suelos):

Las características topográficas y geológicas hacen que el cantón de Alvarado sea especialmente vulnerable a esta clase de eventos tal y como se ha evidenciado en períodos de intensas lluvias o actividad sísmica importante.

Hacia el norte del cantón, existen fuertes pendientes en terrenos conformados por la acumulación de productos volcánicos. En estas regiones los deslizamientos pueden ser “disparados”, tanto por sismos, como por lluvias o actividad volcánica. Los sectores más vulnerables son aquellos ubicados hacia los valles de los ríos, en donde la pendiente es mayor, así mismo, se debe llamar la atención de aquellos lugares, donde se han practicado cortes en el suelo (para caminos y viviendas) y rellenos más compactos.

Los efectos más importantes de los deslizamientos son:

- a. Sepultamiento de viviendas
- b. Daños diversos a caminos
- c. Flujos de lodo, generados por represamientos de ríos, afectando aquellas viviendas ubicadas cerca del cauce del río, o dentro de la llanura de inundación de estos.
- d. Daños a cultivos

De la misma forma se cuenta con una imagen de amenazas para el Cantón de Alvarado, donde si bien es cierto, la línea férrea es prácticamente nula o ausente en este cantón, es importante tomar en cuenta su cercanía con la Falla Navarro y que justo el límite con el Cantón de Paraíso es la Quebrada Honda, donde su cauce es sumamente importante en tamaño, lo que podría generar grandes avalanchas y aporte de aguas en algún evento como los descritos anteriormente.

Se encuentra además este tramo de vía, en contacto con una zona de alto potencial a deslizamientos, producto de actividad y movimiento de bloques en eventos anteriores.

De la misma forma, la imagen toma en cuenta el sector del cantón de Alvarado donde interviene el paso de la línea férrea únicamente.

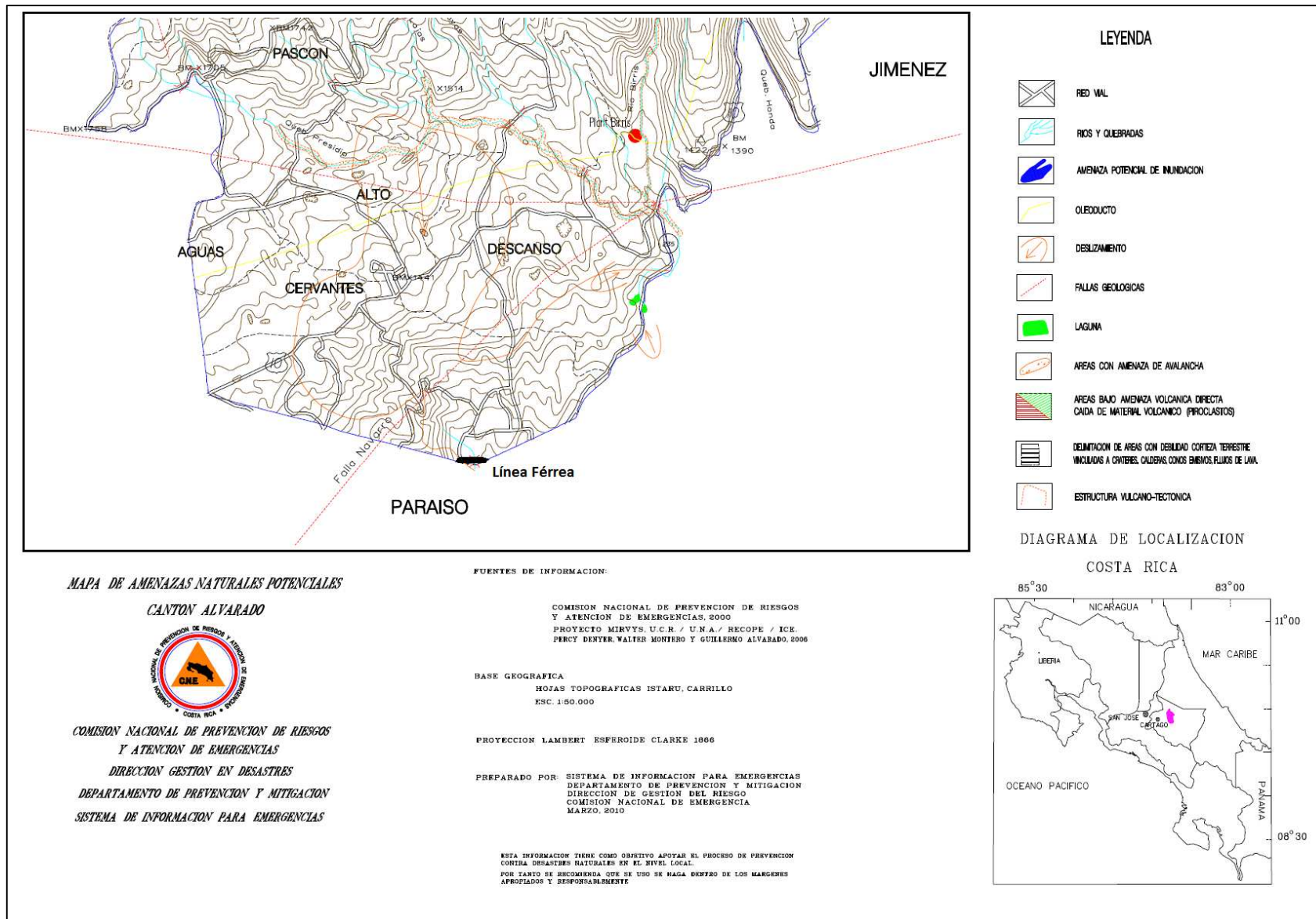


Figura 19. Mapa de Amenazas Naturales Potenciales para el Cantón de Alvarado.

Amenazas naturales cantón de Jiménez

Amenazas hidrometeorológicas

El cantón de Jiménez posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un conjunto de ríos y quebradas que son el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos: Gato, Pejibaye, Atirro, Reventazón, Maravilla, Palmita y Chiz.

Algunos de estos ríos, han disminuido el periodo de recurrencia de inundaciones a un año, y algunos a periodos menores.

Las zonas o barrios más afectados y con alto riesgo por las inundaciones de los ríos y quebradas antes mencionadas, son: El Gato, Zapote, Humo, Taus, Pejibaye, Oriente, Esperanza, Atirro, Cañaveral, Joyas, La Isla, Juan Viñas, Chiz y Buenos Aires.

Amenazas geológicas

Actividad sísmica:

Hacia el sur del cantón de Jiménez, existe una fuente sísmica sumamente importante y que en repetidas ocasiones ha entrado en fases de actividad importantes. Muy recientemente, presentó actividad importante, con un evento máximo de 5.2 grados Richter, que causó daños a viviendas en los poblados de Pejibaye, Humo y Tuis., Además se presume haya activado algunos deslizamientos en la zona.

La manifestación de estas fallas en superficie es tan marcada, que hacen suponer actividad muy importante en épocas pasadas. Además hacia el suroeste, existe un sistema de fallas muy importantes ubicado al sur de Cartago, y que en varias ocasiones ha generado eventos sísmicos llegando a destruir la ciudad de Cartago, ocasionando daños importantes en caseríos de la región. Valga recordar que luego del evento sísmico de setiembre del año 2012 en Guanacaste, se presentaron enjambres sísmicos en varios puntos a lo largo del sistema de Fallas

Navarro – Aguacaliente, como testigos de su alto potencial.

Entre los efectos geológicos más importantes que pueden generar un evento sísmico en el cantón de Jiménez, están:

1. Amplificaciones de la intensidad sísmica en aquellos lugares donde el suelo favorece este tipo de proceso y los poblados más vulnerables son:
 - a. Atirro, Esperanza, Pejibaye, El Gato, Humo, Tucurrique.
2. Deslizamientos en aquellas partes donde la pendiente del terreno es fuerte, tales como las partes altas de las cuencas de los ríos Pejibaye, Atirro, Tuis, márgenes río Reventado, Chiz.
3. Fracturas en el terreno.
4. Asentamientos del suelo, sobre todo en aquellos lugares donde se han hecho rellenos.

Actividad volcánica:

La ciudad de Juan Viñas, se localiza a unos 20km al sur del Volcán Turrialba. Aunque se consideraba que su última actividad importante fue en 1866, con expulsión de gases y cenizas a partir del año 2000, el Volcán Turrialba ha presentado una reactivación, el cual se ha estado monitoreando por medio de los centros de investigación volcánica.

En casos de una erupción volcánica, los efectos, más importantes en el cantón de Jiménez serían los siguientes:

1. Caída de cenizas, lo que causaría contaminación de los ríos que descienden del flanco sur del Volcán Turrialba. Además de daños a personas, cultivos y actividad ganadera.
2. Corrientes de barro (lahares), en los cauces de los ríos antes mencionados, amenazando a los poblados y caseríos asentados en los márgenes.
3. Emanación de gases, afectarían sobre todo los sectores al norte del cantón, causando trastornos respiratorios a los pobladores de estos sectores, así como a cultivos y a la actividad ganadera.

Deslizamientos (Inestabilidad de suelos):

Este cantón por sus características geológicas y climáticas, es especialmente vulnerable a ser afectado por derrumbes, sobre todo hacia los márgenes de los ríos donde la fuerte pendiente favorece este proceso.

Además, se deben considerar aquellos lugares donde se han hecho cortes de carreteras y tajos. Los poblados más vulnerables son: Gloria, sector norte de Juan Viñas, Tucurrique, Congo, San Miguel, Oriente y Esperanza.

Una de las comunidades afectadas en los últimos años fue el Asentamiento El Oso – Tucurrique, que se ubica dentro de una pequeña microcuenca, rodeada en ambos lados por laderas de fuerte pendiente y de uso netamente ganadero y al sur – sureste, con un parche de bosque algo intervenido en el área de ladera.

A raíz de las fuertes lluvias acaecidas el 28 de julio del 2013, se generaron una serie de desprendimientos de ladera que provocaron flujos de lodo, concentrándose a lo largo del cauce principal de la quebrada en forma de varias avalanchas, que arrastraron árboles de diversa dimensión y lodo que impactaron directamente varias viviendas y un centro educativo, ubicados a lo largo del cauce mayor de la quebrada. El área se declaró como de alta vulnerabilidad por flujos de detritos, recomendándose por parte de las autoridades su traslado a otro lugar.

Los posibles efectos de los deslizamientos en el cantón de Jiménez son:

1. Destrucción de caminos y carreteras
2. Viviendas sepultadas
3. Avalanchas causadas por represamientos en ríos
4. Daños a terrenos cultivados

El peligro por flujos de lodo generados por represamientos, amenaza sobre todo a aquellos poblados ubicados en las partes bajas de los principales ríos, los poblados más vulnerables son: Pejibaye, El Gato, Atirro y caseríos cercanos a los cauces.

La siguiente imagen, muestra en una forma general, las afectaciones naturales que posee el tramo de línea férrea que está dentro del cantón de Jiménez y que debe tomarse en cuenta para la puesta en operación del ferrocarril.

Como afectaciones directas a la línea, se tienen:

- a. Altas pendientes y presencia de taludes pronunciados en la zona donde actualmente está la vía férrea.
- b. Contacto directo con la Falla Tucurrique, específicamente en la comunidad de La Gloria, en las cercanías de Río Chiz.
- c. Varias zonas de deslizamiento en el total del recorrido.

Se toma en cuenta únicamente el sector del Cantón de Jiménez, por donde se da el paso de la vía férrea.

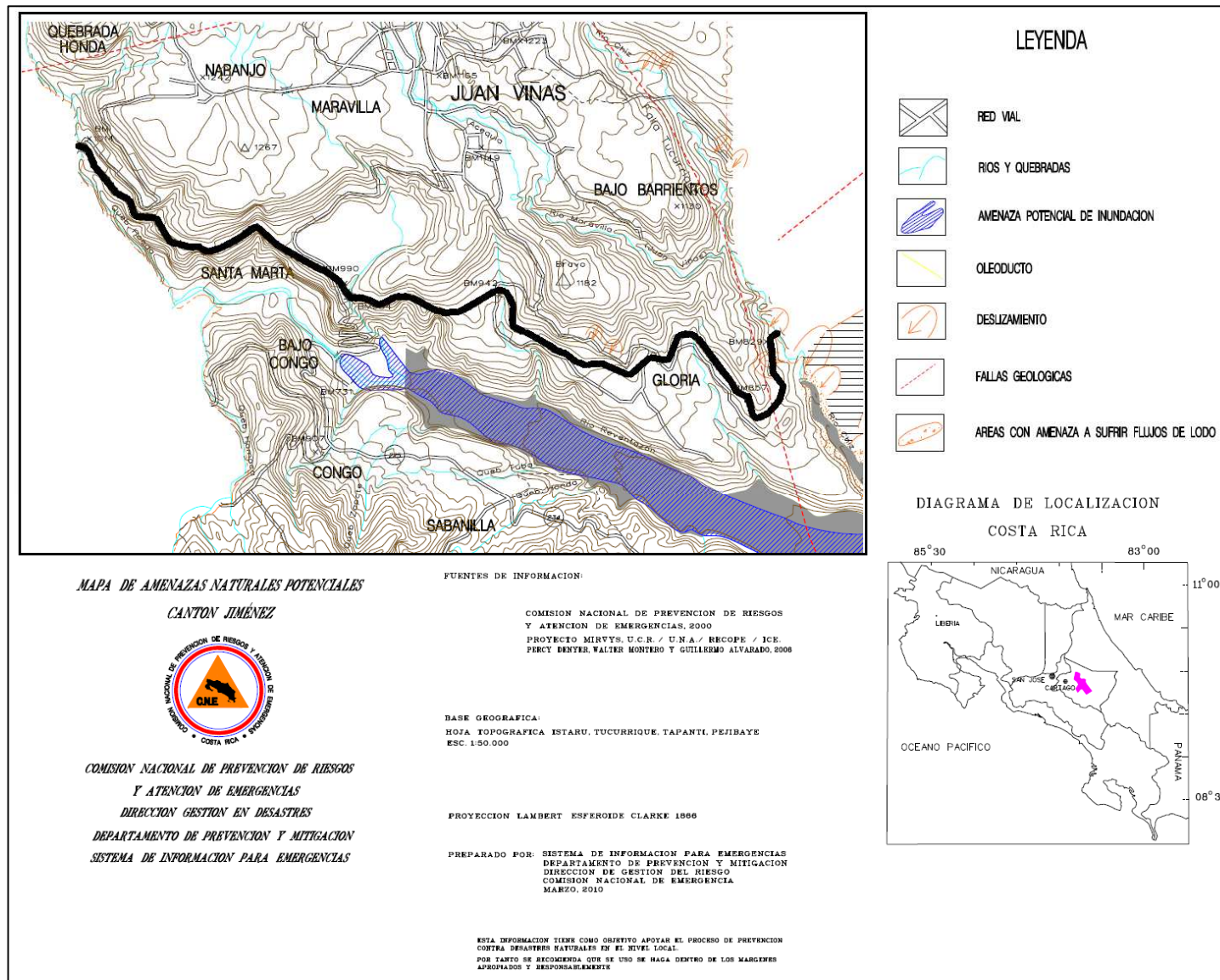


Figura 20. Mapa de Amenazas Naturales Potenciales para el Cantón de Jiménez.

Amenazas naturales cantón de Turrialba

Amenazas hidrometeorológicas

El cantón de Turrialba posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un conjunto de ríos y quebradas que son el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos: Turrialba, Colorado, Aquiares, Reventazón, Tuis, Pacuare, Atirro, Guayabo y las quebradas Poró, Gamboa, El Túnel y La Leona en La Suiza.

Las zonas o barrios más afectados y alto riesgo por las inundaciones de los ríos y quebradas antes mencionadas son: La Alegría, Mon Río, La Margot, San Rafael, Turrialba Centro, Dominica, Pastor, Alto Cruz, Guaria, Repasto, Isabel, Aquiares, Tuis, La Suiza, Canadá, Leona, Esperanza, Atirro, Guayabo, Poró, San Cayetano y Américas.

Amenazas geológicas

El cantón de Turrialba, se ha caracterizado por reunir las condiciones geológicas y climáticas adecuadas para presentar una vulnerabilidad relativamente alta a diferentes tipos de amenazas.

Actividad sísmica:

Dentro de los límites del Cantón de Turrialba, así como a sus alrededores, existen fuentes sísmicas que han demostrado tener una actividad sumamente importante. Hace un poco más de 20 años, se presentaron eventos sísmicos hacia el sur y sureste de Turrialba, a unos 15km de esta población, el evento principal tuvo una magnitud de 5.2 grados (10 de julio 1993), causando daños de diversa intensidad en los poblados localizados al sur y sobre las cuencas de los ríos Pejibaye, Atirro y Tuis. Esta fuente sísmica ha llamado la atención por lo marcado en el terreno de las fallas geológicas, lo que indica una actividad importante en tiempo geológico cercano.

Por otro lado existen fuentes sísmicas, hacia el sur de la ciudad de Cartago y que por su relativa cercanía a la región de Turrialba, también representan una amenaza. Se deben además considerar las fuentes sísmicas localizadas al sur de Limón, y que con el sismo del 22 de abril de 1991, causaron daños significativos en este cantón.

Entre los efectos geológicos más notorios de un evento sísmico de intensidad importante en Turrialba, se puede mencionar lo siguiente:

1. Amplificaciones de la intensidad sísmica, en aquellos sitios donde hay rellenos poco compactos o bien suelos poco cohesivos debido a su origen. Los poblados más vulnerables a este proceso son Jicotea, Tayutic, Tuis, La Suiza, Atirro, Turrialba y Peralta.
2. Deslizamientos de diversa magnitud, sobre todo hacia las partes altas de las cuencas de los ríos Pejibaye, Tuis, Atirro y sus afluentes, lo que podría generar embalses y posteriores avalanchas de lodo, que amenazaría a aquellos poblados localizados en las partes bajas de estas cuencas.
3. Además se debe señalar la alta vulnerabilidad a los deslizamientos de los caminos con acceso a las poblaciones de Pacayitas, Cabeza de Buey, Pacuare, Chitaría, Pavones.
4. Fracturas en el terreno, las cuales pueden causar daños a viviendas carreteras, puentes, etc., se pueden presentar en prácticamente todo el cantón.
5. Asentamientos de terrenos, se presentan en suelos poco compactos, como aluviones y rellenos.

Actividad volcánica:

La ciudad de Turrialba, se localiza a unos 17km al noroeste del volcán del mismo nombre. Aunque se consideraba que su última actividad importante fue en 1866, con expulsión de gases y cenizas, a partir del año 2000, el Volcán Turrialba ha presentado una reactivación, el cual se ha estado monitoreando por medio de los centros de investigación volcánica.

