

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Civil

Departamento de Ingeniería Civil



TRABAJO DE DIPLOMA

Proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua

Autor: Hamry Cabrera Martínez

Tutor: Ing. Juan Lima Menéndez

Santa Clara

2009

"Año del 50 aniversario del triunfo de la revolución"

PENSAMIENTO

*“A SER POSIBLE, EL FERROCARRIL DEBE PASAR POR LAS
CIUDADES PRINCIPALES CERCANAS A LA VÍA, O CONSTRUIR
RAMALES QUE LLEVEN A ELLAS”.*

JOSÉ MARTÍ.

DEDICATORIA

*A QUIENES CON SU INFINITO CARIÑO, EJEMPLO Y SACRIFICIO
HAN SABIDO EDUCARME Y FORJARME COMO HOMBRE DE
BIEN.*

MI FAMILIA.

EN ESPECIAL MIS PADRES Y ABUELA PATERNA.

AGRADECIMIENTOS

*A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA U OTRA
HAN COLABORADO EN LA REALIZACIÓN EXITOSA DEL
PRESENTE TRABAJO.*

DESTACANDO:

A CARLOS CRISTÓBAL MARTÍNEZ MARTÍNEZ.

A CARLOS MARTÍNEZ CABRERA.

A YULIET GONZALES MADARIAGA.

Y AL TUTOR Ing. JUAN LIMA MENÉNDEZ.

RESUMEN

En la actualidad, se evidencia la importancia de mejorar la transportación ferroviaria en Cuba por el consumo de petróleo que como promedio es de 9,5 gramo-petróleo-equivalente, en relación con el transporte automotor (camiones) que es de 28 gramo-petróleo-equivalente; esto demuestra la economía del ferrocarril. Para resolver esta necesidad económica se realizan diferentes investigaciones encaminadas a solucionar la problemática del transporte ferroviario que afecta a la economía y a las poblaciones cubanas. En este contexto nacional, el presente trabajo ha abordado el tema de un proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua trazándose como problema científico el siguiente: ¿cómo dar cobertura a las necesidades de transportación ferroviarias de la población y la industria militar en la zona de Cumanayagua? Primeramente se realizó una revisión bibliográfica del tema objeto de estudio, así como un diagnóstico que permitió definir el estado actual del problema científico. Para dar solución a la problemática expuesta partimos de la siguiente hipótesis: si se elabora un proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua, entonces se contribuirá al mejoramiento del transporte de pasajeros y de la producción de la industria militar de la zona. Durante el desarrollo de la investigación se emplearon diferentes métodos de nivel teórico y empíricos, los cuales se explican en el cuerpo del trabajo. Se admitió la efectividad del proyecto para la reconstrucción de los 5 km del Ramal Cumanayagua mediante los cálculos de presupuestación así como de sus especificaciones.

SUMMARY

Nowadays, it is obvious the importance of improving railroad transportation in Cuba by the use of oil, which has an average of 9,5 gr.p.eq compared to automobile transportation, which in turn has an average of 28 gr.p.eq, proving to be an affordable activity. In order to accomplish this task, researches were made, which is particularly important to solve railroad transportation issue in all parts of the country. In this framework, the present research has approached the topic of a project for the reconstruction of the *Ramal Cumanayagua*, having the following scientific problem: how can the railroad transportation needs of people and of the military industry of Cumanayagua be met? There is in this work an analysis of the information as well as of the studies carried out about the rail topic. A diagnosis was carried out that allowed to define the actual state of the problem. Keeping in mind the search for solutions, the following hypothesis was stated: if a project for the reconstruction of the *Ramal Cumanayagua* is elaborated, then it will contribute to improve public and military industry transportation. During the development of the research different methods were used such as the theoretical and empirical ones, which are explained in the research introduction. It was admitted the effectiveness of the *Ramal Cumanayagua* reconstruction project of 5 km through the costs calculation as well as its specifications.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY	v
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	6
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1 Introducción	7
1.2 Vía Férrea	7
1.2.1 Ferrocarril	8
1.2.1.1 Ferrocarril no convencional	8
1.2.1.2 Ferrocarril convencional	8
1.2.2 Evolución histórica del ferrocarril	9
1.2.3 Vías férreas en Cuba	10
1.3 Estructura e infraestructura de la vía	12
1.4 Ramal	12
1.4.1 Antecedentes del ramal Cumanayagua	12

1.4.2	Características de la reconstrucción.....	14
1.5	Conclusiones parciales del primer capítulo.....	15
CAPÍTULO 2. PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN DEL RAMAL CUMANAYAGUA		17
2.1	Introducción	17
2.2	Aspectos a tener en cuenta en una reconstrucción.....	17
2.2.1	Economía y sociedad (Ramal Cumanayagüa (R.M.))	18
2.2.2	Militar (R.M.)	18
2.2.3	Medio Ambiente (R.M.)	18
2.2.4	Topográfico (R.M.).....	18
2.2.5	Normas.....	19
2.3	Variantes del proyecto de reconstrucción del ramal Cumanayagua	23
2.4	Cálculos de la proyección sobre el terreno de la nueva vía	23
2.4.1	Cotas del terreno	24
2.4.2	Rasante existente y proyectada.....	24
2.4.3	Cálculo de las curvas horizontales.....	26
2.4.4	Cálculo de las curvas verticales.....	36
2.5	Conclusiones parciales del segundo capítulo.....	39
CAPÍTULO 3. CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO DEL RAMAL CUMANAYAGUA		40
3.1	Introducción	40
3.2	Generalidades del cálculo de la superestructura de la vía férrea.....	40
3.2.1	Cálculo por fatiga.....	41
3.2.1.1	Peso del tren a circular por el ramal	42
3.2.1.2	Revisión del carril a flexión	44

3.2.1.3	Revisión de la traviesa al aplastamiento.....	44
3.2.1.4	Compactación exigida	45
3.2.2	Cálculo por estabilidad	45
3.3	Presupuesto de los 5 kilómetros del ramal.....	46
3.3.1	Movimiento de tierra	48
3.4	Conclusiones parciales del tercer capítulo.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
Conclusiones.....		53
Recomendaciones		54
BIBLIOGRAFÍA		55
ANEXOS		57
Anexo I	Características de la estructura e infraestructura de la vía férrea.....	57
Anexo II	Defectación de los puentes del Ramal Cumanayagua.....	71
Anexo III	Continuación de la tabla de cotas de nivel del terreno.....	73
Anexo IV	Continuación de la tabla de rasante existente y proyectada.....	79

INTRODUCCIÓN

Diversos fueron los factores conjugados para promover el desarrollo ferroviario en Cuba, tierras de feracidad proverbial y capitales acumulados con el de cursar de los años. A esto debe sumarse un favorable encadenamiento de circunstancias políticas y una excepcional coyuntura comercial. El primer eslabón en la cadena de hechos políticos; la independencia de las trece colonias Inglesas de Norteamérica, propició el inicio de las relaciones económicas de Cuba con aquel mercado. Después de 1790, como consecuencia de la insurrección de los esclavos de Haití, se hizo real para Cuba la posibilidad de abastecer en gran escala la demanda europea de productos del trópico. A las espléndidas perspectivas que los mercados europeo y norteamericano ofrecían a los hacendados y comerciantes cubanos, se unieron como factores coadyuvantes el interés del gobierno metropolitano en impulsar la economía colonial y, en alguna medida, la singular posición geográfica que caracteriza a la mayor de las Antillas.

Al influjo del desarrollo azucarero efectuado desde el último tercio del siglo XVIII el paisaje rural de occidente se transformó notablemente. Los bosques fueron diezmados y comenzaron a dejar su lugar a cañaverales e ingenios; desde esa época podían ya apreciarse las concentraciones de haciendas azucareras que se habían formado en torno de la costa, facilitando el mercado por la vía marítima. Sin embargo el fomento de los cultivos avanzó también hacia los llanos del sur en el occidente debido a la alta demanda de azúcar por parte de Europa y Norteamérica. Esta incursión de los centrales hacia el centro del país preocupó a los hacendados por la mala comunicación que tenían con los puertos.