En casos de una erupción volcánica, los efectos más importantes en el cantón de Turrialba serían los siguientes:

- a. Caída de cenizas, lo que causaría contaminación de los ríos que descienden del flanco sur del Volcán Turrialba (ríos Turrialba, AQUIARES, Guayabo). Además de daños a personas, cultivos y actividad ganadería.
- b. Corrientes de barro (lahares), en los cauces de los ríos antes mencionados, amenazando a los poblados y caseríos asentados en los márgenes.
- c. Emanación de gases, afectarían sobre todo los sectores al norte del cantón, causando trastornos respiratorios a los pobladores de estos sectores, así como a cultivos y actividad ganadera.

Deslizamientos (Inestabilidad de suelos)

Las características topográficas y geológicas hacen que el cantón de Turrialba, sea especialmente vulnerable a esta clase de fenómenos, tal y como lo ha manifestado en períodos de intensas lluvias o actividad sísmica importante.

Hacia el norte del cantón, existen fuertes pendientes en terrenos compuestos por la acumulación de productos volcánicos. En estas regiones los deslizamientos pueden ser disparados tanto por sismos, como por lluvias o actividad volcánica. Los sectores más vulnerables son aquellos ubicados hacia los valles de los ríos, que es donde la pendiente es mayor.

El sureste del cantón es también especialmente vulnerable a este tipo de proceso, incluso durante el terremoto de Limón de 1991, fue esta la región la que presentó los mayores problemas de deslizamientos en el cantón. Inclusive a raíz de las lluvias, se han generado en diversas ocasiones deslizamientos en poblaciones como Pavones, Chitaría y La Leona. En el caso del deslizamiento de la Quebrada La Leona, se debe recalcar que este representa una amenaza grave tanto para el caserío de La Leona al oeste de La Suiza, como para la carretera principal entre La Suiza y Tuis.

También debe mencionarse el deslizamiento de Chiz, localizado cerca del poblado del mismo nombre, a unos 6km al suroeste de Turrialba. Igualmente son

vulnerables a estos procesos las partes altas de las cuencas de los ríos al sur de Turrialba, como Pejibaye, Humo, Atirro, Tuis.

Especial cuidado que merecen control del uso del suelo, se debe tener en sitios como Tres Equis, Neda, Blanco y Negro, Pacuare, Jesús María y otros.

Además son vulnerables aquellos sitios donde se han hecho cortes a caminos y tajos. Los efectos más importantes de los deslizamientos serían:

- a. Sepultamiento de viviendas
- b. Daños diversos a caminos
- c. Avalanchas de lodo, generada por represamientos de ríos, afectando sobre todo aquellas viviendas ubicadas sobre el cauce del río o dentro de la llanura de inundación de los mismos.
- d. Daños a cultivos

La siguiente, es una imagen que toma en cuenta las afectaciones directas al tramo de vía ferroviaria ubicada en el cantón de Turrialba y que debe tomarse en cuenta para la puesta en marcha de este medio de transporte, específicamente para el diseño de obras de contención, puentes y demás.

Es importante destacar los siguientes efectos de la naturaleza que generan riesgos:

1. Cercanía a las fallas Tucurrique y San Juan Norte.
2. Intersección de la línea con respecto a la Falla Turrialba, ubicada en Florencia de Turrialba.
3. Cerca de Murcia se cuenta con una zona de alto potencial a deslizamiento al igual que en Noche Buena y lugares varios a lo largo de la vía.
4. Se cuenta con importantes cuerpos de agua que cruzan la vía férrea, los cuales deben tomarse en consideración por su alto riesgo a deslizamientos o bien inundación en algunas comunidades.

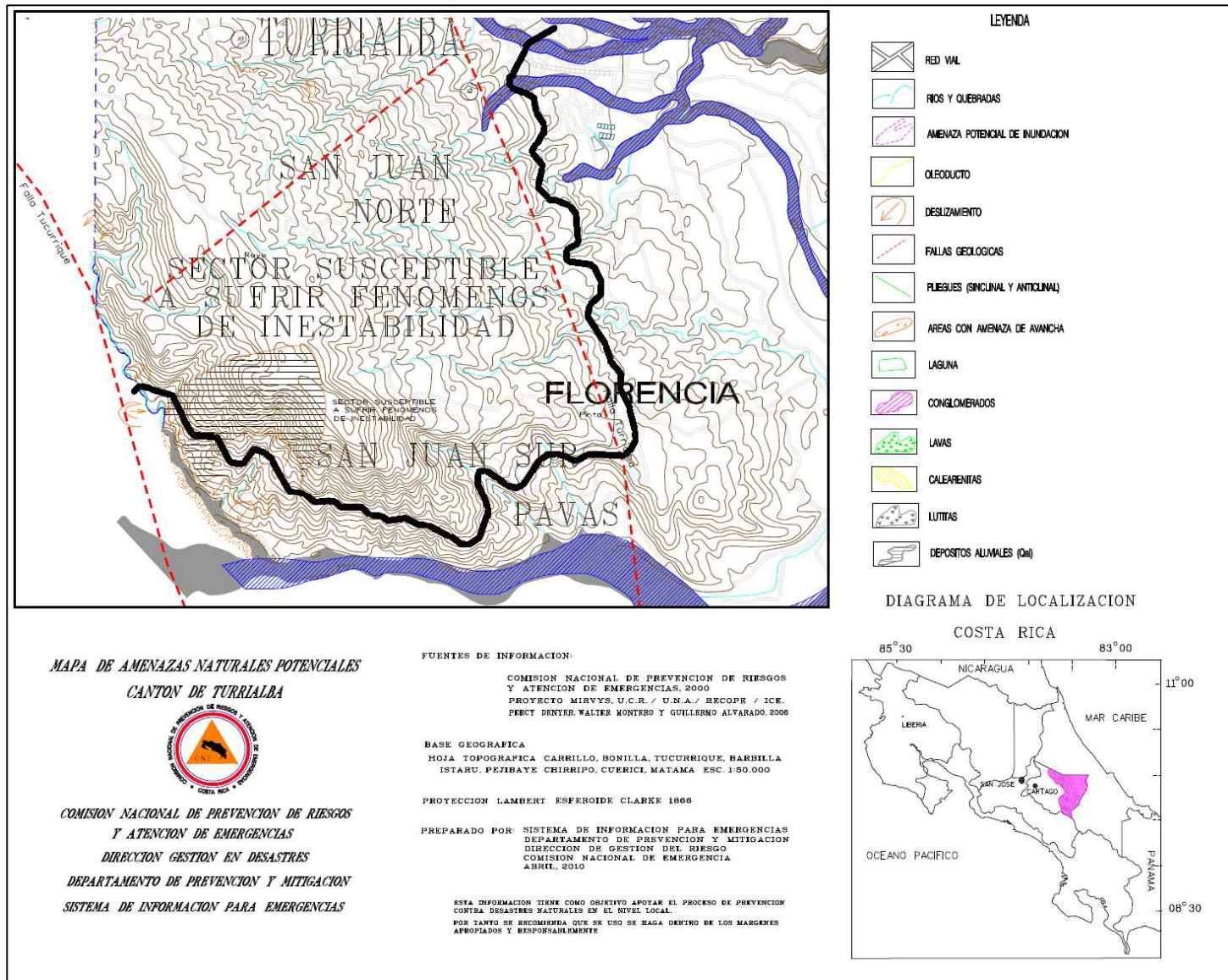


Figura 21. Mapa de Amenazas Naturales Potenciales para el Cantón de Turrialba

Metodología

El proyecto es desarrollado en el tramo comprendido entre El Yas de Paraíso, hasta el cantón de Turrialba, en una distancia de 29km aproximadamente de línea férrea, que está en abandono y sin mantenimiento alguno desde hace 30 años.

Se cuenta con una vía ferroviaria completamente abandonada e invadida por la naturaleza en algunos tramos, además de que es utilizada como camino de acceso a fincas colindantes, por parte de los propietarios en las cercanías de la línea a rehabilitar.

En conversación con empleados de INCOFER, aprovechando la Mesa de Enlaces Técnicos de Cartago, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, se definió que lo aplicable para desarrollar desde Paraíso hasta Turrialba, sería una rehabilitación del tren convencional y quedaba totalmente descartado el uso de tren eléctrico y de carga. Es de esta forma como se tiene claro el alcance y el principal enfoque de este proyecto.

Posteriormente, se realizó una investigación sobre todos aquellos elementos que participan en la construcción, rehabilitación y operación de la línea férrea, ilustraciones de cada uno de los elementos que componen este tipo de obras y todo aquello que facilitara la comprensión del tema en análisis.

Con respecto a las amenazas naturales en el tramo de vía férrea a rehabilitar, se logró obtener de la Comisión Nacional de Emergencias, mapas y descripción de afectaciones correspondientes a los cantones de Paraíso, Alvarado, Jiménez y Turrialba. Considera fallas geológicas, zonas de alto riesgo a deslizamiento e inundación, además de algunos sectores donde el terreno puede afectar por sus características poco favorables a nivel de estabilidad, esto a gran escala pues la CNE no ha ahondado en este tema con pruebas de suelos que así lo certifiquen. El análisis se basa, en los mapas oficiales para estos cantones, además de

lo observado en sitio a la hora de las giras programadas para este tramo de línea ferroviaria.

Como ente regulador en materia ferroviaria, se tomó de INCOFER toda la información existente para este tramo, en cuanto a mapas, necesidades estructurales, edificios requeridos en cada una de las estaciones, longitudes de secciones, elementos existentes y aplicables para este tramo a rehabilitar, señalización, características de la vía, perfiles topográficos y catastros involucrados como parte de los terrenos existentes en INCOFER. Toda esta información con el objetivo de conocer lo que se visitaría en el sitio y comparar lo existente contra lo que teóricamente posee esta entidad.

En cada uno de los municipios involucrados, se tomó en cuenta la información contenida en cuanto a catastros ubicados en los linderos del tramo en estudio, hojas cartográficas de cada sector, mapas catastrales e información fluvial, para conocer cursos de agua, ríos o quebradas que discurren o atraviesan la línea a rehabilitar y así comparar esta información con la observada en sitio; además de toda la requerida para el desarrollo del proyecto según los objetivos establecidos.

Una vez con la información técnica recopilada, fue necesaria la programación de giras a los 29km propuestos a rehabilitar, para lo cual se dividió en secciones y así lograr el diagnóstico general:

Sección 1. Compreendida entre la estación de El Yas de Paraíso, hasta la estación de Santiago, con una longitud de 4015.95m

Sección 2. Tramo entre Santiago y el sector de Quebrada Honda, específicamente en la comunidad de Naranjo de Jiménez, para una longitud de 4137.49m.

Sección 3. Entre Quebrada Honda y la comunidad de Santa Marta para una distancia de 3014.67m.

Sección 4. Tramo comprendido entre Santa Marta y Chiz, ambas comunidades en el cantón de Jiménez, con una longitud entre ellas, de 5672.4m.

Sección 5. Entre los poblados de Chiz y Murcia, ya en el cantón de Turrialba, con una longitud de 2085.22m.

Sección 6. Entre Murcia y la comunidad de Pavas, con una longitud de 3429.55m.

Sección 7. Con una longitud de 6447.17m, el tramo final entre Pavas y Turrialba centro.

Cada uno de los tramos de análisis, se definió de esta forma por ser poblados establecidos y a raíz de las condiciones adversas de abandono y complicaciones de acceso que se presentan en cada tramo. Es así como los 28802.45m de línea férrea a intervenir, darán los resultados y diagnóstico de la actualidad de la vía, necesidades para su puesta en operación y recomendaciones para lograrlo.

Cada inspección requiere de equipo básico de medición como cintas métricas, de georeferencia como GPS y cámara fotográfica para el registro de todo lo observado en el recorrido. Es de esta forma como se conocerá todo lo que contiene cada uno de los tramos, afectaciones, limitantes y detalles a tomar en cuenta para la rehabilitación de los 29km de línea férrea a intervenir.

El objetivo primordial del diagnóstico, es conocer la existencia de elementos que conforman la línea férrea, condiciones actuales de edificios, pasos de aguas, puentes, señalización, invasiones a la vía propiamente, ausencia y/o estado de la línea como tal, derecho de vía y su estado general.

Con esta información, se organiza el listado de recomendaciones, además de las propuestas de mejora para la puesta en operación del ferrocarril, de la misma forma, un costo aproximado de lo que sería este trabajo.

Resultados

Como bien se definió en la metodología, el análisis de estos 28.8km se hará de una forma seccionada, a raíz del difícil acceso en la ruta a evaluar. Se cuenta con siete tramos definidos entre comunidades o puntos estratégicos para una facilidad en el acceso y levantamiento de la ruta.

La siguiente imagen, muestra la altimetría de la vía férrea desde su inicio en Puntarenas y finalizando en Limón, como parte de la conexión entre puertos, definida desde sus inicios y cumpliendo así sus objetivos de traslado de productos y pasajeros entre costas de nuestro país.

Esta sección, está comprendida entre Paraíso (El Yas) y Turrialba, con una altimetría

descendente entre los 1333.5msnm hasta los 638.6msnm y condiciones topográficas particulares, pues un 84.5% de la vía a analizar, está ubicada en cortes realizados a la montaña directamente, lo cual facilita el desprendimiento de material provocando la pérdida del derecho de vía.

Las visitas realizadas, facilitaron la observación de lo siguiente:

1. Deslizamientos y derrumbes en la vía. Necesidad de limpieza del material.
2. Puentes en mal estado o faltante de ellos.
3. Pasos de alcantarillas defectuosos o ausencia de ellos.
4. Necesidad de contención de terreno a raíz de deslizamientos.
5. Ausencia de elementos propios de la vía férrea (rieles, balasto, etc.)
6. Ausencia de edificaciones en estaciones o apartaderos.
7. Ausencia de señalización.
8. Invasión de vecinos con cultivos y/o viviendas.
9. Uso del derecho de vía para acceso a fincas (fundos enclavados).

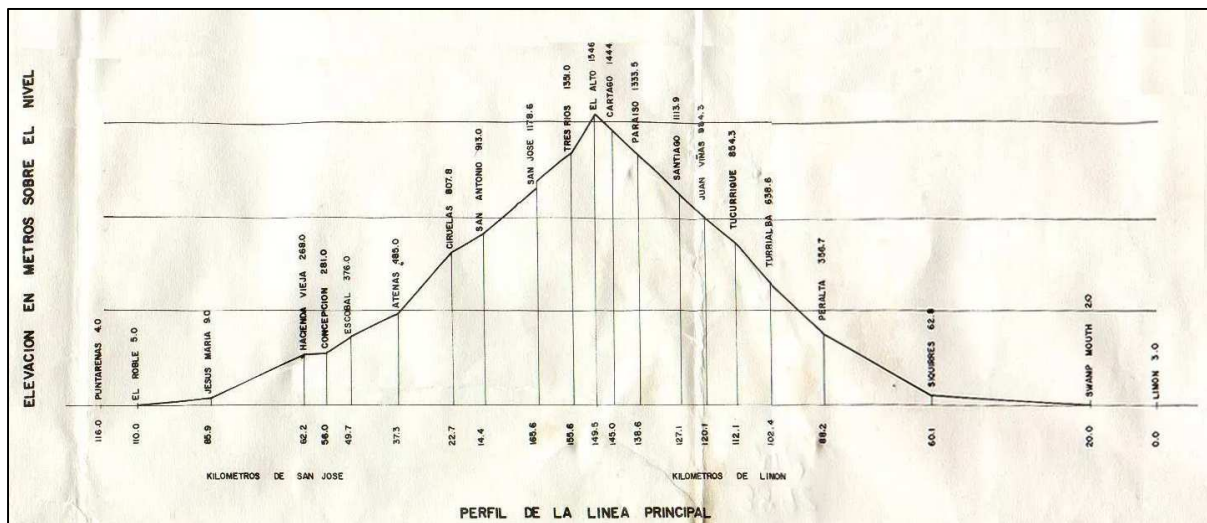


Figura 22. Altimetría de vía férrea entre Puntarenas y Limón.

Análisis cualitativo, Sección 1

Se cuenta con una primera inspección comprendida entre las comunidades de El Yas y Santiago para una longitud total de 4015.95m. En la misma, se determina como punto de partida, la plaza de deportes de El Yas, la cual está ubicada 300m antes de la estación de esta comunidad.

A su vez, para una mejor comprensión, esta sección se subdividió en tres tramos para lograr describir visualmente lo hallado.

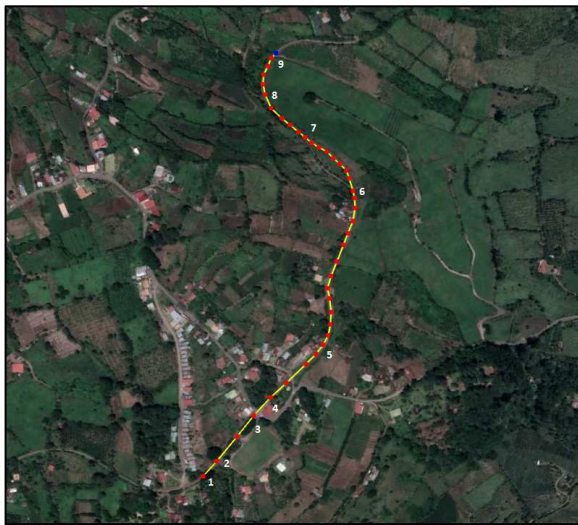


Figura 23. Sección 1. Subdivisión 1 (1004m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 1. Subdivisión 1		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
1	0+000	Puente en mal estado
2	0+038	Necesidad de muro de contención. Inicio de obra.
3	0+137	Fin de obra requerida para contención.
4	0+170	Edificaciones faltantes.
5	0+339	Inicia la ausencia de rieles
6	0+642	Inicio de Bifurcación
7	0+792	Fin de Bifurcación
8	0+883	Inicia derrumbe
9	1+004	Fin de derrumbe. Requerimiento de paso de alcantarillas.



Figura 24. Punto 1. Requerimiento de puente 10m de largo.



Figura 25. Punto 2 y 3. Requerimiento de contención.



Figura 26. Punto 4. Antiguo edificio de estación. Actualmente quemado.



Figura 27. Punto 8. Derrumbe invadiendo derecho de vía.



Figura 28. Sección 1. Subdivisión 2 (1313m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 2. Inventario detallado de necesidades, Subdivisión 1.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Puente	10m	Construcción de puente o paso de alcantarillas
Muro de contención	10m	Se reduce considerablemente el derecho de vía, de ahí que se debe recuperar con una obra de contención.
Edificios para estación	2 unidades	Se cuenta con un salón que era parte de las edificaciones para operación del tren. El segundo de los edificios, se quemó recientemente.
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	562m	Requiere de limpieza y reconstrucción total de estructura ferroviaria.
Derrumbe	99m	Solamente se reduce el derecho de vía a lo largo de esta longitud. No es obstrucción total.
Paso de alcantarillas	5m	Paso existente que requiere de evaluación con respecto al diámetro actual versus su capacidad de operación.