Enmarcado con este fin las instituciones coloniales vinculadas a los intereses azucareros, prestaron atención a los caminos. Un sin número de sugerencias e ideas son debatidas, como fueron la construcción de canales, dando solución a los problemas de la navegación

interior; que tenían antecedentes exitosos en la Europa de los siglos XVIII. Los caminos terrestres habían constituido antes y después de los canales un elemento de importancia extraordinaria en el desarrollo de los mercados internos y externos de los países europeos desde los albores del capitalismo. Ni la labor publicista de la Sociedad Económica de Amigos del país, ni la acción coordinadora del Real Consulado logró resultados tales como para permitir un verdadero avance en los problemas del transporte interior cubano. La situación del mercado y, sobre todo, su previsible evolución futura hacían urgente una solución cualquiera. Afortunadamente para los hacendados, sus desvelos venían a coincidir con las primeras pruebas exitosas de un medio de transporte destinado a revolucionar profundamente las condiciones de las comunicaciones terrestres: el ferrocarril, revolucionó las bases del sistema productivo y financiero del capitalismo, conduciéndolo a su etapa industrial.

Al iniciarse la década del 1830 los ferrocarriles están probando su eficacia en ambas orillas del Atlántico. Los mayores anhelos de sus promotores se ven colmados cuando el ferrocarril demuestra su superioridad no solo en el transporte de carga si no también en el de pasajeros. La sucesiva apertura de líneas sobre los recorridos tradicionales de carreteras y canales señaló el triunfo del nuevo medio de transporte. La insuficiencia del transporte no sería ya un obstáculo para el desarrollo de la industria.

Mientras tanto en Cuba, el gobernador de la isla, Francisco Dionisio Vives, recibió unas cartas del inventor y publicista andaluz Marcelino Calero recabando su apoyo para un proyecto ferroviario. Como parte de estas actividades, dos miembros de la sociedad, presentaron un minucioso informe que recogía los antecedentes sobre la utilización del ferrocarril en Inglaterra y Estados Unidos. Este extenso y detallado informe revela la atención con que se venían siguiendo en Cuba los experimentos ferroviarios. Durante los siguientes años se efectuaron diversidades de reuniones por las comisiones debatiendo si se aprobaba el proyecto Camino de Hierro y quien era el que lo dirigiese. Aprobada la obra se empezó a trabajar y en abril de 1837 se recibió en La Habana el primer embarque de material rodante remitido por *Robertson* desde Inglaterra, este consistía, de cuatro locomotoras construidas por el fabricante británico *Braith Waite* de un modelo similar a la *Rocket* de *Stephenson*, y diversos carros de cargas y pasajes, además de maquinarias y herramientas destinadas a los talleres ferroviarios. A mediados de 1837 solo quedaba

pendiente la construcción de la sección inicial y de los elementos relacionados con esta: la terminal, los almacenes de depósitos y los talleres; y no es hasta el 19 de noviembre de 1837, que la real Junta de Fomento inauguró solemnemente el ferrocarril con el tramo de La Habana a Bejucal y un año después se extendió hasta San Julián de Güines; convirtiéndose Cuba en el séptimo país del mundo en disponer de un ferrocarril.

Con la apertura del tramo de 48,28 kilómetros entre Bejucal y Güines, el panorama económico del ferrocarril cambió radicalmente en Cuba, con un incremento notable en sus recaudaciones. Producto de estos éxitos la Junta de Fomento comenzó a recibir solicitudes para la construcción de ramales, paraderos y almacenes con el fin de facilitar el transporte de azúcares y sus derivados producidos en el interior del país hacia los diferentes puertos, por lo que entre 1837-1898 Cuba pasa por un gran desarrollo de las líneas férreas construyéndose una diversidad de vías, no quedándose atrás el centro de la isla (Las Villas).

En la provincia de Las Villas, que ya en la década de 1840 la llanura costera que se extiende entre Sierra Morena y el mar, estaba totalmente sembrada por campos de cañas y cubierta toda la zona costera de plantaciones. Para la década de 1850 los propietarios de ingenios en aras de aumentar más la producción comienzan a adentrarse al centro de la provincia buscando campos más fértiles, al igual que en occidente, por lo que a finales de 1852 un grupo de propietarios de centrales de la zona dieron los primeros pasos en la elaboración de un proyecto ferroviario destinado a satisfacer las necesidades locales de transporte, por lo que realizan varias peticiones a La Junta de Fomento y en mayo de 1854, se constituyó en La Habana la junta directiva del ferrocarril de la zona integrada en su mayoría por comerciantes entre los cuales se encontraba el máximo promotor del ferrocarril en Las Villas, José E. Moré, acaudalado comerciante de La Habana. La idea inicial de que el proyecto caminos de hierro tendiese una línea directa Sagua – Santa Clara fue abandonada casi de inmediato a favor de un trazado más largo en dirección a Santa Isabel de Las Lajas, que por atravesar regiones de superior potencialidad productiva ofrecía mayores ventajas y ganancias. El acceso a Santa Clara se verificaría gracias al ferrocarril de Cienfuegos, ya que la nueva empresa pretendía entroncar una nueva línea con la ya existente hasta el caserío de Cruces. También de esta forma se aseguraba una conexión rápida entre las dos costa Norte y Sur, sistema que había dado excelentes resultados a Caminos de Hierro de La Habana. El proyecto de trazado se concreto por tramos:

El 1^{er} tramo, de 29,77 kilómetros, partiría de Boca (Isabela) para después de pasar por la villa de Sagua y sus terrenos colindantes y concluir en Sitiecito. El 2^{do} y más largo tramo, de 51,50 kilómetros entre Sitiecito y Cruces. El proyecto incluía también la construcción de un ramal de 30,58 kilómetros, el cual uniría Sitiecito con el poblado de Cifuentes, pasando por una zona de numerosos ingenios. En enero de 1860, concluido el último tramo del proyecto, la línea de Sagua entoncaba en Cruces con las paralelas de Cienfuegos. En algo menos de cuatro años el ferrocarril de Sagua había construido el sistema más extenso (105 kilómetros) de la región central de Cuba.

De 1900 a 1930 el desarrollo de los ferrocarriles de la zona oriental era considerable, por lo que era de vital importancia desarrollar a la provincia de las Villas aun más, ya que era el punto de conexión entre las provincias orientales y occidentales. En estos períodos de tiempo el ferrocarril estaba totalmente en manos de compañías extranjeras y en la década del 1930 con la apertura de la carretera central estas van entrando en crisis paulatinamente y ya con el triunfo de la revolución el transporte ferroviario muy deteriorado pasó totalmente a manos del gobierno cubano. A partir de finales del año 1972, debido, a los convenios con la antigua URSS comenzó nuevamente un desarrollo del transporte ferroviario cubano. De estos convenios se adquirieron equipos y se comenzó la construcción de nuevos proyectos combinando tramos existentes y tramos nuevos. Lo que hizo que el ferrocarril tomara nuevamente un protagonismo importante en la economía del país.

Como ya se expuso anteriormente entre Cienfuegos y Santa Clara existía una buena circulación de trenes de pasajeros y de carga siendo así que por el ramal que se extendía del Paradero de Camarones hasta Cumanayagua circulaban 2 trenes mixtos (pasajeros y carga), por los años 30, Cumanayagua - Camajuaní y Cumanayagua-Caibarién, y de cargas, transportando variedades de productos industriales y mercancía. Cuando la caída del campo socialista, el ferrocarril cubano entró nuevamente en crisis por lo que en 1990 el Ramal Cumanayagua queda inactivo, permaneciendo la zona incomunicada por la vía férrea. Lo analizado previamente constituye la situación problemática que fundamenta el inicio de este trabajo y lo cual evidencia las dificultades existentes con la transportación ferroviaria que impiden dar respuesta al crecimiento de la industria militar que existe en la Campana y a la demanda del mejoramiento del transporte público con la circulación de trenes de

pasajeros por la desactivación del Ramal Cumanayagua, esto nos conduce al siguiente **problema científico**: ¿Cómo dar cobertura a las necesidades de transportación ferroviarias de la población y la industria militar en la zona de Cumanayagua?. Para dar solución al problema científico planteado se formula la siguiente **hipótesis de investigación**:

Si se elabora un proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua, entonces se contribuirá al mejoramiento del transporte de pasajeros y de la industria militar en la zona.

El **objeto de estudio** se centró en el proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua. Con la finalidad de comprobar la hipótesis propuesta, este trabajo tiene como **objetivo general**:

La creación de un proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua.

Para cumplir el objetivo general se definieron los siguientes **objetivos específicos**:

- 1) Fundamentación del proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua
- 2) Creación del proyecto para la reconstrucción de cinco kilómetros del Ramal Cumanayagua.

Variables

Variable independiente

- Proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua.

Variable dependiente

- Mejoramiento del transporte de pasajeros y de la industria militar.

En el desarrollo del trabajo se utilizaron **métodos teóricos y empíricos**, incluyendo técnicas y herramientas de la ingeniería civil y otras especialidades afines como: análisis y síntesis de la información necesaria a partir de la revisión de literatura y documentación especializada, así como de la experiencia de especialistas y trabajadores consultados; **hipotético – deductivo**: para diagnosticar el problema real de la transportación de la zona donde se enmarca el ramal y para la aplicación de las tecnologías a aplicar en su reconstrucción.

Sistémica estructural para abordar las posibles variantes estructurales que se le dará al ramal.

Analítico – sintético para desarrollar el análisis del objeto de estudio (tanto teórico como práctico), a través de su descomposición en los elementos que lo integran, determinando así las variables que más inciden y su interrelación como resultado de un proceso de síntesis.

Métodos empíricos consulta de documentos para la recopilación de la información.

Organización del informe

- 1) Revisión de la bibliografía.
- 2) Análisis de los fundamentos teóricos del objeto de estudio.
- 3) Creación del proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua
- 4) Impacto del proyecto para la reconstrucción del Ramal Cumanayagua.

Para lograr cumplir con los objetivos, el trabajo se estructuró en tres capítulos, en el primero se hace un análisis de los fundamentos teóricos y metodológicos que sirvieron de apoyo para la elaboración del trabajo realizado, en el segundo se muestran las posibles variantes de solución para llevar a cabo la reconstrucción del ramal, y en el tercer capítulo se ponen los cálculos realizados, para poder así dar respuesta al problema de la transportación ferroviaria que existe en la zona.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El marco teórico referencial constituye la etapa o paso necesario para la confirmación de cualquier trabajo. Como su nombre lo indica consiste en la búsqueda y estudio de toda la bibliografía que se relaciona directa o indirectamente con el tema de investigación. Considerando la importancia que para cualquier investigación tiene el análisis bibliográfico, se decide la inclusión de su desarrollo en el presente trabajo, de forma tal que complemente y apoye el objetivo del capítulo que es fundamentar, a través de la investigación y análisis de la literatura especializada, la necesidad e importancia de la reconstrucción del Ramal Cumanayagua.

Para ello se consultó materiales especializados, así como sitios de Internet que desarrollan la temática teniendo en cuenta todas las tendencias actuales de la reconstrucción de una vía férrea. Es por ello que este capítulo se estructuró de la siguiente forma.

- Vía férrea. Evolución histórica y tecnológica del ferrocarril. Vías férreas en Cuba.
- Estructura e infraestructura de la vía férrea.
- Ramal. Antecedentes del Ramal Cumanayagua. Características de la reconstrucción.

1.2 Vía Férrea

Según la norma cubana del 2004, (Gálivos de Ferrocarriles), vía férreas es un conjunto formado por los elementos integrantes de la infraestructura y superestructura que permiten la circulación de los equipos rodantes del ferrocarril.

1.2.1 Ferrocarril

Según la norma cubana del 2004, (Gálidos de Ferrocarriles), ferrocarril es un conjunto de instalaciones del sistema de transporte sobre vías férreas, incluyendo las propias vías y los equipos ferroviarios. Existen dos tipos de ferrocarril: el no convencional y el convencional.

1.2.1.1 Ferrocarril no convencional

Según la norma cubana del 2004, (Gálidos de Ferrocarriles), ferrocarriles no convencionales son aquellos que se basan en principios técnicos y operacionales especiales, distintos a la mayoría de los ferrocarriles existentes en el mundo. Como ejemplos pueden citarse los siguientes: metro, tranvía, monocarril, colgante y otros.

1.2.1.2 Ferrocarril convencional

Son aquellos que se basan en principios técnicos y operacionales generalmente aceptados y utilizados por la mayoría de los ferrocarriles del mundo. El ferrocarril convencional es un sistema de transporte terrestre en el que los vehículos se apoyan sobre el camino de rodadura por intermedio de elementos rotativos metálicos. Esta interrelación entre vehículo y camino de rodadura se concreta en otros conceptos que son específicos del sistema: apoyo, guiado unidireccional por contacto, utilización de la adherencia rueda-carril para la transmisión de los esfuerzos de propulsión y frenado y ancho de la vía.

- **Apoyo:** Según el libro, (Tratados de ferrocarriles), apoyo se entiende como todo tipo de transporte en que los esfuerzos de las fuerzas de gravedad y viento están compensados, en su casi totalidad, por reacciones entre sólidos, naturalmente generadas a consecuencia de aquellas; en el caso del ferrocarril, la función de soporte o apoyo se encomienda, como posteriormente se verá al mismo elemento que la del guiado: el carril.
- **Guiado:** Como refiere el texto citado, en los sistemas de transporte que adoptan el agua, el aire o la carretera, la marcha se produce con dos o más grado de libertad que le confieren las coordenadas de que disponen. En el caso del ferrocarril, los carriles guían al material rodante coaccionando su movimiento y obligándole a inscribir su marcha dentro de la geometría que se ha establecido previamente, por lo que el vehículo y la vía

habrán de poseer unas características resistentes que respondan a las condiciones que en cada momento se derivan del proceso de guiado.

- **Unidireccional:** Según el texto citado, al quedar incorporado al ferrocarril el concepto de guiado, le obliga al vehículo a seguir en su marcha el eje geométrico del camino de rodadura; esta circunstancia le lleva a aceptar el carácter unidireccional en el sentido longitudinal indicado. Este aspecto va a afectar de modo fundamental a la explotación al presentarse los problemas de cruces, adelantos, etc.
- **Adherencia:** Como apunta el libro referido, este concepto de carácter general no se manifiesta en los sistemas de transporte por agua o aire, pero si en el correspondiente al terrestre por carretera, en donde el coeficiente de adherencia puede alcanzar valores próximo a 1. Con las características expuestas la resistencia a la rodadura que ofrece el ferrocarril exige en términos generales un esfuerzo de unos 3 kg por Tm transportada en horizontal, sobre vía normal, valor muy inferior al que ofrece la rodadura neumático – hormigón, de 10 a 14 kg por Tm, en análogas condiciones. La adherencia incide de forma fundamental sobre la geometría del trazado de una línea ya que las rectas y curvas en las rampas y pendientes estarán condicionadas a través de la adherencia, por las características de tracción y frenado del material rodante que sobre las mismas vaya a circular.
- **Ancho o trocha de vía:** Es una separación prácticamente constante, entre los dos carriles de la vía y se puede asegurar, sin ninguna duda, que es el parámetro que más fuertemente caracteriza al camino de circulación del ferrocarril. El ancho de vía se mide como la distancia entre las superficies más próximas de las caras laterales de las cabezas de los dos carriles, a 14 milímetros por debajo del plano de rodadura.

1.2.2 Evolución histórica del ferrocarril

Los primeros ferrocarriles del mundo fueron movidos por tracción animal a principio del siglo XIX, consecutivamente en este mismo siglo comienzan a desarrollarse la locomotora a vapor, tomando un gran desarrollo. Posteriormente, a comienzo del siglo XX aparecen los trenes que utilizaban electricidad para mover la locomotora, atenuando un poco la gran contaminación de humo que provocaban las locomotoras de vapor en las ciudades. A mediados del siglo XX comienza la era de las locomotoras movidas por motores diesel con

un menor tiempo de mantenimiento que las otras locomotoras, permitiéndole así competir con el automóvil y otros medios de transporte. Con el objetivo de la competencia, es que se empieza a explotar más a fondo las locomotoras movidas por motores eléctricos y a buscar otras energías alternativas como la levitación magnética que a finales del siglo XX y principio del XXI se comienza a utilizar con grandes resultados ofreciendo un servicio más seguro, cómodo y rápido.