CUADRO 3. Subdivisión 2		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
10	1+165	Fin de uso de vía férrea como acceso. Inicio de maleza en exceso.
11	1+379	Derrumbe que imposibilita el paso
12	1+896	Fin de derrumbe. Necesidad de contención
13	2+034	Invasión de cultivos. Reinician los rieles.
14	2+102	Paso de alcantarillas.



Figura 29. Punto 10. Fin de acceso, inicio de maleza.



Figura 30. Punto 11. Inicio de derrumbe.



Figura 31. Punto 12. Fin de derrumbe y necesidad de muro de contención.

Invasión con cultivos	240m	Solamente se cuenta con siembra de productos y no obras de construcción.
Paso de alcantarillas	10m	Existe una diferencia de altura de 6m aproximadamente desde donde se da el paso del agua, hasta la terraza definitiva.
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	240m	Requiere de limpieza y reconstrucción total de estructura ferroviaria.



Figura 32. Sección 1. Subdivisión 3 (1698.95m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 4. Inventario detallado de necesidades, Subdivisión 2.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	165m	Se cuenta con el derecho de vía sin maleza
Limpieza completa a derecho de vía	830.93m	Se inicia con maleza que no permite acceso. Posteriormente existe un derrumbe cubriendo el total del derecho de vía.
Muro de contención	165m	Se cuenta con un muro a base de lámina metálica y rieles como soporte a la misma.

CUADRO 5. Subdivisión 3		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
15	2+801	Intersección de camino con vía férrea.
16	3+014	Paso de alcantarillas.
17	3+307	Paso de alcantarillas.
18	3+918	Intersección de camino con vía férrea.
19	4+016	Estación de Santiago.



Figura 33. Punto 15. Intersección de camino con vía férrea. No se cuenta con rieles ni balasto.



Figura 34. Punto 16. Paso de alcantarillas.



Figura 35. Punto 19. Estación Santiago.

CUADRO 6. Inventario detallado de necesidades, Subdivisión 3.

Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	1699m	En algunos tramos cortos se cuenta con un solo riel
Limpieza completa a derecho de vía	499m	Se debe realizar limpieza de maleza. Se permite el tránsito de personas, pero con cierta dificultad en algunos tramos.
Paso de alcantarillas #1	4m	Paso existente que requiere de evaluación con respecto al diámetro actual versus su capacidad de operación.
Paso de alcantarillas #2	4m	Paso existente que requiere de evaluación con respecto al diámetro actual versus su capacidad de operación.
Edificio para estación	1 unidad	Edificio en malas condiciones, el cual requiere de diseño y construcción. Actualmente está habitado.

Análisis cualitativo, Sección 2

La segunda de las inspecciones realizadas, posee una longitud de 4137.49m y se ubica entre la comunidad de Santiago, hasta la Quebrada Honda, que a su vez es el límite territorial entre los cantones de Paraíso y Jiménez. De la misma forma, esta sección se subdividirá para una mejor comprensión de los hallazgos y las propuestas a realizar para cada uno de los tramos definidos.

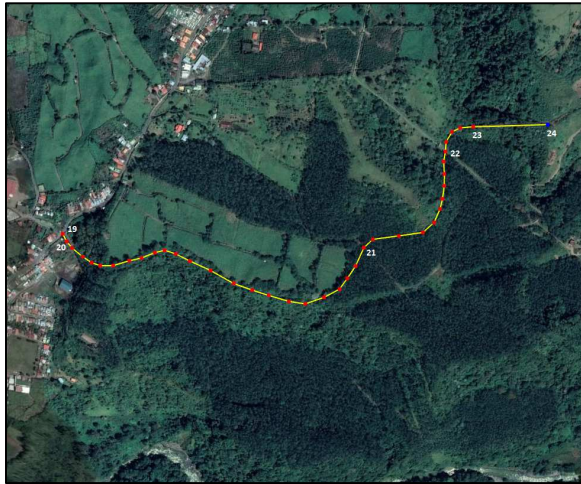


Figura 36. Sección 2. Subdivisión 4 (1791.03m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 7. Subdivisión 4		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
19	4+016	Estación de Santiago.
20	4+041	Inicio de bloqueo por maleza.
21	5+014	Intersección de vía férrea con camino.
22	5+477	Intersección de vía férrea con tubería alta presión PH Birrís.
23	5+586	Inicio de Puente sobre Río Birrís.
24	5+796	Fin de Puente sobre Río Birrís



Figura 37. Punto 22. Paso de vía férrea sobre TAP PH Birrís.



Figura 38. Punto 23. Puente sobre Río Birrís.



Figura 39. Punto 24. Puente sobre Río Birrís.

CUADRO 8. Inventario detallado de necesidades, Subdivisión 4.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	1546m	En algunos tramos cortos se cuenta con un solo riel
Limpieza completa a derecho de vía	936m	Se debe realizar limpieza de maleza en toda la extensión del derecho de vía.
Análisis estructural Puente sobre Río Birrís (estructura y cimentación)	190m	Los cambios en la normativa nacional, además del deterioro de los elementos estructurales, hacen que se requiera de esta revisión.

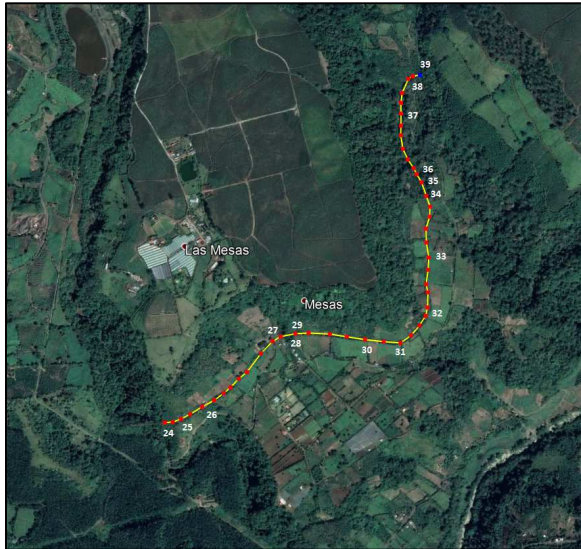


Figura 40. Sección 2. Subdivisión 5 (2442.46m).
Fuente: Google Earth 2019.



Figura 41. Punto 25. Deslizamiento sobre la vía.



Figura 42. Punto 27. Requerimiento de alcantarillas.

CUADRO 9. Subdivisión 5		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
24	5+796	Fin de puente sobre Río Birrís
25	5+868	Inicio de deslizamiento
26	5+982	Fin de deslizamiento. Inicio de invasión con cultivos.
27	6+391	Fin de invasión. Requerimiento de paso de alcantarillas.
28	6+444	Intersección de vía férrea con calle.
29	6+481	Puente (18m de largo)
30	6+807	Paso de alcantarilla
31	6+954	Inicio de derrumbe parcial en derecho de vía.
32	7+181	Fin de derrumbe parcial
33	7+428	Invasión de cultivos
34	7+633	Final de invasión de cultivos, inicio de derrumbes y obstrucción total de vía férrea.
35	7+683	Paso de alcantarillas 6m.
36	7+746	Puente (25m de largo)
37	7+941	Requerimiento de puente (20m)
38	8+173	Intersección de vía férrea con calle.
39	8+207	Puente Quebrada Honda



Figura 43. Punto 29. Puente 18m.



Figura 44. Punto 31. Derrumbe parcial sobre vía.



Figura 45. Punto 36. Puente 25m.



Figura 46. Punto 36. Puente sobre Quebrada Honda.

CUADRO 10. Inventario detallado de necesidades, Subdivisión 5.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	649m	Se presenta ausencia a raíz de los deslizamientos. En otros sectores se cuenta con rieles corroídos o con fracturas en la cabeza. No se cuenta con sujeción entre rieles.
Deslizamiento	115m	Obstruyendo por completo la vía férrea.
Paso de alcantarillas #1	6m	Se cuenta con los rieles en el aire, se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Análisis estructural de puente existente	18m	Se observa el puente invadido de maleza y deteriorado. Se debe analizar estructuralmente sus bastiones y estructura en general.
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	377m	No se cuenta con estructura de vía en general.
Paso de alcantarillas #2	4m	No se cuenta con alcantarillas. Solo se observa el cauce generado por el paso del agua.
Deslizamiento	200m	Obstruyendo parcialmente la vía férrea.
Puente	20m	Requerimiento a raíz de deslizamiento
Análisis estructural de puente existente	20m	Puente sobre Quebrada Honda

Análisis cualitativo, Sección 3

Con una longitud total de 3014.67m, se tiene la conexión entre Quebrada Honda (límite territorial

entre los cantones de Paraíso y Jiménez) y la comunidad de Santa Marta.

Este tramo, cuenta con la particularidad de no contar con acceso en una sección a raíz de grandes deslizamientos, aunado a la alta pendiente de los taludes a los extremos de la vía férrea, lo cual imposibilitó el inventario de necesidades en este sector. Se ubicó y georeferenció el punto de inicio y final de esta obstrucción y para este caso particular, no se subdividió el tramo, de ahí que la sección es completa.



Figura 47. Sección 3. Subdivisión 6 (3014.67m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 11. Sección 3 (Subdivisión 6)		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
39	8+207	Puente Quebrada Honda
40	8+760	Inicio de derrumbe que imposibilita acceso. Requerimiento de paso de alcantarillas 2m cauce x 6m de largo.
41	9+300	Posible puente (en fotografía se observa cauce, sin embargo está dentro de área inaccesible. Este es uno de los puntos

		supuestos.
42	9+919	Fin de derrumbe. Inicio de tramo con maleza sobre derecho de vía en su totalidad.
43	10+059	Inicio de derrumbe en todo el derecho de vía.
44	10+151	Fin de derrumbe
45	10+303	Puente 35m (requerimiento de análisis estructural)
46	10+426	Existencia de centro recreativo. Invasión del total de la vía.
47	10+588	Fin de invasión del Centro Recreativo. Inicio de Invasión producto de maleza en todo el derecho de vía.
48	10+716	Fin de invasión de maleza. Inicio de obras y estructuras de INCOFER.
49	11+035	Fin de Estructuras INCOFER. Estación Santa Marta.



Figura 48. Estado de rieles en zonas donde se permitía su visibilidad.



Figura 49. Puente 35m sobre Quebrada.



Figura 50. Punto 49. Estación Santa Marta.

CUADRO 12. Inventario detallado de necesidades, Sección 3		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Limpieza superficial	553m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.5m aproximadamente.
Paso de alcantarillas #1	6m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Deslizamiento	1159m	Obstruyendo por completo la vía férrea. Posible inexistencia de

		derecho de vía en algunos tramos de esta sección.
Posible requerimiento de puente en sección inaccesible	Desconocida	Se observa un paso de aguas en cartografía y ortofoto. Se debe valorar cuando se logre llegar con la limpieza a esta cota.
Deslizamiento	92m	Obstruyendo por completo la vía férrea.
Análisis estructural de puente existente	35m	Se observa el puente invadido de maleza y deteriorado. Se debe analizar estructuralmente sus bastiones y estructura en general. Cuenta con rieles sin embargo los durmientes están completamente destruidos y en mal estado.
Ausencia de rieles, balasto y durmientes	450m	No se cuenta con estructura de vía en general.
Invasión de vecinos en el derecho de vía	162m	No existen obras de importancia en la invasión, sin embargo sí se cuenta con portones en ambos extremos de la vía.
Limpieza superficial	128m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 1m aproximadamente.
Edificio para estación	1 unidad	Edificio principal y taller en malas condiciones. Ambos requieren de diseño y construcción.

Análisis cualitativo, Sección 4

Tramo de vía férrea ubicado entre la comunidad de Santa Marta y el Río Chíz, el cual corresponde al límite territorial entre los cantones de Jimenez y Turrialba. Esta sección posee una longitud de 5672.4m y para su mejor comprensión se subdividirá en tramos, los cuales muestran de forma independiente, todos los hallazgos georeferenciados.

Es importante destacar que para este caso particular, la vía cuenta en todo su recorrido, con deslizamientos importantes que han hecho que el derecho de vía no exista y se deba intervenir por completo haciendo cambios en el recorrido de las vías o bien incurriendo en la construcción de nuevos puentes o el uso de túneles, a raíz de los movimientos de tierra de gran envergadura. Sin embargo los vecinos que aún habitan en las cercanías de estas zonas, mantienen pequeños caminos peatonales que brindan acceso completo a toda la longitud analizada. Esto dio mayor certeza en esta sección.



Figura 51. Sección 4, Subdivisión 7 (2147.49m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 13. Subdivisión 7		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
49	11+035	Fin de Estructuras INCOFER. Estación Santa Marta.
50	11+199	Intersección camino – vía férrea. No se cuenta con rieles en este sector.
51	11+350	Puente 15m. No cuenta con bastiones. Se soporta sobre el suelo natural.
52	11+383	Inicio de muro de contención existente. Cuenta con derrumbe en toda la terraza de ruedo.
53	11+462	Fin del muro de contención.
54	11+641	Inicio de derrumbe que afectó el derecho de vía.
55	11+960	Continúa derrumbe que bloquea por completo la vía. Rieles en buen estado donde se logran observar.
56	12+174	Fin del derrumbe. Se reinicia sin rieles.
57	12+248	Hasta este punto, el camino es el derecho de vía férrea. Se da el inicio de maleza que evita el acceso por la vía como tal.
58	12+330	Fin de obstrucción por maleza en la vía férrea.
59	12+475	Maleza en todo el derecho de vía.
60	12+617	Intersección camino – vía férrea. Inicia invasión del cañal en derecho de vía férrea.
61	12+707	Paso de alcantarilla 6m cauce x 6m largo.
62	12+906	Puente de 6m de largo, paso de quebrada por medio de estructura existente en mal estado y sin bastiones.
63	12+975	Intersección camino – cañal. Imposible el acceso a raíz de la maleza existente.



Figura 52. Punto 51. Puente sin bastiones, Santa Marta.



Figura 53. Punto 52. Muro de contención a base de rocas sobrepuestas. No cuenta con material de pega ni acero entre bloques.



Figura 54. Estado de rieles en sector de cañales.

CUADRO 14. Inventario detallado de necesidades, Sección 4, Subdivisión 7.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles, tramo #1.	315m	No se cuenta con rieles y donde se observan en algunos puntos, están completamente corroídos en su cabeza (ver Figura 54)
Construcción de puente	15m	Se requiere la construcción de bastiones y colocación de puente.
Análisis estructural de puente existente.	15m	Valorar el uso de estructura existente o bien su sustitución.
Ausencia de rieles, tramo #2.	112m	No se cuenta con rieles y donde se observan en algunos puntos, están completamente corroídos en su cabeza (ver Figura 54)
Limpieza en todo derecho de vía	184m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.5m aproximadamente.
Limpieza en todo derecho de vía	79m	Sobre la terraza del muro de contención, se cuenta con derrumbe en todo derecho de vía con una altura aproximada de 1.5m
Limpieza en todo derecho de vía	747m	Con una altura promedio de 1m se cuenta con obstrucción de maleza y arbustos en todo el derecho de vía. Se cuenta con rieles en mal estado. Y sin elementos de sujeción entre ellos. No existen durmientes en esta zona.

Sustitución de puente de 6m.	6m	No cuenta con bastiones y la estructura está en muy mal estado de corrosión y estabilidad.
Limpieza de maleza	236m	No se puede acceder por la cantidad de material en la vía.

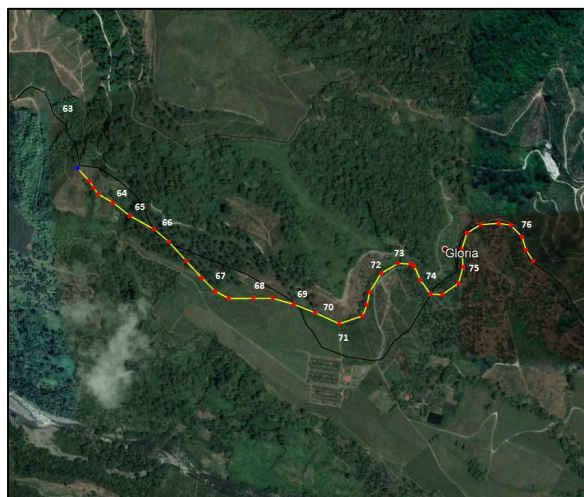


Figura 55. Sección 4, Subdivisión 8 (2147.22m).
Fuente: Google Earth 2019.

		estado
68	13+969	Paso de alcantarillas 3m
69	14+142	Paso de alcantarillas de 4m
70	14+209	Paso de alcantarillas de 4m. Rieles en mal estado (corrosión)
71	14+304	Paso de alcantarillas de 3m. Inicia obstrucción a todo el derecho de vía con maleza. No se cuenta con rieles.
72	14+539	Puente 6m de largo
73	14+622	Intersección Vía Férrea – Calle Pública. Inicia maleza que imposibilita el paso por la vía.
74	14+725	Intersección calle con vía férrea. Finaliza maleza que imposibilita el paso pero inicia un tramo entre montaña completamente obstruido por material y árboles. Con dificultad se puede caminar entre la maleza.
75	14+904	Fin del tramo entre montaña, continua maleza que imposibilita el paso.
76	15+216	Fin de maleza. Intersección con camino y reaparecen los rieles.

CUADRO 15. Subdivisión 8		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
63	12+975	Intersección camino – cañal. Imposible el acceso a raíz de la maleza existente.
64	13+371	Final del derrumbe y maleza obstruyendo la vía. No se cuenta con rieles. Se inicia invasión de cultivos.
65	13+432	Derrumbe de 40m, Continúa invasión de cultivos
66	13+566	Fin de invasión de cultivos sobre todo el derecho de vía. Rieles sin soporte ni durmientes. No se requiere de limpieza pues está completamente limpio el derecho de vía.
67	13+778	Excelentes condiciones de limpieza. Rieles en buen



Figura 56. Punto 64. Derrumbes en la vía e invasión de cultivos. Rieles inexistentes.



Figura 57. Punto 67. Tramos sin maleza y con rieles en buen estado.

CUADRO 16. Inventario detallado de necesidades, Sección 4, Subdivisión 8		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Limpeza en todo derecho de vía	315m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 2m aproximadamente de material orgánico y plantas.
Construcción de muro de contención (gaviones)	40m de largo x 3.5m de altura	Los rieles están en el aire, producto del derrumbe existente. Se debe construir el muro y rellenar para recuperar la terraza de ruedo.
Recuperación de derecho de vía.	25m	Los rieles están sin soporte en la terraza de ruedo. Se debe rellenar y recuperar la misma.
Paso de alcantarillas #1	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #2	4m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #3	4m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la

		vía férrea.
Rieles en mal estado	1872m	Presencia de descascamiento de cabeza de rieles por corrosión. Se presenta en algunos puntos ausencia de elementos. Todo el tramo es ausente de durmientes.
Limpeza en todo derecho de vía	235m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 2m aproximadamente de material orgánico y plantas.
Construcción de puente	6m	Se requiere la construcción de bastiones y colocación de puente.
Limpeza en todo derecho de vía	282m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 2m aproximadamente de material orgánico y plantas. Rieles en mal estado por corrosión.