1.2.3 Vías férreas en Cuba

Con la inauguración del ferrocarril en Cuba el 19 de noviembre de 1837 en la época colonial ocurre un desarrollo vertiginoso, principalmente en la zona occidental de la isla con el fin del traslado de azúcares y sus derivados producidos en el interior del país hacia los puertos, fundamentalmente el puerto de La Habana. Obsérvese que las principales vías construidas en los primeros años del desarrollo ferroviario en Cuba parten de los puertos como: La Habana, Cienfuegos, Cárdenas, Sagua, Caibarién, Nuevitas, Gibara, Santiago de Cuba y Guantánamo, para extraer los sub productos de la caña de azúcar por lo que entre 1837-1898 Cuba pasa por un gran desarrollo de las líneas férreas construyéndose una diversidad de vías, como fueron:

Habana – Guanajay; Habana – Isabel en Matanzas (actual L. Sur), el actual ramal Batabanó, Cárdenas – Macagua (Arabos) (actuales ramales Júcaro y Macagua); Jovellanos – Agüica; Matanzas – Unión de Reyes (actual Ramal Sabanilla); Recreo (hoy Máximo Gómez – Itabo (Martí) y Cienfuegos – Cruces; Nuevitas – Puerto Príncipe y Santiago de Cuba – El Cobre; Sitiecito – Cifuentes; Cruces – Esperanza – Santa Clara; Macagua (Arabos) – Álvarez (Manacas); Caibarién – Remedios – Camajuaní; Casilda – Trinidad y Tunas de Zaza – Sancti Spíritus; Parque Alto – Camarones; Álvarez (Manacas) – Esperanza; Caguaguas – Sagua; Cifuentes – Placetas; Caibarién – Placetas y Ranchuelo – San Juan; entre otras. Entre 1900 y 1930 el desarrollo de los ferrocarriles de la zona oriental fue considerable.

Cuba no sólo tuvo un desarrollo del ferrocarril de vapor sino también de los trenes eléctricos. Pero con la llegada de los trenes de motores diesel el gobierno de los Estados Unidos manda a desmantelar todas las vías de los trenes eléctricos obligando, a la isla, al uso de los trenes de motores diesel nada más, desapareciendo paulatinamente de los

ferrocarriles cubanos los trenes eléctricos. Esto benefició al gobierno norteamericano porque era nuestro principal proveedor de combustible pero perjudicaba a la isla, porque el ferrocarril eléctrico es muy cómodo y de fácil mantenimiento en sus equipos y además desarrollan una rapidez en sus servicios. Se inicia así una inversión de las compañías cubanas en las locomotoras movidas por motores diesel.



Figura 1.4. Modelo de tren eléctrico utilizado en Cuba y en Centro América

En este período de tiempo el ferrocarril estaba en manos de compañías extranjeras y en el primer cuarto del siglo XX el ferrocarril se centro en dos grandes compañías los Unidos de La Habana que monopolizaron la zona Occidental del País y la Cuba que dominaba la zona Oriental, quedando algunos ferrocarriles como los de *Hershey* (hoy Camilo Cienfuegos) que ocupan el norte de las actuales provincias de Ciudad Habana, La Habana y Matanzas, uniendo a Casablanca con Matanzas. A partir del 24 de febrero de 1931 con la inauguración de la carretera Central y con su paulatino crecimiento en la década del 1930 hacia el interior del país, las vías férreas comienzan a tener una nueva competencia, el automóvil, por lo que el ferrocarril, especialmente los de los británicos, sufrieron cierto deterioro, que provocó que en los años 50 esta parte fuera entregada al estado cubano. Después del triunfo de la revolución, el transporte ferroviario pasó totalmente a manos del estado cubano.

A finales de 1972 después de la firma de los convenios con la antigua URSS, comenzó un programa de desarrollo del transporte ferroviario que trajo consigo la proyección de un nuevo trazado desde La Habana hasta Santiago de Cuba creándose la línea Central a partir de las líneas norte de los antiguos ferrocarriles Unidos de La Habana y la línea Santa Clara-Santiago de los ferrocarriles de Cuba. De estos convenios se adquirieron equipos y se comenzó la construcción de este trazado, combinando tramos existentes y tramos nuevos.

El primer tramo de esta vía fue inaugurado entre Oliver y Calabazas en esta provincia de Villa Clara el 29 de enero de 1975.

Con la caída del campo socialista el ferrocarril cubano ha sufrido de un gran deterioro y una alta despoblación de sus vías por falta de materia prima que la mayoría eran importada de la URSS, obligando al país al uso del transporte automotor. Nuestro estado se ha dado a la tarea de la reconstrucción de algunos de estos ramales destruidos y el mantenimiento de las vías en explotación que ya están en mal estado.

1.3 Estructura e infraestructura de la vía

Según *Tratados de ferrocarriles*, la forma de trabajo de la estructura e infraestructura ocurre de la siguiente forma:

La carga de la rueda actúa directamente sobre el carril, transmitiéndole tensiones elevadas. La traviesa recibe estas tensiones y las transmite atenuadas a la capa de balasto que posee reducida capacidad portante. Finalmente la plataforma recibe, atenuadas por el balasto, las tensiones, que habrán de ser compatibles con su capacidad resistente y deformacional.

Las características del mismo se pueden observar en el (Anexo 1).

1.4 Ramal

Según diccionario manual de la lengua española " Cervantes ", ramal es una vía secundario que parte de la vía principal.

1.4.1 Antecedentes del ramal Cumanayagua

En el año 1912 se construye este ramal, que partiendo de la estación de Camarones (Paradero de Camarones) en el kilómetro 32.0 del antiguo Recruces hoy parte de la línea Cienfuegos y cuya ubicación actual es el kilómetro 24.0. Tenía dos entradas formando un triángulo, partiendo rumbo sureste. En sus inicios contaba de 33.2 kilómetros que más tarde fue reducido a 27.0 kilómetros. El ramal enlaza los pueblos de Camarones, San Fernando de Camarones, el Mango, Comunidad Breñas y Cumanayagua. En su trazado existían 13 puentes de acero, uno de ellos con una longitud de 109.7 metros; El Guajiro, ubicado en el

kilómetro 23.974 sobre el río Arimao y 2 de hormigón, 48 alcantarillas de tubos y 16 de muro y losas.

Tabla 1.1. Relación de los puentes existentes en el ramal.

Nro.	Ubicación Kilométrica.	Tipo de Material.	Longitud. (m)	Luz.	Constitución.
1	0.102	Hormigón	3.80	1	Vigas y losas
2	0.875	Acero	5.65	1	Vigas I conformadas
3	2.085	Acero	4.80	1	Vigas I conformadas
4	3.260	Acero	6.90	1	Vigas I conformadas
5	4.176	Acero	6.75	1	Vigas I conformadas
6	7.540	Acero	8.95	1	Vigas I conformadas
7	9.519	Acero	48.40	1	Vigas I conformadas
8	10.419	Acero	16.70	1	Vigas I conformadas
9	11.782	Acero	7.60	1	Vigas I conformadas
10	13.814	Hormigón	3.55	1	Vigas y losas
11	14.450	Acero	23.20	1	Vigas I conformadas
12	17.039	Acero	17.70	1	Vigas I conformadas
13	23.082	Acero	13.20	1	Vigas I conformadas
14	23.974	Acero	109.70	3	Es de estructura
15	27.014	Acero	13.20	1	Vigas I conformadas

Para mayor información de estos puentes se puede observar en el (Anexo 2).

Además tenía 5 pasos a nivel ubicados en la siguiente Tabla.

Tabla 1.2. Relación de los pasos a nivel.

Ubicación Kilométrica	Ángulo de cruce	observaciones
5.911	90°00'	Carretera (Maleza-Tales)
7.357	37°38'	Camino (Maleza-Camarones)
13.544	90°00'	Camino
15.632	90°00'	Camino
24.500	80°00'	Carretera Cienfuegos-Cumanayagua

Su superestructura estaba conformada por carriles de 62 libras por yarda (31Kg/m), traviesas de madera y en los últimos años de su existencia traviesas de hormigón intercaladas y el balasto era de tierra de la localidad, *haidpan* o rocoso; con un espesor de 15 cm bajo la traviesa. Antes de la división político administrativa la vinculación de Cumanayagua era con la ciudad de Santa Clara, aunque en trenes que circulaban transportando pasaje. Tenían su destino en Cruces y Santo Domingo, desde donde podían trasladarse hacia Santa Clara. Hasta su desmantelamiento en 1990, por el ramal circulaban dos pares de trenes mixtos (cargas y pasaje) entre Cumanayagua y Santo Domingo a través de Cruces y Lajas con destino a Cumanayagua - Camajuaní y Cumanayagua-Caibarién y un tren de carga condicional con destino a Santo Domingo.

1.4.2 Características de la reconstrucción.

El ramal a reconstruir en el presente trabajo será de 3^{ra} Categoría teniendo 27 kilómetros de longitud y comienza en la provincia de Cienfuegos, saliendo del Paradero de Camarones en la línea Cienfuegos de los FFCC públicos y se extiende hasta Cumanayagua por el mismo trazado antiguo, como ya se expuso anteriormente aprovechando sus terraplenes y obras de fábricas. Su principal uso, será la transportación de mercancías procedentes de la Campana y la transportación de pasajeros de las comunidades de la zona con uno o dos pares de

trenes de Cumanayagua a Cienfuegos satisfaciendo las necesidades de vinculación con la capital provincial. El trazado es sinuoso, bordeando las alturas de la zona atravesando gran cantidad de arroyos y ríos, entre ellos se encuentra el Caunao y el Arimao por lo que tendrá profundidades máximas de excavaciones de 7.0 metros y alturas máximas de los terraplenes de 20.0 metros. Su superestructura estará conformada por carriles de 50 Kg/m, 1600 traviesas de hormigón por kilómetro y un espesor de balasto de 25 centímetros bajo la traviesa. Se reparará y mantendrá, los 5 pasos a nivel ubicados en el ramal y todas sus obras de fábricas. La reconstrucción del ramal se plantea en dos etapas: la primera del kilómetro 0,0 al 11,0 (Paradero de Camarones-San Fernando de Camarones) y la segunda de 16 kilómetros (San Fernando de Camarones-Estación de Cumanayagua).

1.5 Conclusiones parciales del primer capítulo

- 1) A partir de las iniciaciones del ferrocarril en el mundo no se convierte solamente en uno de los principales medios de transporte, sino el más económico con relación a la capacidad transportada (vs.) consumo de combustible.
- 2) Con el paso del tiempo el ferrocarril cubano ha sufrido de un gran deterioro por falta de materia prima y una alta despoblación de sus vías, obligando al país al uso del transporte automotor. Nuestro gobierno se ha dado a la tarea de la reconstrucción de algunos de estos ramales destruidos, al darse cuenta del uso excesivo de combustible por toneladas que consume la transportación automotor y de la sufrida disminución paulatina e inquietante que padecen las reservas naturales de petróleo del mundo en los últimos años. Es precisamente del petróleo de donde proviene el combustible utilizado por el transporte terrestre y aéreo que producen una contaminación atmosférica en un grado tan elevado que perjudica de manera cada vez más alarmante al ser humano y a la vida en general.
- 3) Lo analizado en este capítulo revela la importancia que tiene la reconstrucción del ramal Cumanayagua debido al auge que va tomando a nivel mundial el ferrocarril y de las características que se deben tener en cuenta a la hora de su intervención conociendo que este era de una categoría inferior a la que será sometido por lo que las características de la superestructura cambiarán totalmente.

-
- 4) El ramal a reconstruir será de 3^{ra} Categoría por lo que va a tener 1600 traviesas por kilómetro, un espesor de balasto de 25 centímetros bajo la traviesa y un calibre de carril de 50 kg/m.

CAPÍTULO 2. PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN DEL RAMAL CUMANAYAGUA

2.1 Introducción

En este capítulo se exponen los aspectos a tener en cuenta en el proyecto de reconstrucción de un ramal, las posibles variantes que se emplearán en la reconstrucción del ramal Cumanayagua y los cálculos del trazado de la nueva rasante. Para lograr estos objetivos se estudiaron los informes que se emitieron producto del "peinado de investigación" y de la proyección de la antigua vía férrea, también se trabajó con programas computacionales como son el Auto CAD y hojas en Excel con tal de solucionar el problema científico planteado en el marco teórico-referencial de este trabajo de investigación.

2.2 Aspectos a tener en cuenta en una reconstrucción

Muchas características de la vía férrea, que influyen en la seguridad del movimiento de los trenes de alta velocidad y que determinan el gasto del trabajo en el mantenimiento de las vías y sus obras de fábricas, se establecen ya en el peinado de investigación, proyección y construcción de las vías férreas. Por eso los especialistas en la explotación de las vías férreas necesitan conocer las bases de las investigaciones de la proyección y de la construcción de la vía.

En la investigación se tiene en cuenta la influencia de las estructuras y del estado de las vías en la resistencia al movimiento, en la velocidad y en el peso de los trenes.

En la reconstrucción debemos en particular garantizar la resistencia, estabilidad y durabilidad de las estructuras, la influencia de la tecnología a utilizar en las colocaciones y montajes sobre las condiciones de explotación. Se debe dar una gran atención a la calidad

de las estructuras así como a los requerimientos, que deben responder las estructuras en el período de explotación. También se le debe dar una minuciosa atención a los factores referentes a la economía, la sociedad, lo militar, el medio ambiente y el factor topográfico que está estrechamente relacionado con la velocidad de la vía, la capacidad tractiva del tren y la carga por eje. Estos indicadores presentan una valuación favorable.

2.2.1 Economía y sociedad (Ramal Cumanayagüa (R.M.))

Permite restablecer y ampliar el servicio de trenes de cargas y de pasajeros en la región, el cual existió y es un anhelo de la población de la zona.

2.2.2 Militar (R.M.)

El aumento de la producción industrial que impera en la unidad militar La Campana impone el desarrollo de las vías férreas en la región, debido que este medio de transporte es muy eficiente con lo relacionado a combustible por toneladas transportada.

2.2.3 Medio Ambiente (R.M.)

Esta rehabilitación presenta una mínima afectación al medio ambiente que la rodea porque los sistemas de drenajes ya están construidos, por lo que solo se requiere calcularlos nuevamente e intervenirlos. Se tratará de seguir el mismo trazado siempre que sea posible por lo que el movimiento de tierra será el mínimo indispensable.

2.2.4 Topográfico (R.M.)

El trazado es sinuoso, bordea las alturas de la zona, atraviesa gran cantidad de arroyos y ríos y posee pendientes máximas de 20⁰/100 y radio de curva mínimo de 250 metros. La explanación presenta un ancho insuficiente para la colocación de la nueva vía.

- **Carga por eje (R.M.):** Se debe aumentar al ramal la capacidad portante de la vía, lo que trae consigo el aumento del calibre del carril, de la cantidad de traviesas por kilómetro y del espesor de balasto. La causa de estas acciones es que el antiguo ramal pertenece a una categoría de vía menor a la nueva vía a reconstruir.
- **Capacidad tractiva del tren (R.M.):** Para una mejora de la capacidad tractiva del tren que circulará por el ramal se disminuirán las pendientes y se aumentarán los radios de curvatura de las curvas horizontales como mínimo a 300 metros y en los casos que no

se pueda procesar con una buena justificación técnica económica, se llevará a mayor o igual que 250 metros.

- **Velocidad de circulación (R.M.):** Para el aumento de la velocidad de los trenes por la vía hay que tener en cuenta todo lo referente a la carga por eje y a la capacidad tractiva del tren.

2.2.5 Normas

- NC 53-166 (1986) Diseño Geométrico de vías férreas, parámetros de planta.

Curvas horizontales:

Tabla 2.1. (Tabla 1 de la norma).

Clase de vías	Radio de curvas circulares (m)		
	Recomendable	Condiciones difíciles	Condiciones muy difíciles
I	4000, 3000, 2500 y 2000	1000	600
II	2000, 1800, 1500, y 1200	800	400
III	2000, 1800, 1500, 1200 y 1000	500	250
IV	2000, 1800, 1500, 1200, 1000, 800, 700,	300	180
V	600, 500 y 400		150

Superelevación (h)

$$h = 8 (V_{\max}^2 / R) \text{ (mm)}$$

$$h_{\min.} = 11.8 (V_{\max}^2 / R) - 100 \text{ (mm) (comprobación)}$$

Se toma el mayor valor obtenido de estas dos formulas.

El valor máximo de superelevación recomendable es igual a 150 mm.

La pendiente de la superelevación no será mayor que 1 ‰.

Tabla 2.2. Longitud recta entre curvas. (Tabla 3 de la norma).