Figura 58. Sección 4, Subdivisión 9 (1377.69m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 17. Subdivisión 9		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
76	15+216	Fin de maleza. Intersección con camino y reaparecen los rieles.
77	15+504	Paso de alcantarillas de 4m
78	15+756	Paso de alcantarillas de 4m
79	15+920	Paso de alcantarillas de 3m
80	15+978	Inicia maleza sobre la vía por un tramo de 200m aproximadamente.
81	16+361	Paso de alcantarillas de 3m
82	16+690	Paso de alcantarillas de 2m
83	16+766	Paso de alcantarillas de 3m. Existencia de rieles pero con corrosión y presencia de descascamiento. Inicia maleza sobre el derecho de vía.
84	16+936	Inicio de puente sobre Río Chiz.
85	16+989	Fin del puente sobre Río Chiz. Estructura colapsada.



Figura 59. Punto 85. Puente sobre Río Chiz.



Figura 60. Estado actual de Puente sobre Río Chiz. Tramo que no se derrumbó de la estructura.

CUADRO 18. Inventario detallado de necesidades, Sección 4, Subdivisión 9		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Rieles en mal estado o sitios donde solo se encuentra uno de los dos rieles.	911m	Presencia de descascamiento de cabeza de rieles por corrosión. Se presenta en algunos puntos ausencia de elementos. Todo el tramo es ausente de durmientes.
Paso de alcantarillas #1	4m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #2	4m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #3	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #4	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #5	2m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.

Paso de alcantarillas #6	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Ausencia de rieles	380m	Presencia de descascaramiento de cabeza de rieles por corrosión. Se presenta en algunos puntos ausencia de elementos. Todo el tramo es ausente de durmientes.
Limpieza en todo derecho de vía	348m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 1m aproximadamente de material orgánico y plantas.
Construcción de puente	80m	Uno de los bastiones falló y esto generó el colapso del puente en general.

Con una longitud total de 2085.22m, se tiene la conexión entre el Río Chiz (límite territorial entre los cantones de Jiménez y Turrialba) y la comunidad de Murcia.

Este tramo, cuenta con la particularidad de no poseer acceso en varias secciones, a raíz de grandes deslizamientos. De la misma forma, presenta la caída de puentes en dos puntos específicos, haciendo de este, un tramo de vulnerabilidad por deslizamiento en sus terrenos, los cuales están afectados por altas pendientes en sus montañas al lado de la vía férrea.

Análisis cualitativo, Sección 5



Figura 61. Sección 5, Subdivisión 10 (2085.22m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 19. Subdivisión 10		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
85	16+989	Fin del puente sobre Río Chiz. Estructura colapsada.
86	17+265	Inicio de puente Inexistente
87	17+348	Fin de puente Inexistente
88	17+452	Requerimiento de puente 25m
89	17+500	Paso de alcantarilla de 6m
90	17+569	Paso de alcantarilla de 3m
91	17+644	Inicio de deslizamiento que afectó todo el derecho de vía.
92	17+841	Final del deslizamiento. No existen rieles. Maleza en toda la vía férrea.
93	17+949	Inicio de deslizamiento
94	18+067	Fin de deslizamiento. Rieles en buen estado
95	18+157	Requerimiento de puente 20m. No se cuenta con rieles
96	18+263	Paso de alcantarilla de 5m
97	18+539	Paso de alcantarilla de 3m
98	18+618	Paso de alcantarilla de 5m. Se cuenta con rieles en buen estado
99	18+688	Deslizamiento que requiere puente.
100	18+804	Intersección e inicio de "cañón" sin paso para vía. Requerimiento de puente.
101	18+884	Fin de "cañón" de quebrada.
102	19+016	Estación de Murcia



Figura 62. Punto 101. Requerimiento de Puente 60m.



Figura 63. Punto 102. Antigua estación de Murcia. Actualmente habitada.

CUADRO 20. Inventario detallado de necesidades, Sección 5, Subdivisión 10		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Ausencia de rieles producto de los deslizamientos.	1485m	Se deben colocar rieles y toda la estructura de soporte para la vía férrea.
Construcción de puente	80m	No se cuenta con estructura. Únicamente con bastión central en el cauce de la quebrada.

Deslizamiento sobre derecho de vía	110m	Se debe remover todo el material que invade todo el derecho de vía. Estabilizar taludes.
Construcción de puente	25m	No se cuenta con estructura. Se requiere a raíz de deslizamiento que generó un cauce amplio en quebrada.
Paso de alcantarillas #1	6m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #2	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Movimiento de derecho de vía.	110m	Derrumbe generó la pérdida del derecho de vía. Se debe realizar un corte en la montaña para recuperar el derecho de vía o bien utilizar túneles de acceso a trayecto original.
Limpieza en todo derecho de vía	950m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.5m en promedio aproximadamente de material orgánico y plantas.
Paso de alcantarillas #3	5m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #4	3m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Paso de alcantarillas #5	5m	Se debe construir el paso de aguas y el correcto paso de la vía férrea.
Construcción de puente	80m	Los deslizamientos generaron el requerimiento de un puente, al no contar con derecho de vía

		en este tramo.
Construcción de puente	65m	Uno de los bastiones falló y esto generó el colapso del puente en general.

Análisis cualitativo, Sección 6

Con una longitud total de 3429.55m, se cuenta con el tramo entre las comunidades de Murcia y Pavas, ambas dentro del cantón de Turrialba y además en la zona de mayor afectación por deslizamientos, declarado así por la Comisión Nacional de Emergencias ante los eventos presentados en los últimos 30 años, desde que el tren dejó de transitar en este cantón.

De la misma forma que en secciones anteriores, no se contó con acceso en varios puntos, a raíz de estos grandes deslizamientos y se observaron pérdidas totales de pasos de alcantarillas y que ahora son requerimiento indudable de puentes, a raíz del gran cañón generado.

No se realizó subdivisión de esta sección por ser relativamente corto en longitud. Así, se tiene la siguiente información:

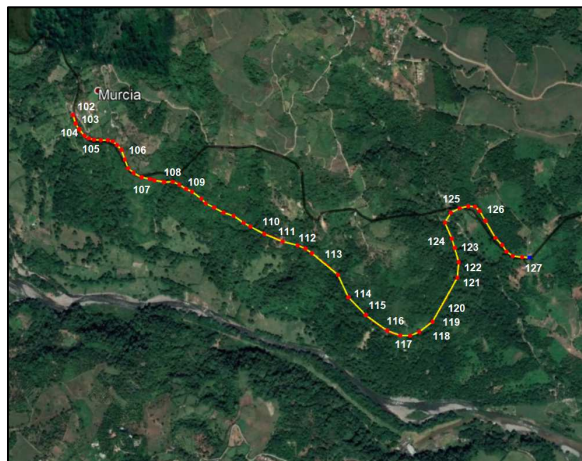


Figura 64. Sección 6, Subdivisión 11 (3429.55m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 21. Subdivisión 11		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
102	19+016	Estación de Murcia
103	19+056	Portillo sobre la vía
104	19+081	Paso de alcantarilla 2m. No existencia de rieles. Derecho de vía con material
105	19+169	Paso de alcantarilla 3m. Reinician rieles en buen estado por un tramo de 25m
106	19+349	Derrumbe que desapareció el derecho de vía. 40m aproximadamente
107	19+458	Fin de material en la vía. Fin de rieles.
108	19+562	Derrumbe en toda la vía. 20m de largo por 3m de altura el material.
109	19+650	Inicio de derrumbe que desapareció derecho de vía
110	20+166	Final de derrumbe. Inician rieles en buen estado
111	20+203	Paso de alcantarillas 3m
112	20+251	Final de derrumbe y contaminación con maleza de todo el derecho de vía. Inicia derrumbe en medio derecho de vía. Terraza formada por potrero en uso
113	20+376	Fin de deslizamiento de medio derecho de vía. Puente requerido. Existió puente en su momento pero deslizamiento lo desapareció. 15m de estructura. No se cuenta con rieles
114	20+562	Derrumbes en la vía. No se cuenta con rieles o bien se encuentran tramos con elementos corroídos en su cabeza especialmente.
115	20+653	Requerimiento de puente de 20m
116	20+840	Maleza en todo derecho de vía. Se requiere puente de 10m.
117	20+876	Paso de alcantarillas 3m. Rieles en buen estado.
118	21+202	Rieles en mal estado. Inicia maleza en toda la vía (caña brava)

119	21+234	Kilómetro 111. Única señal hallada en todo el recorrido de los 29km.
120	21+266	Paso de alcantarilla de 3m
121	21+626	Paso de alcantarilla de 5m
122	21+667	Terraza existente donde podría moverse el derecho de vía. Puente caído. No se requiere de construcción. Con el movimiento del derecho de vía se puede solucionar el problema.
123	21+767	Paso de alcantarilla de 3m. Rieles en buen estado.
124	21+829	Cañón de 40m producido por deslizamiento. Requerimiento de puente. Se pueden observar los rieles en el aire a lo largo del cañón.
125	21+911	Cañón de 60m producido por deslizamiento. Requerimiento de puente. Se pueden observar los rieles en el aire a lo largo del cañón.
126	22+079	Fin de cañón de 60m. Inicia trocha de 4m de ancho completamente limpia, sin rieles ni durmientes.
127	22+446	Casona Las Pavas.



Figura 65. Punto 103. Portillos colocados por vecinos.



Figura 66. Punto 113. Bastión Margen Derecha de puente destrizado por un deslizamiento.

CUADRO 22. Inventario detallado de necesidades, Sección 6, Subdivisión 11.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Paso de alcantarillas #1	2m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Paso de alcantarillas #2	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Deslizamiento sobre derecho de vía	40m	Se debe remover todo el material que invade todo el derecho de vía. Estabilizar taludes.
Limpieza en todo derecho de vía	442m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.5m en promedio aproximadamente de material orgánico y plantas.
Deslizamiento sobre derecho de vía	20m	Se debe remover todo el material que invade todo el derecho de vía. Estabilizar taludes.
Deslizamiento que desapareció el derecho de vía.	516m	Imposible el acceso. Se debe proponer solución para continuar con

		derecho de vía. Inexistencia de rieles en general.
Paso de alcantarillas #3	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Deslizamiento sobre derecho de vía	125m	Se debe remover todo el material que invade todo el derecho de vía. Estabilizar taludes.
Construcción de puente	15m	No se cuenta con estructura. Únicamente con bastión margen derecha completamente destruido.
Maleza y material orgánico en la vía.	1828m	Todo el tramo continúa con maleza y material orgánico, derrumbes varios e imposibilidad de acceso. Condiciones sumamente complicadas. Altura de maleza de 3m aproximadamente.
Construcción de puente	20m	No se cuenta con estructura.
Construcción de puente	10m	No se cuenta con estructura.
Paso de alcantarillas #4	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Paso de alcantarillas #5	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Paso de alcantarillas #6	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Paso de alcantarillas #7	3m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.
Construcción de puente	40m	No se cuenta con estructura.
Construcción	60m	No se cuenta con

de puente		estructura.
Ausencia de rieles producto de los deslizamientos.	2827.64m	Se deben colocar rieles y toda la estructura de soporte para la vía férrea.

Análisis cualitativo, Sección 7

El cierre del recorrido se realizó entre las comunidades de Pavas y Turrialba centro, con una longitud total de 6447.17m, con la particularidad de que este tramo contiene la invasión de vecinos con viviendas en el derecho de vía de INCOFER, además de sectores donde este se ve reducido por los ingresos a viviendas y se debería realizar una labor de recuperación de terreno no solo por deslizamientos, sino por este motivo mencionado.

Por su longitud, se procedió a realizar subdivisiones para esta sección, de ahí que se cuenta con la siguiente información:

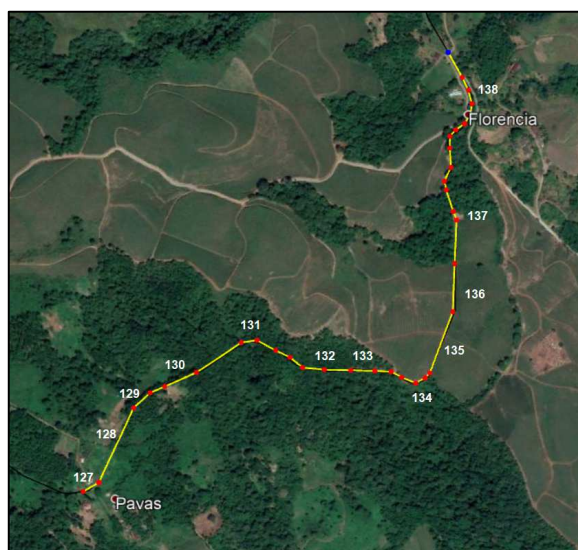


Figura 67. Sección 7, Subdivisión 12 (2105.25m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 23. Subdivisión 12		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
127	22+446	Casona Las Pavas.
128	22+645	Inicio de sección trapezoidal, 3m altura.
129	22+743	Inicio de puente 95m
130	22+838	Final de puente. Inicia maleza en toda la vía y rieles en buen estado.
131	23+040	Deslizamiento de 40m que corta a la mitad el derecho de vía (requerimiento de muro de contención o bien movimiento de derecho de vía). Inician los rieles en mal estado. De la misma forma, inician deslizamientos sobre el derecho de vía.
132	23+250	Deslizamiento sobre vía. Requerimiento de puente 20m entre derrumbes.
133	23+350	Fin de derrumbe. No se cuenta con rieles. Inicia maleza a 3m de altura. Imposible el acceso en estos sectores.
134	23+554	Fin de maleza. Inicia corte en el terreno formando sección trapezoidal, completamente invadido por material orgánico y árboles.
135	23+724	Salida de sección trapezoidal. Continúa maleza en todo el derecho de vía.
136	23+855	Paso de aguas de 15m. No vale la pena construir puente. Colocación de alcantarillas y posteriormente, relleno.
137	23+961	Continúa la maleza en todo el derecho de vía.
138	24+434	Fin de maleza. Escuela de Florencia. Rieles en mal estado.



Figura 68. Punto 129. Origen de estructura de Puente 95m. Londres, 1889.

CUADRO 24. Inventario detallado de necesidades, Sección 7, Subdivisión 12.		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Análisis estructural de puente	95m	Se requiere del análisis de cimentaciones y si la estructura de más de 100 años de construida es óptima para su entrada en operación nuevamente.
Limpieza de puente	95m	Se cuenta con la estructura envuelta en material orgánico, plantas y árboles.
Muro de contención	40m	Más de medio derecho de vía es inexistente a raíz de este deslizamiento. Se requiere el diseño y construcción de muro para la recuperación del derecho de vía.
Construcción de puente	20m	No se cuenta con estructura.
Paso de alcantarillas #1	15m	Se debe construir el paso de aguas perpendicular a la vía.

Rieles ausentes o en mal estado.	2105.25m	En todo el tramo recorrido se cuenta con rieles, sin embargo presentan mucha corrosión en toda su sección.
Limpieza en todo derecho de vía	2010m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.75m en promedio aproximadamente de material orgánico y plantas.

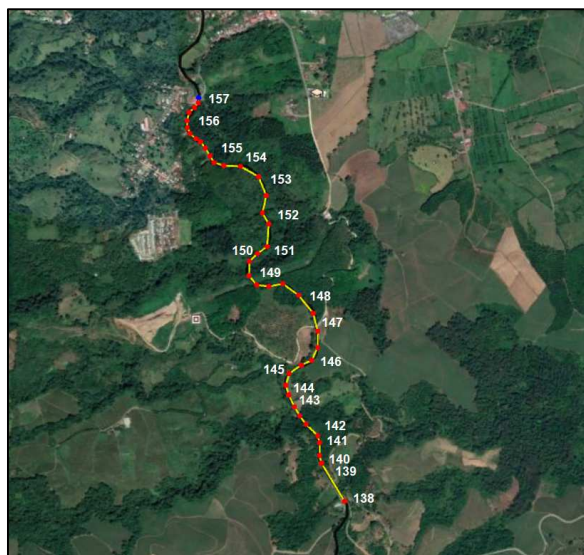


Figura 69. Sección 7, Subdivisión 13 (2643.32m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 25. Subdivisión 13		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
138	24+434	Fin de maleza. Escuela de Florencia. Rieles en mal estado.
139	24+551	Inicia tramo limpio sin maleza sobre derecho de vía. Frente a Salón Comunal Florencia.
140	24+628	Requerimiento de muro de contención de 40m, para estabilizar el derecho de vía. Inicia material orgánico

		sobre vía.
141	24+753	Paso de alcantarilla de 3m. Inicia maleza en toda la vía.
142	24+865	Inicia puente 90m
143	24+955	Fin de puente
144	24+970	Derrumbe al final del puente, que destruyó el 50% del derecho de vía. Se debe recuperar con un muro de contención y relleno. 10m de longitud.
145	25+261	Derrumbe de 20m sobre el derecho de vía. Rieles en buen estado. Inicia material sobre derecho de vía a una altura de 1m en promedio.
146	25+295	Paso de aguas profundo. No requiere ser cambiado. Inicio de faltante de rieles.
147	25+461	Intersección con calle pública que acceso a botadero Municipal.
148	25+760	No se cuenta con rieles. Requerimiento de limpieza de toda la vía. Altura promedio de material en vía, 0.5m.
149	25+917	Requerimiento de puente. Inicio de faltante de estructura.
150	26+006	Final de puente requerido. Reinician rieles en buen estado.
151	26+111	Derrumbe de 50m sobre la vía con una altura de 2m.
152	26+268	Maleza en todo el derecho de vía. Rieles sin soporte en durmientes ni uniones entre ellos.
153	26+522	Vista de maleza en toda la vía, no se cuenta con rieles.
154	26+622	Reaparecen los rieles en mal estado. Derrumbe sobre la vía en 10m de longitud y 2m de altura.
155	26+779	Se cuenta con un deslizamiento sobre el derecho de vía y en apariencia construyeron una vivienda sobre este material consolidado naturalmente con los años.

156	27+084	Paso de alcantarillas existente con buen funcionamiento. No requiere de reconstrucción.
157	27+122	Intersección Vía Férrea con calle pública de acceso a Noche Buena.



Figura 70. Punto 143. Puente 90m en Florencia.



Figura 71. Punto 155. Vivienda construida, en apariencia, sobre derrumbe y derecho de vía.