Clase de Vías Férreas	Longitud mínima de la intersección recta (m)	
	Dirección de las curvas.	
	Diferentes sentidos	Igual sentido
I y II	75	100
III, IV y V	50	50

- NC 53 – 165 (1986) Diseño Geométrico, parámetros de perfil.

Tabla 2.3. Pendiente dominante. (Tabla 1 de la norma).

Clase de vía.	Pendiente máxima (‰)
I	12
II	15
III	20
IV y V	30

Tabla 2.4. Pendiente de tracción múltiple. (Tabla 2 de la norma).

Condiciones difíciles	Tipo de mando (Se multiplica por el valor de la tabla 1)	
Tipo de tracción	Individual	Centralizado

Doble	1.8	2.0
Triple	2.7	3.0

Tabla 2.5. Diferencia algebraica de pendiente. (Tabla 3 de la norma).

Clases de vías.	Diferencia algebraica de la pendiente máxima permisible	
	Recomendable.	Condiciones difíciles.
I	8	12
II	10	20
III	12	20
IV y V	20	30

Curvas verticales: Cambio de pendiente en el perfil con una diferencia algebraica mayor que el $3^{0}/_{00}$, se resuelve mediante curvas verticales y los radios de estas curvas se establecen en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Radio de curvas verticales. (Tabla 4 de la norma).

Clases de vías.	Radio de curva vertical (m).	
	Recomendable.	Condiciones difíciles.
I	15000	5000
II	10000	3000
III	10000	3000
IV y V	5000	2000

- NC 2004 Gálidos de Ferrocarriles.

Tiene como objetivos establecer los distintos tipos de Gálibos que cumplirán los ferrocarriles convencionales del país, con trochas de (1435, 914, 762 y 705) mm. Es aplicable a las vías de nueva construcción y reconstrucción.

- NC 249 Clasificación de Vías.

Tiene como objetivo establecer la clasificación de las vías férreas de servicio público o propio, para cualquier ancho de vía de acuerdo con su importancia para la economía nacional, la intensidad de tráfico de cargas y pasajeros y la velocidad máxima de los trenes. La presente Norma Cubana es aplicable a la elaboración de proyectos de nuevas vías, segundas vías, reconstrucción y reparación capital de las vías existentes.

- NRMT244 Vías y Puentes para el Transporte Ferroviario. Líneas Férreas. Clasificación.

Tiene como objetivo establecer la clasificación de las líneas ferroviarias. Se aplica en proyectos de obras de nueva construcción, reconstrucción, reparación y mantenimiento normal de las vías férreas, de las redes de ferrocarriles de Servicio Público o Industrial con ancho de vía normal de 1435 mm; se excluyen las de patio y sus accesos.

- NRMT157 Transporte Ferroviario. Tipos de superestructura de la vía férrea. Parámetros Principales.

Tiene como objetivo establecer los parámetros principales de los distintos tipos de superestructura de la vía férrea, en las redes de ferrocarriles de Servicio Público o Industrial con ancho de vía normal de 1435 mm.

- NC 53-172 Proyectos de Construcción. Explanación de vías férreas. Especificaciones de proyectos.

Tiene como objetivo establecer las especificaciones para determinar la explanación de los proyectos de vías férreas en los tramos. La norma está aplicada a todos los proyectos nuevos, ampliaciones y reconstrucciones de vías existentes que se realicen en el país.

2.3 Variantes del proyecto de reconstrucción del ramal Cumanayagua

Para la realización del proyecto, basado en la tarea técnica, se analizaron dos variantes:

- a. La primera variante, saldría del Paradero de Camarones en la línea Cienfuegos hasta Cumanayagua por el mismo trazado de la vía desmantelada con un presupuesto estimado de 9.0 mil millones de pesos.
- b. La segunda variante sale del kilómetro 10.0 del Guabairo hasta Cumanayagua, con un presupuesto estimado de 13.0 mil millones pesos.

Se escogió la primera variante no solo por ser la de menor presupuesto, sino porque se aprovechan 26 kilómetros de trazado en buen estado. Además en los kilómetros que están desmantelados se realizará un mejoramiento de la subrasante con 30 centímetros de material de la localidad, debido que esta explanada ha estado expuesta con el paso del tiempo a la circulación de vehículos automotrices y de tracción animal, al sembrado de cultivos y además a las fuertes lluvias y vientos que traen consigo el paso de los ciclones por el país. Las cunetas también serán rectificadas por estas mismas razones. Las obras de fábricas existentes se repararán y se recalcularán para la categoría exigida.

2.4 Cálculos de la proyección sobre el terreno de la nueva vía

La reconstrucción se realizara solamente para los primeros 5 kilómetros del ramal.

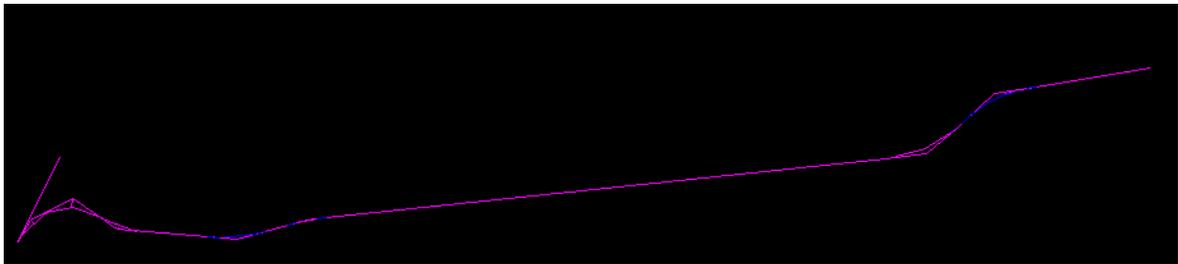


Figura 2.1. Planta de los cinco kilómetros del ramal Cumanayagua.

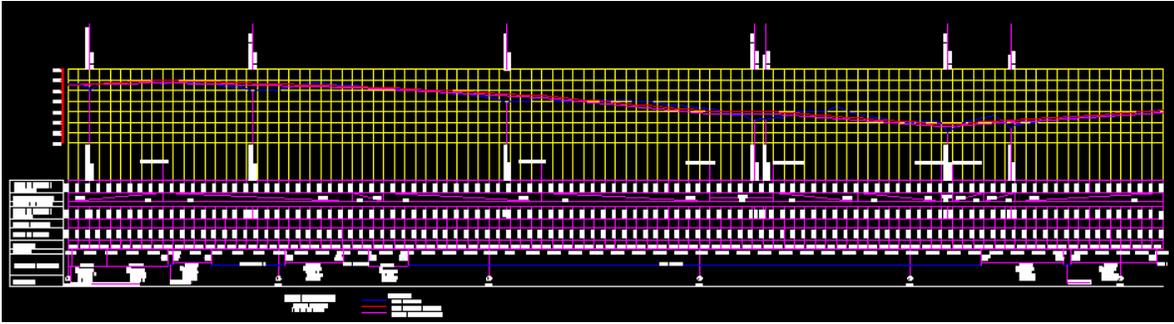


Figura 2.2. Perfil longitudinal de los cinco kilómetros del ramal.

2.4.1 Cotas del terreno

Cotas de nivel del terreno tomadas del informe de investigación que se emitió producto del peinado del terreno y de las cartas topográficas.

Tabla 2.7. Cotas de nivel del terreno.

Piquete	25 Izq.	10 Izq.	5 Izq.	Eje.	5 Der.	10 Der.	25 Der.
0+00.0	83.00	83.04	83.04	83.05	83.054	83.058	83.07
0+50.0	82.50	82.74	82.82	82.90	83.00	83.10	83.40
1+00.0	82.90	83.08	83.14	83.20	83.26	83.28	83.50
1+50.0	82.90	83.14	83.22	83.30	83.34	83.38	83.50
2+00.0	82.70	82.76	82.78	82.80	82.88	82.96	83.20

La continuación de la tabla se puede observar en el (Anexo 3).

2.4.2 Rasante existente y proyectada

La rasante existente está a nivel de subrasante, mientras que la proyectada estará a 0.902 metros por encima de la rasante existente.

Tabla 2.8. Cotas de rasante existente y proyectada.

Piquete.	Rasante existente	Rasante proyectada
0+00.0	82.30	82.30
0+50.0	82.47	83.372
1+00.0	82.64	83.542
1+50.0	82.80	83.702

La continuación de la tabla se puede observar en el (Anexo 4).