CUADRO 26. Inventario detallado de necesidades, Sección 7, Subdivisión 13		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Muro de contención	40m	Deslizamiento cercano a los rieles, mismo que redujo considerablemente el derecho de vía. Se debe construir muro y recuperarlo, para correcto funcionamiento.
Paso de alcantarillas #1	3m	Se debe construir el paso de aguas.
Análisis estructural de puente	90m	Se requiere del análisis de cimentaciones y si la estructura de más de 100 años de construida es óptima para su entrada en operación nuevamente.
Limpieza de puente	90m	Se cuenta con la estructura envuelta en material orgánico, plantas y árboles.
Muro de contención	15m	Deslizamiento cercano a los rieles, mismo que redujo considerablemente el derecho de vía. Se debe construir muro y recuperarlo, para correcto funcionamiento.
Construcción de puente	70m	No se cuenta con estructura.
Derrumbe sobre la vía	30m	Material sobre derecho de vía.
Limpieza en todo derecho de vía	1110m	Se requiere de limpieza en todo el derecho de vía por una altura de 0.5m en promedio aproximadamente de material orgánico y plantas.
Rieles ausentes o en mal estado.	1585m	Rieles ausentes, en mal estado o tramos con rieles sueltos de su estructura de

		sujeción y con daños considerables.
Derrumbe sobre la vía	60m	Material sobre derecho de vía con una altura de 2m aproximadamente.

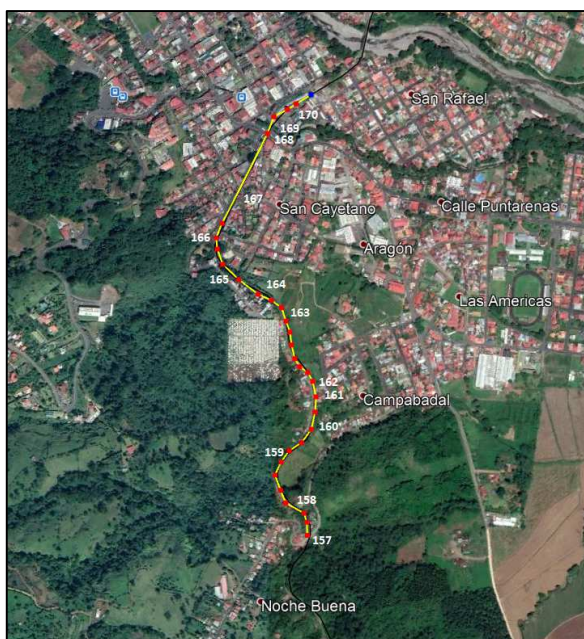


Figura 72. Sección 7, Subdivisión 14 (1698.6m).
Fuente: Google Earth 2019.

CUADRO 27. Subdivisión 14		
PUNTO	COTA	HALLAZGO
157	27+122	Intersección Vía Férrea con calle pública de acceso a Noche Buena.
158	27+238	Zona de deslizamiento. Ausencia de rieles.
159	27+291	Paso de aguas profundo. No requiere ser cambiado.
160	27+460	Invasión de viviendas en derecho de vías.
161	27+615	Intersección calle. Inician las viviendas a espaldas del cementerio. Fin de deslizamiento Noche Buena.
162	27+644	Paso de alcantarilla 4m
163	27+900	Fin de viviendas cuyo

		acceso es la vía férrea. Fondos enclavados. Cunetas invaden derecho de vía.
164	28+000	Derrumbes donde la mitad del derecho de vía desapareció. Se requiere muro de contención y recuperación de vía.
165	28+158	Rieles en buen estado, en el aire, sin durmientes.
166	28+207	Inicio sección trapezoidal. Garaje invade derecho de vía.
167	28+378	Intersección con calle pública. Fin de sección trapezoidal. Rieles en buen estado.
168	28+564	Intersección Ruta Nacional #10.
169	28+601	Puente de 2 vías.
170	28+802	Fin de recorrido. Estación Turrialba.



Figura 73. Punto 163. Fondos enclavados.



Figura 74. Punto 169. Puente dos vías.

Limpieza de derecho de vía.	225m	Material orgánico, derrumbes pequeños y arbustos en la vía.
-----------------------------	------	---

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO A REHABILITAR

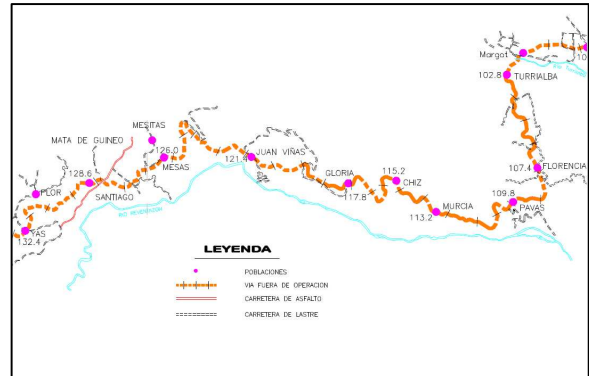


Figura 75. Recorrido completo y ubicación de comunidades

CUADRO 28. Inventario detallado de necesidades, Sección 7, Subdivisión 14		
Necesidad	Dimensión	Observaciones
Zona de deslizamiento	362m	Se debería realizar estabilización de taludes con pernos.
Paso de alcantarillas #1	4m	Se debe construir el paso de aguas.
Muro de contención	158m	Deslizamiento cercano a los rieles, mismo que redujo considerablemente el derecho de vía. Se debe construir muro y recuperarlo, para correcto funcionamiento.
Estabilización de taludes	160m	Ambas márgenes de sección trapezoidal.
Análisis estructural de puente	16m	Se requiere del análisis de cimentaciones y estructura como tal.
Limpieza de puente	16m	Se cuenta con la estructura envuelta en material orgánico, plantas y árboles.
Edificaciones	Varios	Construcción y remodelación de edificaciones.
Ausencia de rieles	285m	Ausencia de rieles o mal estado de los mismos en algunos tramos.

La anterior, corresponde a una imagen donde se muestran las comunidades que están interconectadas por medio de la vía férrea, correspondientes a 28.8km de distancia recorrida y analizada.

La ruta inspeccionada, muestra el abandono total en algunos sectores, donde los derrumbes y deslizamientos han marcado este detalle particular, pues la inaccesibilidad hace que se cuente con 28 años de mantenimiento nulo a la vía férrea, permitiendo que la naturaleza se adueñara de parte importante de la longitud total del tramo en análisis.

Derrumbes, deslaves, hundimientos en el derecho de vía, taludes potenciales a fallar y muchos otros que fallaron por diversas razones, desagües pluviales ineficientes e insuficientes, mal manejo de aguas en general, ausencia total de señalización, árboles, maleza, basura, invasiones provisionales y permanentes al derecho de vía tanto con cultivos como viviendas, son problemas que se aprecian en toda su longitud.

La topografía del terreno es variable, con características particulares, las cuales se describen a continuación:

1. Sección 1 (El Yas – Santiago):
Relativamente plano, con pendientes

- bajas a los costados de la vía. Se dan aportes de varios derrumbes donde existen taludes puntuales de gran altura, donde toda la vía presenta facilidad de acceso para una eventual limpieza en todo el tramo.
2. Sección 2 (Santiago – Quebrada Honda): Un 30% del recorrido con topografía relativamente plana sin presencia de grandes taludes, sin embargo donde la maleza se ha adueñado del derecho de vía por completo.
El restante 70% presenta pendientes elevadas, especialmente al norte de la vía, lo cual ha facilitado gran cantidad de aporte de material y movimiento de la montaña hacia la misma. Presenta sitios de inaccesibilidad productos de inestabilidad de suelo en partes altas.
 3. Sección 3 (Quebrada Honda – Santa Marta): Aumento considerable de las pendientes, especialmente al norte de la vía férrea. De la misma forma, es el sitio donde se inician los deslizamientos fuertes y la desaparición completa del derecho de vía en algunos sectores.
 4. Sección 4 (Santa Marta – Río Chiz): 55% del tramo, corresponde a los cañones de los ríos Reventazón y Chiz, los cuales presentan pendientes altas y generación de mucho movimiento activo del terreno, especialmente por la presencia de fallas geológicas que incrementan las afectaciones en la vía.
Un 45% de sección con pendiente moderada – alta, donde la maleza y el abandono son los presentes en el derecho de vía.
 5. Sección 5 (Río Chiz – Murcia): todo el tramo, rodea una montaña, de gran pendiente que finalizan en el río Chiz y Reventazón. Corresponde al segundo tramo de mayor afectación producto de deslizamientos en los cañones generados por deslizamientos en las quebradas que aportan sus caudales a los ríos mencionados.

6. Sección 6 (Murcia – Pavas): una sección completamente inaccesible en su totalidad, con daños importantes en todo el derecho de vía y en el total de la longitud. Corresponde a las pendientes más altas y las mayores condiciones de abandono de todo el recorrido.
7. Sección 7 (Pavas – Turrialba): Pendientes moderadas – bajas con invasión al derecho de vía por parte de la naturaleza, producto del abandono total al derecho de vía.

Esta parte del proyecto, resalta las condiciones actuales de la vía férrea en su totalidad y da como resultado principal: planos con el levantamiento del recorrido, curvas de nivel, red vial, linderos de las fincas colindantes (mapa catastral), red hidrológica, puntos de control tomados con GPS y detalles varios.

RESULTADOS DE ESTRUCTURA

PLATAFORMA

El mal manejo de aguas en los 28.8km de vía férrea analizada, hizo que el 100% del material de la plataforma (arena) desapareciera por completo, de ahí que este debe sustituirse en su totalidad. Existen métodos de colocación de durmientes sobre el suelo natural debidamente compactado y con ciertas características, sin embargo por las condiciones meteorológicas e inclemencias del clima en esta zona, lo mejor es colocar una cama de material, que evite la contaminación del Balasto con el suelo natural y de la misma forma que le dé nivelación a esta capa de piedra quebrada para soporte de los durmientes y rieles en general.

BALASTO

De la misma forma, no se cuenta con cama de balasto en la totalidad del tramo analizado. Las condiciones a las que se encuentra expuesto este elemento de la estructura de ruedo, es la misma que la Plataforma, de ahí que se debe construir, siguiendo las indicaciones aplicables.

DURMIENTES

Solo existen dos tramos de 20m cada uno, en donde se cuenta con durmientes metálicos, mismos que presentan torceduras y deterioro por corrosión.

Otro punto específico es un puente ubicado cerca de la comunidad de Santa Marta (Figura 49), el cual tiene durmientes de concreto sin sujeción a la estructura principal y en mal estado.

Fuera de estos sitios mencionados, el total del tramo en análisis cuenta con indicios de durmientes de madera en pésimas condiciones o bien ya inexistentes. Las siguientes son imágenes de las condiciones en algunos tramos:



Figura 76. Durmientes de concreto sobre Punte.



Figura 77. Durmientes de madera, en mal estado.

Es por lo anterior que la totalidad de los durmientes deben ser sustituidos, a raíz de las malas condiciones en las que se encuentran.

El mal manejo de aguas, la maleza en los tramos descritos en los cuadros anteriores y la gran cantidad de deslizamientos, han hecho que el deterioro o desaparición de estos elementos sea notable, de ahí la importancia de un cambio total de estos.

RIELES

El 73% de los rieles se encuentran en mal estado, son ausentes o bien está únicamente uno de los dos elementos en el recorrido. Este porcentaje representa 21.051m de vía férrea donde deben sustituirse los rieles o colocarse nuevamente por su inexistencia.

Las siguientes, son las imágenes que representan estos faltantes de rieles según lo observado en sitio:

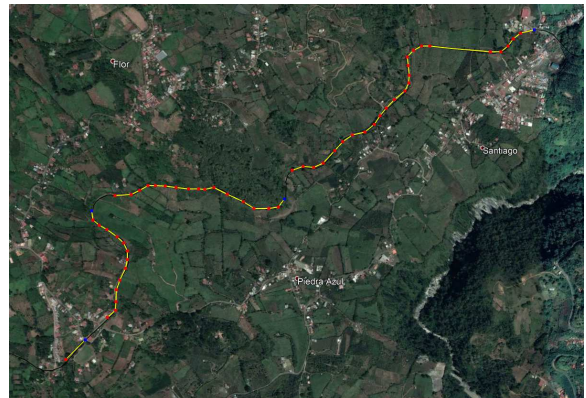


Figura 78. Rieles requeridos, Sección 1. El Yas - Santiago.

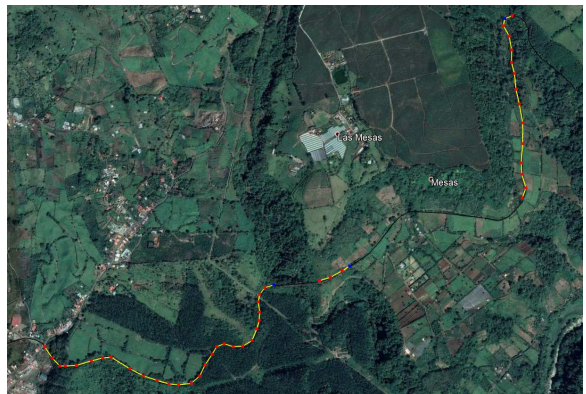


Figura 79. Rieles requeridos Sección 2. Santiago - Q Honda.



Figura 80. Rieles requeridos Sección 3.
Quebrada Honda – Santa Marta.

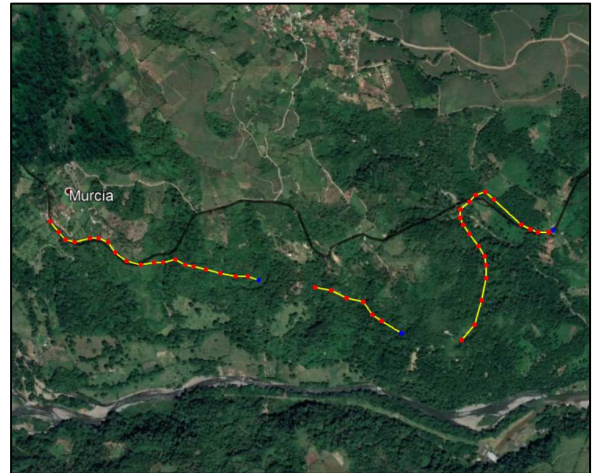


Figura 83. Rieles requeridos Sección 6.
Murcia - Pavas.



Figura 81. Rieles requeridos Sección 4.
Santa Marta – Río Chiz.

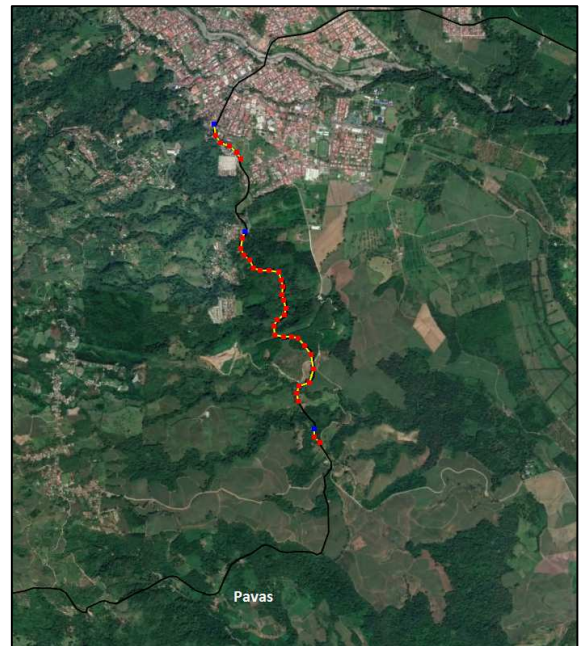


Figura 84. Rieles requeridos Sección 7.
Pavas – Turrialba.

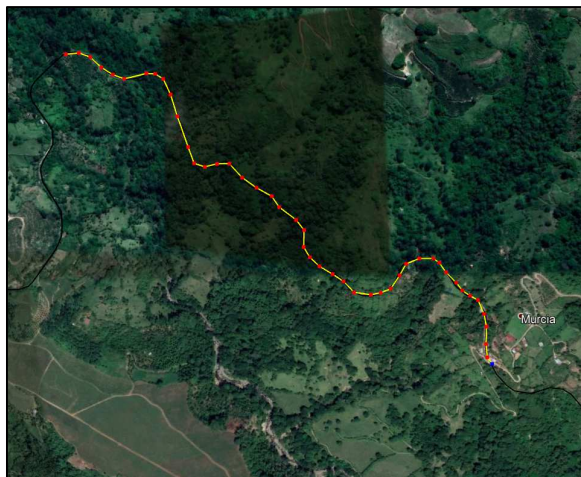


Figura 82. Rieles requeridos Sección 5.
Río Chiz - Murcia.

La justificación y determinación de daño en rieles, correspondió a quebraduras o agrietamientos en la cabeza del elemento específicamente. De la misma manera, en las zonas de mayor cobertura por maleza y presencia de humedad, presentaron comportamiento de descascaramiento en el alma

y cabeza, tal y como se muestran en las siguientes imágenes:



Figura 85. Rieles con agrietamiento.



Figura 86. Rieles con descascamiento en cabeza.



Figura 87. Rieles corroidos en cabeza y alma.

Existen dos tipos de rieles en general (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.

En su momento, esta vía férrea fue utilizada para trasiego de pasajeros y carga, de ahí que los rieles utilizados son del tipo “pesados” y existen de 40lb/yd y 80lb/yd en el tramo. La razón del cambio en algunos sectores, se debe al agotamiento de los rieles de 80lb/yd y en este caso se debían colocar los de menor dimensión. A estos elementos se les denomina comúnmente “rieles de compromiso”.

En total se hallaron:

- a. 560m de rieles en buen estado, de 40lb/yd.
- b. 5018m de rieles en estado aceptable de 80lb/yd.

FIJACIONES Y JUNTAS

Ambos elementos presentan corrosión y una adherencia a los rieles, producto de la misma humedad presente. Se observó que en el total del recorrido, estas uniones están deterioradas y deben ser cambiadas en su totalidad. De la misma forma, en los sectores donde se contaba con clavos como sujeción de los rieles a los durmientes, se presenta un alto grado de corrosión, lo cual puede ser causal de falla de estas piezas, perdiendo así alineamiento de los rieles en general.

ESTACIONES

Se cuenta con los edificios utilizados en su momento, para estaciones en las comunidades de El Yas, Santiago, Santa Marta, Murcia, Pavas, Florencia y Turrialba.

El detalle es similar para todos los lugares y se detalla a continuación:

1. El Yas: recientemente se incendió la antigua estación y actualmente no se tiene estructura. En conversación con vecinos, el Salón Comunal era también parte de los edificios de INCOFER, el cual debería ser recuperado para su utilización, pues fue construido a base de mampostería y está en buenas condiciones.
2. Santiago: Cuenta con una estación que actualmente está en uso por una familia. Es de dos niveles pero presenta muy malas condiciones de estabilidad.
3. Santa Marta: Edificio y talleres completamente destrozados y en malas condiciones. No aptos para su uso.
4. Estación de Murcia: se cuenta en sitio con dos edificios de dos niveles en madera, habitados por familias. Se deben recuperar por parte de INCOFER pues son funcionales hasta cierto punto. Se deberían someter a un proceso de remodelación o bien reconstrucción total.
5. Estaciones Pavas y Florencia: Actualmente no se cuenta con edificios en estos sitios.
6. Turrialba: talleres se derrumbaron hace unos años atrás y el edificio principal está siendo utilizado como soda además de una vivienda para una familia. Todos estos deben ser remodelados y acondicionados según las necesidades. Otro de los edificios cuenta con un taller de mecánica automotriz albergado desde hace más de 20 años.

lamentablemente el movimiento y actividad de las montañas y grandes taludes con los que se contaba, desaparecieron las estructuras existentes.

Por otro lado, estos mismos movimientos, hicieron en algunos casos, que un paso de alcantarillas, se convirtiera en el requerimiento de puentes y grandes trabajos de estabilización de taludes.

PUENTES

Se cuenta con puentes existentes, cuya construcción es de más de 100 años atrás (Figura 68), los cuales deben ser revisados estructuralmente y sufrir una serie de pruebas y estudios para su puesta en operación, donde lo más importante es la revisión de la Cimentación (Concreto, resistencia y estabilidad) y estructura como tal, misma que está consumida por la naturaleza en algunos casos. Por el tipo de materiales, están libres de corrosión, sin embargo es importante este análisis estructural, limpieza y pruebas para garantizar una correcta operación.

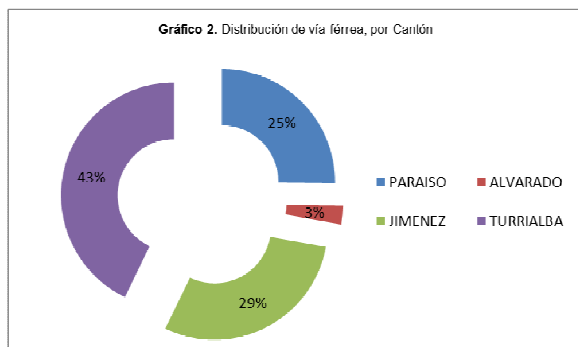
Para otros casos, se recomienda la construcción de puentes nuevos, pues

Análisis de los resultados

ESTADO DE LA VÍA EN GENERAL

El recorrido a la vía férrea en toda su extensión, da como resultado todas las necesidades desde el punto de vista técnico y objetivo, donde se debe verificar de forma unificada, cada uno de los elementos propios de la vía férrea, además de todos aquellos elementos que se requieren para que sea una obra funcional y que pueda entrar en operación y cumplir con su principal objetivo, que es el transporte de pasajeros de una forma segura desde Turrialba hasta Paraíso, sitio donde todo usuario pueda realizar un cambio al tren eléctrico que dará acceso a toda la Gran Área Metropolitana.

Es de esta forma como los Resultados del apartado anterior, detallan cada una de las necesidades del tramo en estudio.



El gráfico anterior muestra la distribución de cada uno de los cantones y el porcentaje de vía férrea que posee dentro de su jurisprudencia o límites territoriales, lo cual es importante para garantizar el compromiso de cada Gobierno Local con el desarrollo eventual de este proyecto y la importancia social y económica que puede impulsarse en estas zonas con la apertura de este medio de transporte.

A nivel de hallazgos, un diagnóstico general de la vía es poco alentador inicialmente, en el sentido de que debe realizarse un trabajo extenso en la recuperación del derecho de vía, pues se cuenta con un 73% afectado por deslizamientos importantes sobre ella, material que debe ser removido y como detalle a tomar en consideración, deslizamientos que afectaron la integridad del derecho de vía y ahora se deben construir obras de contención, rellenos, estabilización de taludes, manejos de aguas, entre otras actividades.



Como bien se puede observar, del 73% que presenta problemas de obstrucción a la vía o complicaciones producto de invasión por maleza y demás afectaciones, un 83% de ese valor requiere del trabajo de maquinaria y recurso humano en la limpieza y recuperación del derecho de vía para poder construir nuevamente la estructura de ruedo para el ferrocarril.

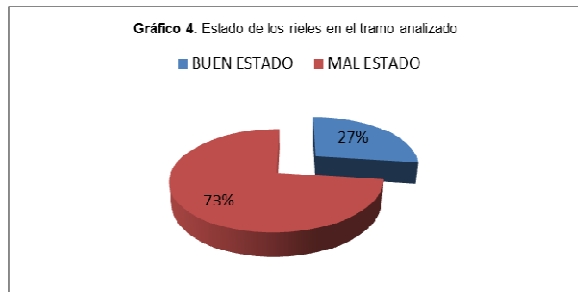
Por su parte, un 17% del total de la vía, correspondiente a 3560.87m, deben ser trabajados no solo en limpieza del derecho de vía, sino en la estabilización de los taludes que fallaron y generaron las afectaciones presentes en dicho tramo.

RIELES

El estado de la vía no mejora, si se habla de las condiciones en las que se encuentran sus rieles, pues un 73% presenta unas de las siguientes tres causas principales de afectación:

1. Corrosión, especialmente en cabeza del riel. Básicamente el problema se genera en que los rieles están enterrados y es visible únicamente la cabeza. De la misma forma, cuando se tiene riel expuesto en su totalidad, la corrosión es en cabeza y alma.

2. Existencia de un solo riel o bien que uno esté en buen estado y el segundo presente problemas de corrosión.
3. Ausencia total de rieles.



Es así como lo que se considera estar en buen estado, podría ser utilizado en Apartaderos o pasos que INCOFER define para la puesta en marcha de la línea férrea. Es importante mencionar que los rieles en buen estado, cuentan con problemas de corrosión en sus uniones, específicamente en sus sujeciones con los durmientes. Es decir, las eclisas y fijaciones presentan serios problemas de corrosión en el 100% de las uniones.

Como lo recomiendan Bolaños y Hernández (2007), en cuanto a las características de la línea, en los rieles es importante eliminar el excesivo uso de cupones (cabos de riel para rellenar espacio en juntas de rieles), o al menos disminuirlos al máximo y utilizarlos solo en caso de emergencia. Para esto se puede cambiar el riel por otro de mayor longitud y el antiguo utilizarlo en otro sector. Esto es parte de las menciones de Coto (2009).

Además, el estudio técnico anterior mencionado, sugiere el uso de la soldadura de rieles, en lugar de realizar la junta con eclisas, ya sea manual, eléctrica o aluminotérmica.

Esta soldadura es de cuidado y no debe permitir enfriamientos súbitos de temperatura, así como también es mucho mejor cuando se cortan los finales de rieles dañados, específicamente por las deficiencias presentes en las uniones corroídas de las fijaciones y eclisas antes mencionadas.

Según las indicaciones que el INCOFER sugiere a través del documento de CALOMEX (1986), para la aplicación de soldadura aluminotérmica y obtener buenos resultados, es necesario seguir instrucciones puntuales tales como preparación de la junta para soldar,

alineamiento, colocación de moldes, precalentamiento, reacción, colada, desmoldado y, finalmente, corte y limpieza.

En las juntas que se utilizan eclisas, deben estar totalmente sujetas con tornillos y tuercas. Los anteriores no deben padecer ningún estado corrosivo grave. Con la soldadura se le da una mayor calidad a la línea, pues no existe junta causante de muchos daños. Además, se uniformiza la separación de traviesas. (Bolaños y Hernández, 2007).

Es necesario realizar un inventario de los tornillos y elementos faltantes en las eclisas y cerciorarse de que no estén flojos, aunque en las inspecciones se verificó el alto nivel de corrosión y daño que presentan en general. Estos daños amplían el riesgo de estos elementos, es decir, el fallo producto por la corrosión y debilitamiento del elemento es considerable y se debe tomar la decisión de cambiar el total de estos en lugar de pretender reutilizarlos.

Al ser Costa Rica un país tropical, con alta humedad, es importante buscar soluciones. Los gastos que genera la corrosión no son solo el reemplazo de la pieza deteriorada, sino los recubrimientos (pinturas), traer nuevamente el material, la mano de obra, entre otros.

Mediante muestras, podría el Instituto Tecnológico de Costa Rica realizar una investigación con un grupo de profesionales y estudiantes para determinar el deterioro de la línea férrea y estructuras de puentes. Sin embargo, sería mejor invertir en cambiar las piezas dañadas usando acero similar ASTM 588, resistente a la corrosión.

Además, otro componente sugerido en el estudio técnico de Bolaños y Hernández (2007), es importante que el riel se amortigüe con una placa de caucho sobre la traviesa, esto evita que se produzcan daños o hundimientos en la traviesa. De la misma forma la plataforma sobre la cual se colocaría la cama de arena para recibir el Balasto, debe contar con suficiente compactación para evitar este movimiento del suelo o bien hundimientos en la vía. De ahí la importancia también de contar con estudios de suelos para garantizar la estabilidad de los mismos en todo el recorrido, para que de esta forma se garantice el uso de suelo firme o bien plantear sustituciones de suelos para casos específicos.

TRAVIESAS

En todo el recorrido, se logró observar el mal estado de las traviesas en general, especialmente por su exposición a condiciones extremas de humedad o bien al estar enterrados a raíz de deslizamientos o material de poca altura sobre el derecho de vía. La maleza en exceso fue otro factor determinante para el deterioro del 100% de las traviesas. Estos detalles se pueden observar en las Figuras 76 y 77, donde el daño es notable para estas condiciones mencionadas.

Otro detalle importante, es que a raíz del uso de la vía como camino de acceso para peatones y vehículos, las traviesas fueron destrozadas, haciendo de estas, otra de las razones del deterioro de estos elementos. En la siguiente imagen se observa este detalle mencionado:



Figura 88. Deterioro de traviesas por tránsito vehicular.

Es por lo anterior que como recomendación inicial, las traviesas deben ser removidas y sustituidas en su totalidad, para lograr uniformidad, nivelación, durabilidad, seguridad y trabajabilidad en toda la estructura.

El plan de reconstrucción de esta vía, como lo indicó INCOFER en reuniones sostenidas para este proyecto, debe contemplar el uso de traviesas de concreto en todo el recorrido y elementos de madera en los puentes para lograr menor peso en la estructura. Así, las traviesas de concreto reforzado, pueden ser de las siguientes formas:

1. Traviesa mixta (traviesas de dos bloques con riostra): es de fácil fabricación, más

flexible para evitar los momentos de torsión o flexión, lo que no pueden hacer los bloques monolíticos, mayor estabilidad lateral debido a que siempre oponen dos caras. Además tienen la ventaja de absorber las vibraciones (Rivera, 1969), como las diseñadas por IMNSA.

2. Traviesas de concreto preesforzado: es una combinación de pretensado y postensado. Los alambres se tensan previamente en el molde, esta pretensión es dada por unas placas que quedan dentro de la traviesa y que garantizan que la pretensión no solo se transmite por adherencia, sino también por anclajes (Rivera, 1969).

Detalles importantes a tomar en consideración para la reconstrucción, mencionados por Coto M. (2009) y que a su vez solicita INCOFER como parte de su control de calidad a la hora de las contrataciones de reconstrucción, es tener presente los siguientes detalles:

- a. Se deben uniformar las distancias de separación de las traviesas a cada 60 cm centro a centro.
- b. En puentes, máximo a cada 50 cm centro a centro.
- c. Se recomienda que las traviesas sean del mismo material, de lo contrario al transmitir la carga se deforman unos más que otros debido a la rigidez diferente de los distintos materiales, lo que causa un rodamiento irregular del tren.
- d. Además, su colocación debe ser adecuada para evitar que queden mal apoyadas y el impacto contra el balasto (cuando pasaba el tren) causa que se quiebren con la consiguiente pérdida.

BALASTO

Como bien se ha mencionado en reiteradas ocasiones, se da una ausencia total de balasto en todo el recorrido. En el marco teórico se mencionó que existe la práctica y uso de traviesas colocadas directamente sobre la plataforma (suelo natural compactado), sin uso de una cama de arena para estabilizar el balasto y colaboración del drenaje de aguas en la vía; sin

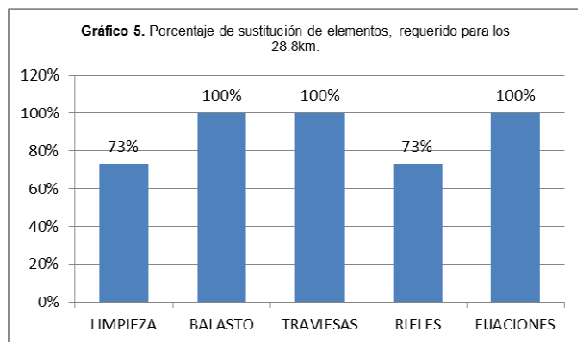
embargo, para una sección montañosa, de alta humedad y presencia de cuerpos de agua constantes y permanentes, como la estudiada, es importante colocar balasto en todo el recorrido, para garantizar la baja o nula movilidad de los durmientes, y drenar el agua de forma que se evite el deslave en los alrededores de la estructura de ruedo.

El material para el balasto debe cumplir con las especificaciones especiales que se muestran en el Manual de Calidad para Materiales en la Sección Estructural de Vías Férreas o también en las especificaciones del manual AREA que utiliza el INCOFER.

Como recomendaciones fundamentales, se tienen las siguientes:

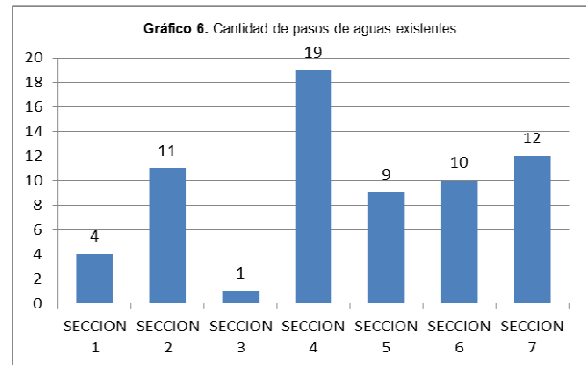
1. Este material es de roca quebrada de tamaño máximo de 5cm de diámetro, angular (no redondeado)
2. Se debe suponer una colocación de una capa de 25-30cm.
3. Con una proporción del orden de 1m³/m lineal.

Es por lo anterior, que el siguiente gráfico resume de una forma general lo descrito hasta el momento, donde se demuestra a la vez el gran deterioro que presenta la estructura de ruedo actualmente.



MANEJOS DE AGUAS

De los puntos más importantes que definen la durabilidad de la estructura, taludes y terrazas de ruedo, es el manejo de aguas.



Se cuenta únicamente en 28.8km con 66 pasos de aguas, lo que genera una evacuación de aguas pluviales, de aproximadamente:

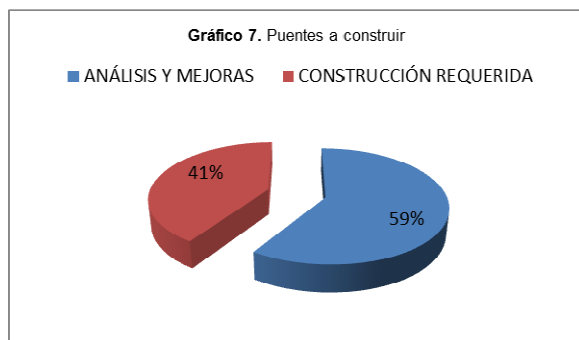
1. 5 pasos de aguas por cada 2km.
2. 1 paso de aguas cada 436m

De la misma forma, es importante mencionar que de estos pasos de aguas, el 25% (17 unidades) se generaron por los deslizamientos en los últimos 30 años de inactividad del tren hacia el Atlántico. Estos puntos específicos, al requerir de un puente o bien de tratamiento de esa zona, se plantea la construcción de una salida de aguas para drenar por completo el sector, que por la misma humedad en la mayoría de los casos, generó el deslizamiento.

Finalmente, como parte de las recomendaciones generales, se establece en la etapa de presupuestación de este proyecto, la construcción de cunetas a lo largo de toda la vía, para facilitar la evacuación de aguas hacia los pasos de alcantarillas y puentes. Esto hará que se mantenga desfogada la vía por completo y se logre canalizar el agua pluvial hacia puntos seguros de desfogue a cuerpos de agua más cercanos.

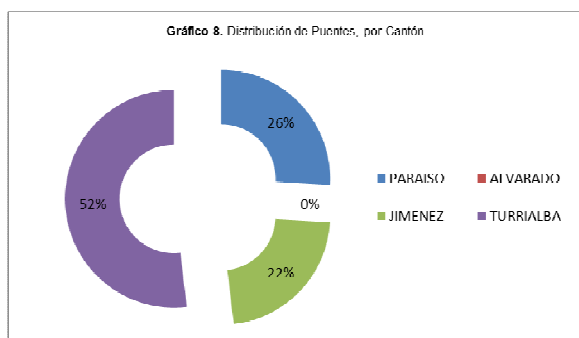
PUENTES

Para el recorrido realizado, se cuenta con 27 sitios donde es requerido un puente, ya sea porque en su momento existió una obra de este tipo o bien que ahora se requiera porque los deslizamientos generaron cauces de gran envergadura y no se pueda atravesarlos por medio de alcantarillas.



Visto lo anterior, se cuenta con un 59% de estructuras, las cuales ya existían en sitio y se requiere de un análisis estructural general para determinar su puesta en operación de forma segura. Este análisis debe incluir lo siguiente:

1. Pruebas para la cimentación.
2. Pruebas de soporte para los bastiones.
3. Análisis de requerimiento de bastiones (pues muchas estructuras están directamente apoyadas en el suelo)
4. Altura de estructura con respecto al espejo de agua (cuando exista un cauce natural).
5. Estabilidad del suelo en sus márgenes.
6. Cumplimiento de la estructura metálica con la normativa vigente (pues los puentes fueron construidos hace más de 100 años).



Así, de lo anterior se nota como el cantón de Turrialba es el más necesitado de pasos mediante puentes y según los cuadros en el apartado de Resultados, es evidente que los deslizamientos en la zona de Murcia y lugares cercanos a Pavas, es donde más estructuras se requieren. Es además consecuente con que, a mayor longitud de vía férrea en cada cantón,

mayor es el requerimiento de estructuras de este tipo.

PLAN DE RECONSTRUCCIÓN

INCOFER ha definido este trabajo como reconstrucción total de obras y no mantenimiento de la vía existente, esto a raíz de la longevidad y los daños hallados en las inspecciones.

Es de esta forma, como se debe seguir el siguiente plan de trabajo, posterior a la tramitología administrativa de permisos y demás, para la puesta en operación de la vía en general en el tramo entre El Yas y Turrialba:

- a. Trabajos de sierra y corta de árboles.
- b. Recuperación de rieles y elementos de toda la estructura de ruedo.
- c. Limpieza con maquinaria de todo el derecho de vía.
- d. Limpieza de derrumbes y construcción de taludes.
- e. Estabilización de taludes y valoración uso de concreto en donde se requiera.
- f. Construcción de muros de contención.