Los tipos de secciones típicas a utilizar en la reconstrucción son los siguientes:



Figura 2.3. Sección típica 1.



Figura 2.4. Sección típica 2.



Figura 2.5. Sección típica 3.

Tipo de suelo	Pendiente
Roca suelta	1:1
Roca sólida	0.25:1 - 0.50:1
Tierra	1.5:1

Figura 2.6. Taludes mínimos en corte.

2.4.3 Cálculo de las curvas horizontales

- Primera curva.

Curva circular simple de inflexión derecha con un $\Delta=6^{\circ}20'25''$.

$$T_c = R_c * \tan \Delta/2 \quad E_c = R_c * (\sec \Delta/2 - 1) \quad h = 8 * V_{\max}^2 / R$$

$$P.C. \leftrightarrow -0+16.6157 \quad T_c = 16.6157m \quad h = 170.67mm$$

$$P.I. \leftrightarrow 0+00.0 \quad E_c = 0.4598m$$

$$P.T. \leftrightarrow 0+16.6157 \quad R_c = 300m$$

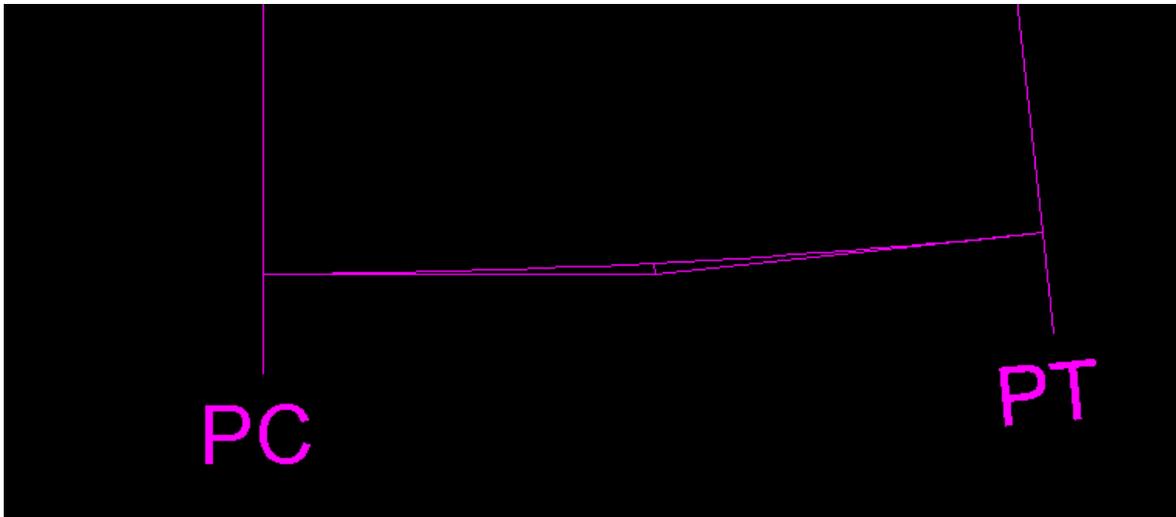


Figura 2.7. Corte 2-2 de la primera curva.

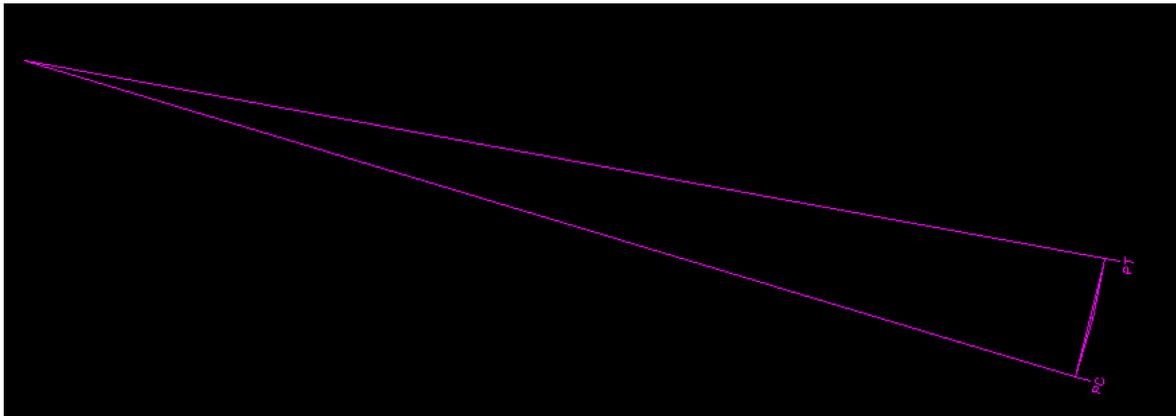


Figura 2.8. Corte 1-1 de la primera curva.

- Segunda curva.

Curva circular simple de inflexión derecha con un $\Delta=33^{\circ}39'35''$.

$T_c = R_c * \tan \Delta/2$	$E_c = R_c * (\sec \Delta/2 - 1)$	$h = 8 * V_{\max}^2 / R$
P.C. \leftrightarrow 0+16.6157	$T_c = 83.3843\text{m}$	$h = 185.73\text{mm}$
P.I. \leftrightarrow 1+00.0	$E_c = 12.335\text{m}$	
P.T. \leftrightarrow 1+83.3843	$R_c = 275.663\text{m}$	

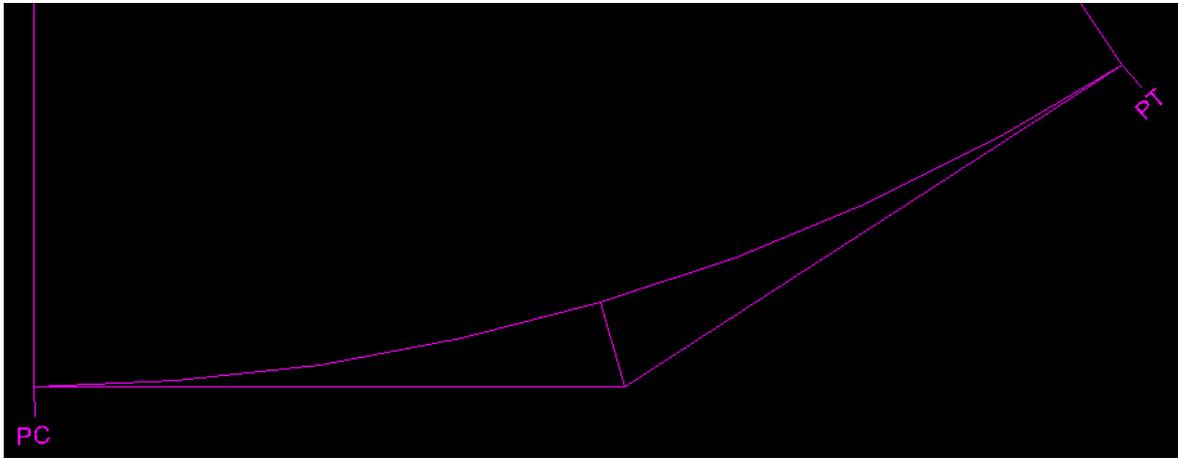


Figura 2.9. Corte 2-2 de la segunda curva.