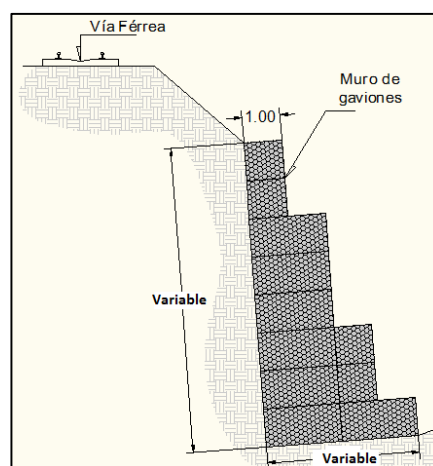


Figura 89. Detalle típico para muros de gavión propuestos. Pérez y Schmidt 2012.

- g. Rellenos entre muros y la terraza principal de ruedo.
- h. Pasos de alcantarillas.
- i. Construcción de puentes.
 - a. Se asume la construcción por completo del 100% de las estructuras, a sabiendas de que

existe la posibilidad de que algunas puedan seguir cumpliendo su función.

- b. El requerimiento de reconstrucción total responde a un estudio para cada una de las estructuras, no se determina en los alcances de este proyecto.
- c. El asumir la construcción total, se verá reflejado en un alto costo a la hora de la presupuestación. Monto que puede verse reducido considerablemente si se determina que algunas estructuras importantes puedan mantenerse.
- j. Construcción de cunetas y manejos de aguas en general.
- k. Construcción de línea férrea
- l. Señalización en general.
- m. Edificaciones y Andenes.

EDIFICACIONES

Se cuenta con edificios para estaciones en:

1. El Yas
2. Santiago
3. Santa Marta
4. Murcia
5. Pavas
6. Florencia
7. Turrialba

Todos los edificios actualmente están en malas condiciones y tres de ellos habitados por vecinos de la zona (se desconoce si cuentan con permisos especiales de uso).

Por recomendación de INCOFER, se debe realizar la propuesta de ubicación de edificios para estaciones y tomar en cuenta la construcción de Andenes, los cuales sirvan de parada únicamente con sistemas de boletería electrónica, en puntos estratégicos, los cuales puedan hacer que las personas tengan algún punto intermedio entre las comunidades de Paraíso y Turrialba.

Es de esta forma, como se considera que la mejor ubicación para estos edificios es la siguiente:

CUADRO 29. Propuesta de Edificaciones		
COTA	UBICACIÓN	PROPUESTA
0+170	El Yas	Andén
4+016	Santiago	Andén
11+035	Santa Marta	Andén
19+016	Murcia	No construcción
22+446	Pavas	No construcción
24+434	Florencia	No construcción
28+802	Turrialba	Parada Intermodal

El criterio utilizado para la definición de edificaciones es:

- a. El costo de construcción por edificio o andén.
- b. Cantidad de personas que habitan la zona propuesta.
- c. Pueblo establecido (sin importar la importancia que haya tenido cuando operaba el tren en su momento).

Para esta propuesta, se cuenta con una sección de 17.8km, donde no se tendría una parada establecida del tren (Turrialba – Santa Marta); sin embargo, no es recomendable la construcción de obra alguna, a raíz de que cada estructura supera los ₡150millones de colones, de ahí que se dejaría como una segunda etapa de construcción, pues el uso sería sumamente bajo en comparación al monto a invertir.

Presupuesto

La base de esta etapa, fue la organización de las actividades requeridas para la rehabilitación de la vía férrea, de forma tal que posteriormente se pudiera cuantificar lo indicado, tomando en cuenta costos unitarios aportados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER). Ambas instituciones son la fuente para estos costos unitarios.

De la misma forma es importante aclarar que las dimensiones indicadas, corresponden a medidas en sitio hechas durante el recorrido, y de ahí es que se obtuvo el costo aproximado que se observa a continuación:

PRESUPUESTO RECONSTRUCCIÓN VÍA FÉRREA EL YAS - TURRIALBA (28.8km)

MATERIAL:	CANT:	UNID.	COSTO MATERIAL:	COSTO SUBCONT:	COSTO MANO DE OBRA:	SUBTOTAL MATERIAL:	SUBTOTAL SUBCONT:	SUBTOTAL MANO OBRA:
GRUPO # 1 ACTIVIDADES PRELIMINARES								
ACTIVIDAD # 1,1 TOPOGRAFÍA								
Topografía Inicial de tramo	115	días			€ 112.000,00			€ 12.880.000,00
Topografía durante Reconstrucción	6	meses			€ 2.240.000,00			€ 12.992.000,00
Servicios básicos (Hosp. Alim. Transp)	230	días	€ 100.000,00					€ 23.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ 23.000.000,00	€ -	€ 25.872.000,00
ACTIVIDAD # 1,2 ESTUDIOS DE SUELOS								
Pruebas de resistencia para terraza	60,00	perf.		€ 200.000,00				€ 12.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 12.000.000,00	€ -
ACTIVIDAD # 1,3 ELABORACIÓN DE PLANOS Y TRAMITOLOGÍA								
Diseños, Planos	1,00	global		€ 10.000.000,00				€ 10.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 10.000.000,00	€ -
GRUPO # 2 LIMPIEZA DE DERECHO DE VÍA								
ACTIVIDAD # 2,1 TALA DE ÁRBOLES (SIERREROS)								
Corta de árboles	10,00	días			€ 400.000,00			€ 4.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ -	€ 4.000.000,00
ACTIVIDAD # 2,2 RECUPERADORES DE ELEMENTOS								
Recuperación de elementos	60,00	días			€ 200.000,00			€ 12.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ -	€ 12.000.000,00
ACTIVIDAD # 2,3 LIMPIEZA DE DERECHO DE VÍA								
Excavadoras 20ton (13 unidades)	58,00	días		€ 360.000,00				€ 20.880.000,00
Vagonetas	2.575,00	viajes		€ 57.200,00				€ 147.290.000,00
Lastre (sustitución y caminos en terraza)	8.640,00	m3	€ 11.500,00					€ 99.360.000,00
Servicios básicos (Hosp. Alim. Transp)	58,00	días	€ 595.000,00					€ 34.510.000,00
Mano de obra Limpieza	58,00	días			€ 868.000,00			€ 50.344.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ 133.870.000,00	€ 168.170.000,00	€ 50.344.000,00
ACTIVIDAD # 2,4 ATENCIÓN DE DERRUMBES								
Excavadoras 20ton (2 unidades)	60,00	días		€ 360.000,00				€ 21.600.000,00
Servicios básicos (Hosp. Alim. Transp)	60,00	días	€ 490.000,00					€ 29.400.000,00
Estabilización de taludes	17.636,00	m2		€ 54.000,00				€ 952.344.000,00
Mano de obra (1 Insp. + 2 Peón)	60,00	días			€ 52.000,00			€ 3.120.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ 29.400.000,00	€ 973.944.000,00	€ 3.120.000,00
GRUPO # 3 MUROS DE CONTENCIÓN								
ACTIVIDAD # 3,1 MUROS DE CONTENCIÓN								
Muros de Gavión (5m altura)	140,00	m		€ 850.000,00				€ 119.000.000,00
Muros de Gavión (4m altura)	330,00	m		€ 650.000,00				€ 214.500.000,00
Muros de Gavión (3m altura)	50,00	m		€ 300.000,00				€ 15.000.000,00
Muros de Gavión (2m altura)	310,00	m		€ 250.000,00				€ 77.500.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 426.000.000,00	€ -
GRUPO # 4 PASOS DE ALCANTARILLAS								
ACTIVIDAD # 4,1 PASOS DE ALCANTARILLAS								
Construcción pasos de alcantarillas	66,00	unidad		€ 535.254,00				€ 35.326.764,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 35.326.764,00	€ -
GRUPO # 5 PUENTES								
ACTIVIDAD # 5,1 CONSTRUCCIÓN DE PUENTES								
Puentes	5.350,00	m2		€ 2.330.000,00				€12.465.500.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€12.465.500.000,00	€ -
GRUPO # 6 RECONSTRUCCIÓN DE LÍNEA FÉRREA								
ACTIVIDAD # 6,1 RECONSTRUCCIÓN DE LÍNEA FÉRREA								
Reconstrucción total de Línea Férrea	27,73	km		€ 360.000.000,00				€ 9.983.520.000,00
Mano de obra	616,00	días		€ 520.000,00				€ 320.320.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€10.303.840.000,00	€ -
GRUPO # 7 MANEJOS DE AGUAS								
ACTIVIDAD # 7,1 CUNETAS								
Construcción de Cunetas	24.300,00	m		€ 49.878,00				€ 1.212.035.400,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 1.212.035.400,00	€ -
GRUPO # 8 SEÑALIZACIÓN								
ACTIVIDAD # 8,1 SEÑALIZACIÓN FÉRREA								
Señalización Férrea	28,80	km		€ 120.000.000,00				€ 3.456.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 3.456.000.000,00	€ -
ACTIVIDAD # 8,2 SEÑALIZACIÓN VIAL EN PASOS FÉRREOS 60 m								
Señalización en intersecciones	6,00	un		€ 66.000.000,00				€ 396.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 396.000.000,00	€ -
GRUPO # 9 EDIFICACIONES								
ACTIVIDAD # 9,1 EDIFICACIONES								
Construcción de Andenes	3,00	un		€ 150.000.000,00				€ 450.000.000,00
Construcción de Parada Intermodal	1,00	un		€ 420.000.000,00				€ 420.000.000,00
SUB-TOTALES ACTIVIDAD:						€ -	€ 870.000.000,00	€ -
SUB-TOTALES=						€ 186.270.000,00	€ 30.328.816.164,00	€ 95.336.000,00

CIERRE DE PRESUPUESTO:

MATERIALES.	¢	186.270.000,00
SUBCONTRATOS.	¢	30.328.816.164,00
MANO DE OBRA.	¢	95.336.000,00
CONTROL DE CALIDAD 1.5%	¢	459.885.652,86
CARGAS SOCIALES 51%	¢	48.621.360,00
		<hr/>
		¢31.118.929.176,86
IMPREVISTOS 7%	¢	2.178.325.042,38
		<hr/>
SUBTOTAL COSTOS OPERACIÓN	¢	33.297.254.219,24
ADMINISTRACIÓN 7%		¢2.330.807.795,35
		<hr/>
TOTAL=	¢	35.628.062.014,59
		<hr/>
TOTAL=		\$60.259.897,87

La siguiente, corresponde a la información que justifica cada uno de los montos y dimensiones utilizadas para la obtención del monto total señalado, de la misma forma, algunos criterios utilizados para que sean valorados y tomados en cuenta para una correcta puesta en marcha de esta obra.

TOPOGRAFÍA

Se propone una cuadrilla de topografía que realice el levantamiento de toda la vía férrea actual. La razón de esta propuesta es que en el recorrido realizado, se observaron diferencias con respecto a la cartografía que se tiene en el Registro Nacional, de ahí la importancia de contar con estudios recientes que contemplen lo siguiente:

1. Anchos de terrazas para reconstrucción.
2. Levantamiento de la sección total de vía férrea.
3. Secciones donde se encuentran los puentes y pasos de alcantarillas.
4. Altimetría para todo el tramo en estudio.

A esta cuadrilla se le asignó el respectivo costo de los servicios requeridos de alimentación, hospedaje y transporte para la ejecución de sus labores; y por ser personal que normalmente es de confianza y propios de la institución estatal, que realizará el trabajo, en este caso INCOFER.

Esta misma cuadrilla se toma en cuenta para todo el resto del trabajo, de forma tal que se vayan verificando las dimensiones y altimetrías de elementos, alineamiento de toda la estructura

férrea y demás labores de estabilización de taludes y movimientos de tierras.

ESTUDIOS DE SUELOS

Se proponen perforaciones a cada 500m para conocer la ubicación de estratos estables en todo el tramo en análisis, de forma tal que se puedan proponer y cuantificar sustituciones de suelos para la estabilidad de la vía férrea en general.

Es mediante estas pruebas que se logrará tener certeza de la calidad de los suelos y los requerimientos reales en estas zonas de alta peligrosidad y vulnerabilidad por deslizamientos.

LIMPIEZA DE DERECHO DE VÍA

Se plantea el inicio de actividades con la remoción de árboles y para esto se debe contratar con una serie de personas que realicen esta actividad con equipo especial (sierras), y se ejecute posteriormente únicamente la carga de este material orgánico.

De la misma forma, otra cuadrilla de trabajadores debería estar delante de los trabajos de limpieza con maquinaria, para remover todos aquellos elementos metálicos en buen o mal estado, básicamente para garantizar la integridad de los equipos a la hora de la excavación. Es importante tener únicamente material orgánico y suelo natural, y eliminar manualmente todo obstáculo metálico de la vía que afecte lo antes mencionado.

La limpieza propiamente, se planteó en 7 frentes de trabajo en simultáneo, de forma tal que se puedan aprovechar los tiempos de ejecución y garantizar la salida de los equipos de una forma ágil. Así, se ubicaron los puntos de calles públicas e intersecciones entre vías vehiculares y férreas, de forma tal que se cuente con el ingreso de maquinaria por esos sectores.

1. SECCIÓN 1: 4 frentes de trabajo
2. SECCIÓN 2: 3 frentes de trabajo
3. SECCIÓN 3: 2 frentes de trabajo
4. SECCIÓN 4: 3 frentes de trabajo
5. SECCIÓN 5: 2 frentes de trabajo
6. SECCIÓN 6: 2 frentes de trabajo
7. SECCIÓN 7: 4 frentes de trabajo

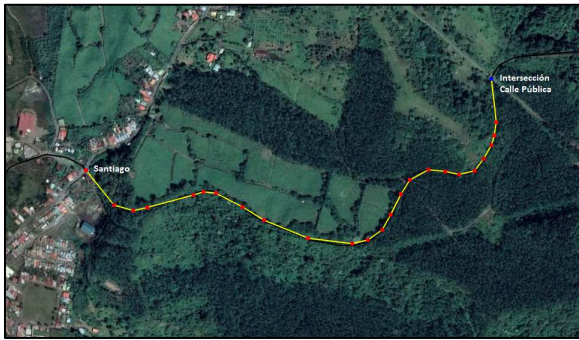


Figura 90. Frentes de trabajo para limpieza.

Como ejemplo se cuenta con la imagen anterior donde el criterio utilizado fue el siguiente:

- a. Se cuenta con dos accesos (comunidad de Santiago y calle pública al este)
- b. Ingresan cuadrillas y excavadoras para limpieza
- c. Se encuentran en algún punto durante sus labores de limpieza. Esto reduce a la mitad el requerimiento de equipos.

Es de esta forma como en todo el recorrido se hallaron los posibles sitios de ingreso para maquinaria, se determinó la continuidad de ella para realizar labores en simultáneo o bien en actividades Fin – Comienzo (hablándolo en términos de programación).

Se toma en cuenta una excavadora para cada labor de corte y limpieza básicamente por el radio de giro en la terraza. Al ser sitios reducidos, un Back Hoe no cuenta con ese radio para corte y carga de la vagoneta.

Se propone la colocación de lastre grueso en la plataforma, pues el ingreso continuo de vagonetas lo deteriorará con facilidad, de ahí que para estabilizar estos equipos es requerido el uso de este material. Ahora bien, la idea es que se ingrese lastre y el mismo camión se cargue de regreso con material orgánico y el corte de la maleza y en un ciclo se realicen las dos actividades. De esta forma se lograría continuidad en los trabajos y se optimiza el uso de equipos.

Una vez que se finalice la limpieza superficial de toda la sección de vía férrea, se tomarían equipos específicos para que se trabajen los taludes en la conformación y estabilización de los derrumbes hallados en la vía.

CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN

Tomando en cuenta la Figura 89, se debe realizar una labor de construcción de muros y relleno para la recuperación de toda la sección de la plataforma. Trabajo que se realiza posterior a la limpieza general de la vía.

PASOS DE ALCANTARILLAS

Se toman en cuenta únicamente los 66 puntos observados en sitio, sin embargo se debe valorar la ubicación de más sitios de desfogue, que garanticen la correcta evacuación de las aguas pluviales y eviten los deslaves o pérdidas de secciones importantes de la estructura.

Estos trabajos fueron presupuestados con datos de pasos de alcantarillas y construcción de cabezales para caminos. El costo unitario toma en cuenta la construcción de ambos elementos utilizando tubería de concreto, cuyo diámetro debe someterse a un diseño con su respectivo análisis de cuenca para cada caso.

PUNTES

El presupuesto toma en cuenta la reconstrucción de todas las estructuras halladas. Corresponde a 1070m de longitud total de puentes entre existentes y requeridos.

La razón por la cual se establece de esta forma es por querer utilizar datos conservadores, pues al contar con estructuras de más de 100 años de existencia y bloques de cimentación con concretos fracturados y en mal estado, se asume que se deberá contar con obras nuevas para este punto.

RECONSTRUCCIÓN DE VÍA FÉRREA

Se toma el costo unitario entregado por INCOFER para obras actualmente en ejecución, de ahí que se consideren como reales y actualizados a la fecha. Este costo contempla las siguientes actividades:

1. Colocación de balasto
2. Colocación de traviesas de concreto
3. Colocación de rieles con todos los sistemas de fijación, donde se recomienda para las traviesas de concreto, el uso de fijaciones del tipo E-clip, según lo solicita el INCOFER en sus contrataciones actualmente.
4. Soldadura para uniones entre rieles
5. Cambiar vías
6. Juegos de traviesas para cambiar vías
7. Traviesas de madera para puentes
8. Mano de obra
9. Maquinaria
10. Acarreo de balasto
11. Arena y acarreo

Como proceso lógico, esta actividad se llevará a cabo cuando se tenga toda la vía completamente limpia y estabilizada.

MANEJOS DE AGUAS

Se propone la construcción de cunetas en todo el tramo a rehabilitar, a excepción de las secciones de puentes, las cuales corresponden a 1070m de longitud. Así, se toma en cuenta la cuneta a un solo lado de la plataforma para que se llegue a los desfogues existentes y de esta forma contar con la correcta salida de aguas del sistema ferroviario.

Se propone sección "V" de concreto sin refuerzo, únicamente apoyado sobre el terreno natural al pie de los taludes.

SEÑALIZACIÓN

En Costa Rica no es usual el colocar la Señalización Férrea por su alto costo, sin embargo, es de suma importancia conocer su impacto a nivel de presupuesto y dejar a criterio de INCOFER si a la hora de la reconstrucción, se coloca o no. Se utiliza el costo aportado por esta entidad y más adelante se observará el efecto que tiene con respecto a las demás actividades a ejecutar.

Con respecto a la señalización vertical en las intersecciones, se define como de colocación obligatoria o de suma importancia en:

1. El Yas.
2. Santiago.
3. Noche Buena.
4. Cruce Abastecedor La Gloria, Turrialba.
5. Ruta Nacional #10.
6. Inicio de "Las Palmeras", Parada Intermodal Turrialba.

Estas seis unidades son las tomadas en cuenta, a raíz de la importancia de las calles públicas que interceptan la vía férrea.

EDIFICACIONES

Se propone el uso de Andenes en El Yas, Santiago y Santa Marta únicamente. Para Turrialba, una parada intermodal con las instalaciones que se requieran (talleres y área administrativa). Esta denominación hace que se tenga prevista la ampliación de ruta hacia el Caribe del país, haciendo que en un futuro se continúen los trabajos hasta Siquirres y posteriormente a Limón como se hacía años atrás.

Todo este tema de señalización y edificios, responde a una indicación de INCOFER en reunión sostenida para la preparación y presentación de este proyecto.

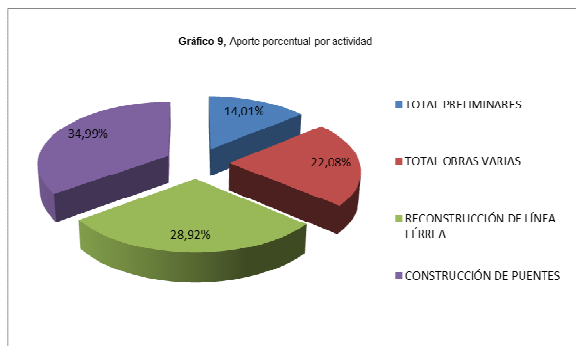
Es de esta forma como se establece el presupuesto para la rehabilitación de la línea ferroviaria entre las comunidades de El Yas y Turrialba, cuyo costo total es de \$60 millones aproximadamente, distribuidos de la siguiente forma:

CUADRO 30. Resumen de costos por actividad		
Actividad	Costo	Porcentaje
TALA DE ÁRBOLES (SIERREROS)	\$6.765,44	0,01%
ELABORACIÓN DE PLANOS Y TRAMITOLOGÍA	\$16.913,61	0,03%
ESTUDIOS DE SUELOS	\$20.296,33	0,03%
RECUPERADORES DE ELEMENTOS	\$20.296,33	0,03%
PASOS DE ALCANTARILLAS	\$59.750,29	0,10%
TOPOGRAFÍA	\$110.072,25	0,18%
LIMPIEZA DE DERECHO DE VÍA	\$623.420,47	1,03%
SEÑALIZACIÓN VIAL EN PASOS FÉRREOS	\$669.778,77	1,11%
MUROS DE CONTENCIÓN	\$720.519,59	1,20%
CONTROL DE CALIDAD 1.5%	\$777.832,44	1,29%
EDIFICACIONES	\$1.471.483,66	2,44%
ATENCIÓN DE DERRUMBES	\$1.729.705,57	2,87%
CUNETAS	\$2.049.988,84	3,40%
IMPREVISTOS 7%	\$3.684.333,00	6,11%
ADMINISTRACIÓN 7%	\$3.942.236,31	6,54%
SEÑALIZACIÓN FÉRREA	\$5.845.341,99	9,70%
RECONSTRUCCIÓN DE LÍNEA FÉRREA	\$17.427.508,29	28,92%
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES	\$21.083.654,69	34,99%

Existen cuatro grandes grupos que a nivel porcentual, definen el rumbo del presupuesto en general:

1. Construcción de Puentes: **34.99%**
2. Reconstrucción de vía férrea: **28.92%**
3. Actividades preliminares: **14.01%**
4. Construcción obras varias: **22.08%**

Es claro que la construcción de puentes totalmente nuevos, es clave para la reconstrucción del tramo en análisis, de ahí que el estudio estructural de cada elemento es fundamental para el proyecto, pues representa cerca del 35% del costo total de la obra. Una disminución en el costo, puede significar la viabilidad o no de esta obra, de ahí la importancia de una revisión detallada y ajuste de los puentes a la normativa vigente actual.



CUADRO 31. Aporte porcentual por actividad	
Actividad	Porcentaje
ELABORACIÓN DE PLANOS Y TRAMITOLOGÍA	0,03%
ESTUDIOS DE SUELOS	0,03%
CONTROL DE CALIDAD 1.5%	1,29%
IMPREVISTOS 7%	6,11%
ADMINISTRACIÓN 7%	6,54%
TOTAL PRELIMINARES	14,01%
TALA DE ÁRBOLES (SIERREROS)	0,01%
RECUPERADORES DE ELEMENTOS	0,03%
PASOS DE ALCANTARILLAS	0,10%
TOPOGRAFÍA	0,18%
LIMPIEZA DE DERECHO DE VÍA	1,03%
SEÑALIZACIÓN VIAL EN PASOS FÉRREOS	1,11%
MUROS DE CONTENCIÓN	1,20%
EDIFICACIONES	2,44%
ATENCIÓN DE DERRUMBES	2,87%
CUNETAS	3,40%
SEÑALIZACIÓN FÉRREA	9,70%
TOTAL OBRAS VARIAS	22,08%
RECONSTRUCCIÓN DE LÍNEA FÉRREA	28,92%
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES	34,99%

La reconstrucción de vía como tal, contempla la colocación de todos los elementos que conforman la estructura de ruedo del ferrocarril y posee un costo unitario de \$600mil/km, lo cual representa el segundo monto más importante del costo total de obra, siempre y cuando no se realicen cambios a nivel de puentes, que generen una disminución del mismo.

Las denominadas Obras Varias, corresponden a trabajos que se deben realizar de forma obligatoria, de lo contrario no se puede garantizar la puesta en operación del ferrocarril. Es importante tomar en cuenta que una vez que se logren realizar los trabajos de limpieza, se debe llevar a cabo una inspección general, para determinar las dimensiones reales de las afectaciones, especialmente:

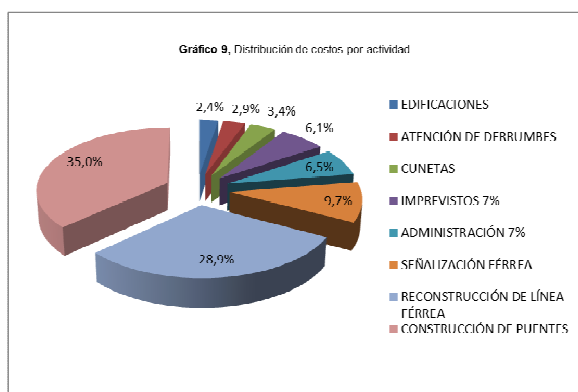
1. Pasos de alcantarillas
2. Muros de contención
3. Atención de derrumbes
4. Cunetas

Estas cuatro actividades, representan un 7.57% del costo total de obras, por lo tanto una disminución de su valor a raíz de correcciones a ejecutar, puede significar una disminución considerable en los costos de la obra.

Como detalle adicional, está el tema de la Señalización. Ambos tipos, representan un 10.81% del valor total de ejecución, lo cual significa \$6.5 millones que deben valorarse su correcta ejecución para lograr la disminución de este costo en el monto total de obra.

Finalmente se tiene un último grupo de costos, que toman en cuenta los gastos administrativos e imprevistos, los cuales dependen de los costos directos de la obra. Así, en caso de lograr disminución en los rubros importantes de la obra (puentes, reconstrucción, etc.) y que son más representativos, directamente se verán afectados favorablemente estos costos, logrando disminución general en el monto total de obra.

La distribución de costos, se muestra en la siguiente imagen:



Claramente se observa lo antes descrito, en el gráfico anterior, donde la construcción de puentes es el rubro a tomar en consideración para una disminución considerable de costos.

Invasiones

El Decreto Ejecutivo N° 22483-MOPT del 01 de setiembre de 1993, define las dimensiones de los derechos vía en los ferrocarriles nacionales (Art. 42 Ley N° 7001, Orgánica del INCOFER), publicado en La Gaceta #174 del 10 de setiembre de 1993.

Para el caso del tramo en análisis se indica claramente en su artículo 8°, denominado: Derechos de vía en la sección Cartago - Las Juntas:

“- Incluye las sección de vía comprendida entre Cartago (Km. 146.4 de Limón) hasta las Juntas (Km. 65.0 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 la cima de los cortes o del pie del talud.”

Es de esta forma como se tienen dos tipos de alineamiento a tomar en consideración y son de 10m y 5m desde el centro de la vía hacia ambos lados, según la topografía del terreno en donde se dé el paso de la vía férrea.

Con esta información, se puede definir el alineamiento de la siguiente forma:

1. Sección 1: 10m ambos lados
2. Sección 2: 5m ambos lados
3. Sección 3: 5m ambos lados
4. Sección 4: 5m ambos lados
5. Sección 5: 5m ambos lados
6. Sección 6: 5m ambos lados
7. Sección 7:
 - a. 5m ambos lados desde Pavas hasta Florencia.
 - b. 10m ambos lados desde Florencia hasta Turrialba.

Así, se puede hablar de invasión al derecho de vía, en los siguientes puntos:

CUADRO 32. Invasiones en Sección 1		
COTA	LONGITUD	DETALLE
0+324	10m	Vivienda
3+730	105m	Siembre de cultivos por parte de una empresa

CUADRO 33. Invasiones en Sección 3		
COTA	LONGITUD	DETALLE
10+308	75m	Vecino cuenta con centro recreativo y posee portones sobre la vía pública. Existe una piscina dentro de derecho de vía.

CUADRO 34. Invasiones en Sección 7		
COTA	LONGITUD	DETALLE
26+264	30m	En apariencia se cuenta con un deslizamiento consolidado y sobre este se construyó una vivienda.
26+972	30m	Dos viviendas sobre el derecho de vía y una vivienda cuya tapia perimetral está en las mismas condiciones
27+077	405m	Una serie de viviendas cuyas tapias perimetrales están dentro del derecho de vía.
27+690	10m	Garaje y vivienda de dos niveles.

Para este detalle, no se toman en cuenta las invasiones producto de cultivos y portillos, pues únicamente se deben retirar a la hora de los trabajos de limpieza sobre el derecho de vía sin previa notificación.

Lo correspondiente a viviendas, tapias u otras obras, se debe proceder al proceso de notificación por parte de INCOFER y posteriormente la demolición de aquellas donde sus supuestos propietarios se nieguen a eliminarlas por sus propios medios.

Todo esto es asumiendo que los alineamientos dependen de la topografía y

pueden verse y definirse como se propone en este informe. Queda claro que como lo define el artículo 2° del Decreto Ejecutivo N° 22483-MOPT "Las disposiciones de este reglamento serán ejecutadas por la Dirección General de Ferrocarriles, como órgano técnico del Ministerio de Obras Públicas y Transportes." Es decir, que no se debe tomar como real el alineamiento aquí propuesto, sino que depende de la inspección y emisión de criterio por parte de INCOFER para cada caso indicado en los cuadros 32, 33 y 34.

Conclusiones

- El abandono de la vía por un periodo de 30 años, hace que los trabajos dejen de tomarse en cuenta como rehabilitación, sino que ahora se consideren como reconstrucción de la vía.
- Se cuenta con el 73% de la vía cubierta en su totalidad por derrumbes, maleza en todo el derecho de vía y material orgánico que imposibilita el tránsito normal por la vía férrea.
- Un 73% de los rieles está en mal estado y deben sustituirse en su totalidad. El 100% de Balasto, Fijaciones, Eclisas y Traviesas; deben ser sustituidos por su mal estado o repuestos a raíz de su inexistencia.
- A pesar de que el 27% de los rieles está en un estado aceptable, son elementos de 80lb/yd y como mínimo, INCOFER solicita rieles de 85lb/yd, de ahí que se deban sustituir en su totalidad estos elementos.
- Para el caso de la estructura metálica de rieles y elementos de fijación, la corrosión es el elemento principal de deterioro. Escamadura del elemento completo es la condición visible para determinar el remplazo de cada una de las piezas que conforman el 73% de vía en mal estado.
- Como parte de las actividades preliminares presupuestadas, es de suma importancia tomar en cuenta la participación de laboratorio para la realización de pruebas de suelos para todo el tramo, y así garantizar la construcción de la vía en terrenos estables y en condiciones óptimas para la puesta en marcha de la vía férrea.
- Se cuenta con algunas invasiones al derecho de vía, sin embargo al tener naturaleza pública, son terrenos donde no se adquiere derecho alguno, de ahí que la recuperación es mediante notificación y actuación de inmediato en procesos de demolición o corta de cultivos.
- La construcción de edificaciones y señalización se basa en cantidad de población y necesidad inmediata de los mismos. Si en alguna comunidad existió estación, no es sinónimo de requerimiento para esta reconstrucción. De ahí que se haya cambiado la propuesta.
- El costo de la reconstrucción es de **\$60.259.897,87**.
- El costo unitario para la reconstrucción es de **\$2.092.212,2/km**.
- Es claro que la falta de mantenimiento, a pesar del desuso de la vía, son causales de altas inversiones a la hora de reconstrucción, esto traducido a que un 6.36% de la obra presupuestada (**\$3.831.375,14**), corresponde a cunetas, edificios, limpieza de vía y atención de derrumbes, lo cual hubiese podido evitarse con mantenimiento periódico del derecho de vía total.
- Con este trabajo se cuenta con una guía y punto de partida para la elaboración de planes de atención a este tramo, y eventualmente una futura intervención para la conexión entre la GAM y la totalidad de la provincia de Cartago.
- Las zonas de mayor riesgo, especialmente a deslizamientos, son las localidades entre Santa Marta, Murcia y Pavas. Se cuenta con grandes pendientes en el recorrido y fallas geológicas que atraviesan la zona de construcción, de ahí que se presenta gran inestabilidad en el derecho de vía y en las cercanías de la obra.

- La zona de Murcia, Noche Buena y Campabadal de Turrialba, presentan riesgo por suelos inestables e inclusive han sido declaradas inhabitables por la CNE, de ahí que deben ser tomadas en cuenta a la hora de los diseños, en cuanto a estabilización de taludes y sustituciones a nivel de suelos para garantizar la estabilidad de estos.
- El mapa catastral presentado en los planos de taller, cuenta con las poligonales de fincas, sin embargo se tiene la información de propietarios a nivel registral, de ahí que se cumple su objetivo “investigativo” a la hora de notificación para invasiones en la vía.

Recomendaciones

- El Instituto Tecnológico de Costa Rica o cualquier ente certificado y calificado, deberían realizar las pruebas para rieles y elementos estructurales en general (puentes especialmente), con el fin de determinar la capacidad de cada elemento y garantizar la trabajabilidad de estos y su reutilización.
- Como parte de las labores preliminares, se debe realizar el análisis estructural de los puentes hallados, para determinar el alcance de las mejoras a realizar, esto haría que el presupuesto pueda ajustarse de una mejor manera y ver el proyecto de una forma más precisa a nivel de costos.
- Cada puente es un proyecto independiente, por las dimensiones que presentan. Se recomienda hacer uso del recurso con el que cuenta el ITCR, a nivel de estudiantes, profesores, instalaciones y equipos, para brindar los resultados de estos análisis de puentes.

Como ya se observó, es fundamental para la disminución del costo total de obras.

- Valorar la opción de tomar en cuenta que el riel se amortigüe con una placa de caucho sobre la traviesa, esto evita que se produzcan daños o hundimientos en esta.
- De la misma forma tomar en cuenta el uso de arena entre el suelo compactado y el balasto, de forma tal que no se permita la contaminación de este elemento tan importante para la vía.
- El presupuesto mostrado toma en cuenta labores preliminares, ejecución de reconstrucción y puesta en marcha. Por recomendación de INCOFER, se debe ejecutar por etapas la rehabilitación total, de la siguiente forma:
 - Realizar inicialmente la limpieza del derecho de vía.
 - Realizar nuevamente el inventario de necesidades para que de esta forma se pueda conocer con precisión la dimensión de lo descrito en este informe en caso de haber cambios.
 - Presupuestar nuevamente los trabajos propuestos.
- Valorar la construcción de túneles revestidos en las zonas donde los deslizamientos superficiales son más evidentes. Estos deslizamientos coinciden con tramos que bordean montañas completas (se puede observar en cartografía o bien en los planos entregados), y la propuesta de túnel podría ser evitar ese bordear la montaña, con túneles rectos que finalicen con el riesgo del trasiego por estas zonas inestables.
- Realizar estudios hidráulicos para obtener datos de escorrentía y precipitación y que sean aplicados en el adecuado diseño de los pasos de agua.
- A pesar de que se cuenta con materiales que pueden ser reutilizados, es claro por

indicaciones del mismo INCOFER, que el trabajo a ejecutar es Reconstrucción de la Vía Férrea de una forma total. No se considera la rehabilitación como una opción.

- En conversación con encargados de INCOFER, no deben utilizarse rieles menores a las 85lb/yd. Es de lo anterior, que a pesar de contar con rieles pesados (80lb/yd), deben ser sustituidos en su totalidad para cumplir con este nuevo requerimiento y especificación.

Apéndices

1. Láminas con ubicación de afectaciones, curvas de nivel, red vial, red hídrica, ortofoto.
2. Registro fotográfico.
3. Láminas de afectaciones y riesgos CNE.
4. Presupuesto.
5. Secciones investigadas en inspecciones.

Referencias

- Autor desconocido. 2014. **MANUAL INTEGRAL DE VÍAS**. Argentina. Nuevo Central Argentino S.A., 343p.
- Bolaños, J. 2016. *La Construcción del Ferrocarril al Atlántico*. **Tribuna Libre**.
- Bolaños, L y Hernández E. 2007. **DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA VÍAS FÉRREAS PARA INSTITUTO COSTARRICENSE DE FERROCARRILES INCOFER**. Empresa consultora: Ingenieros Consultores S.A (IMNSA). 17 p.
- Casey, J. 2012. *El Ferrocarril al Atlántico en Costa Rica 1871-1874*. **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA**. Pág 291-344.
- Consejo Nacional de Emergencias (CNE). 2008. **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: Mayo, 2008.
- Corella, R. 2010. **HISTORIA DEL FERROCARRIL EN COSTA RICA, RIELES DE ESTE A OESTE**. San José. Comunicación personal.
- Coto, M. 2009. **Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección Cartago - Tres Ríos**. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 55p.
- Peraldo G. y Rojas E. **LA DESLIZABLE HISTORIA DEL FERROCARRIL AL CARIBE DE COSTA RICA**. Universidad de Costa Rica. 1998
- Pérez, J. y Schmidt W. 2012. **Diagnóstico técnico y análisis de costos para la rehabilitación de la red ferroviaria en la sección Cartago – Paez - Yas**. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 107p.
- Quesada R. **FERROCARRILES Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: EL CASO DE LA COSTARRICA RAILWAY COMPANY 1871-1905**. Costa Rica. Editorial y año desconocidos.
- Rivera, C. 1969. **VÍAS DE FERROCARRIL**. Trabajo final de graduación. Universidad de Costa Rica. San José. 67 p.
- Saenz, M. 1911. **LOS FERROCARRILES EN COSTA RICA**. Costa Rica: Imprenta del Comercio, 39p.
- Vallejos S., Esquivel L. y Hidalgo M. **HISTÓRICO DE DESASTRES EN COSTA RICA: FEBRERO 1723 – ABRIL 2017**. San José Costa Rica, CNE. 2017.