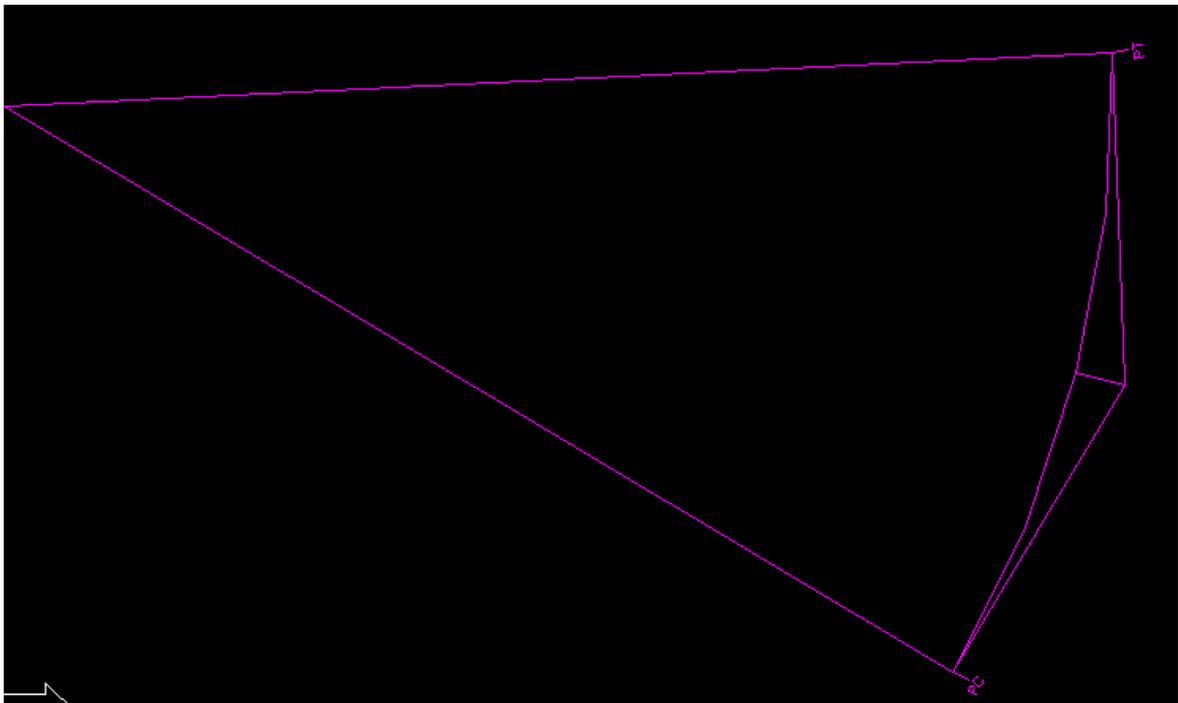


Figura 2.10. Corte 1-1 de la segunda curva.

- Tercera curva.

Curva circular simple de inflexión derecha con un $\Delta=60^\circ$.

$$T_c = R_c * \tan \Delta/2 \quad E_c = R_c * (\sec \Delta/2 - 1) \quad h = 8 * V_{\max}^2 / R$$

$$P.C. \leftrightarrow 1+83.3843 \quad T_c = 146.6158m \quad h = 201.62mm$$

$$P.I. \leftrightarrow 3+30.0 \quad E_c = 39.286m \quad P.T. \leftrightarrow 4+76.6158 \quad R_c = 253.946m$$

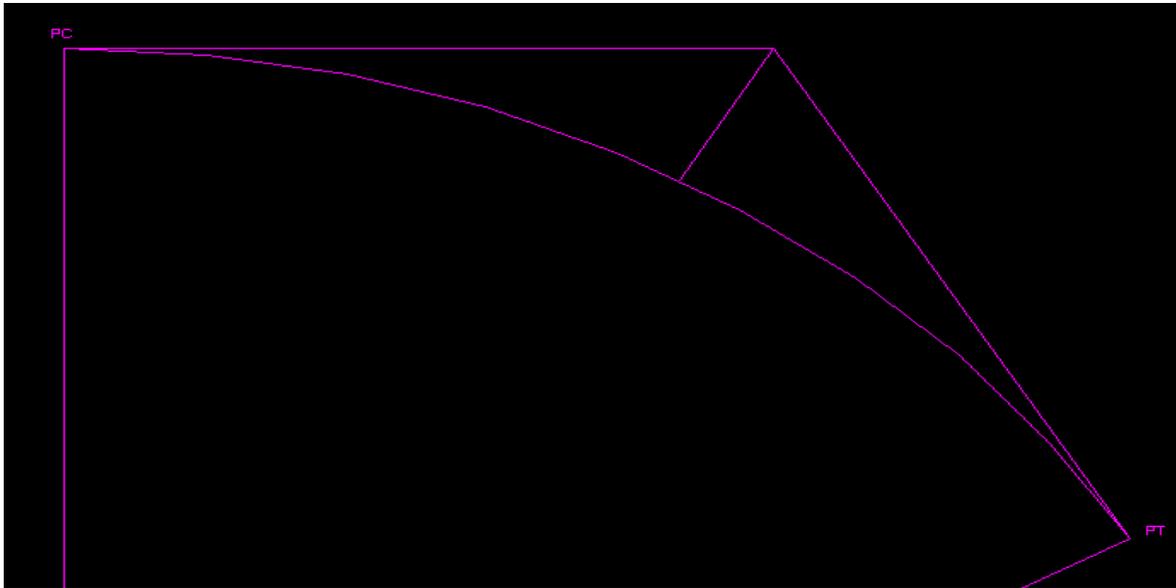


Figura 2.11. Corte 2-2 de la tercera curva.

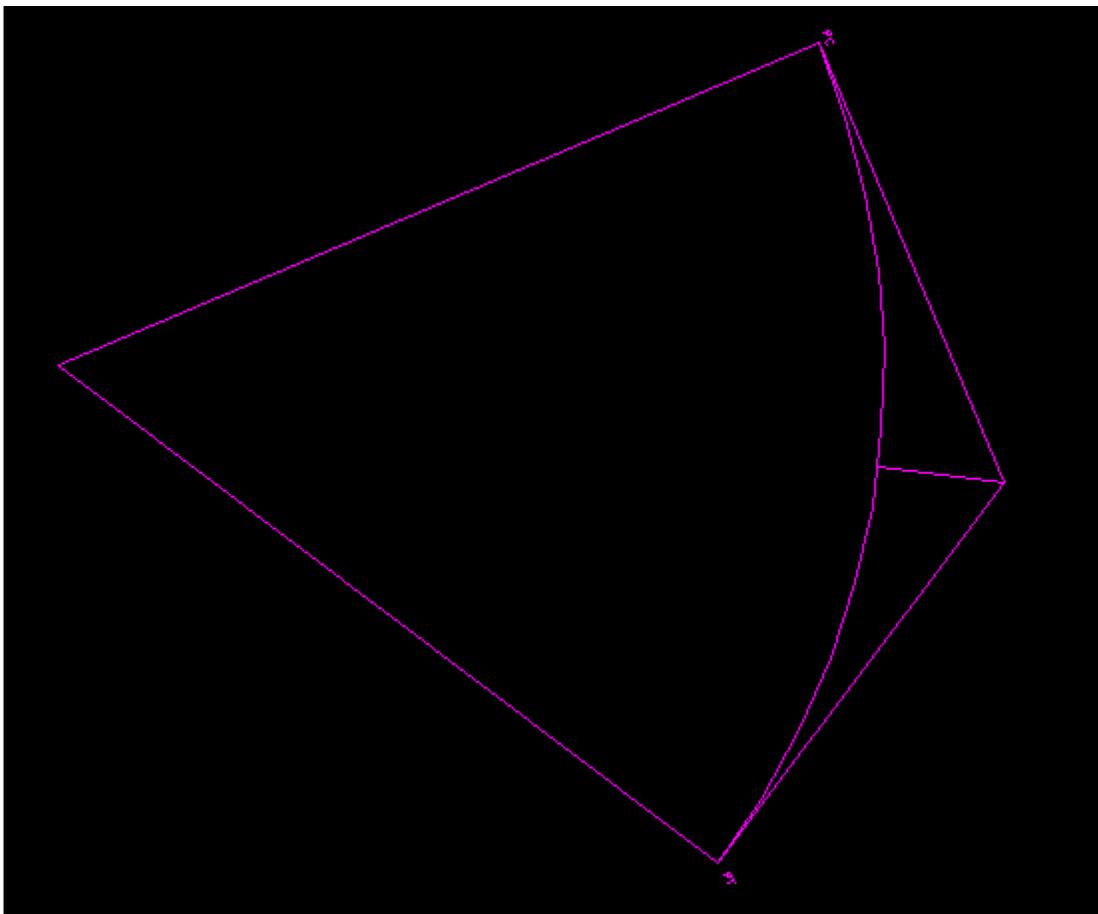


Figura 2.12. Corte 1-1 de la tercera curva.

Nota:

Estas tres primeras curvas se dejaron circulares simples y con un radio menor o igual a 300 metros debido a que en ese tramo de vía está construido el andén y unos almacenes pertenecientes a la estación de San Fernando de Camarones.

- Cuarta curva.

Curva circular simple de inflexión izquierda con un $\Delta=30^\circ$.

$$T_c = R_c * \tan \Delta/2 \quad E_c = R_c * (\sec \Delta/2 - 1) \quad h = 8 * V_{\max}^2 / R$$

$$P.C. \leftrightarrow 4+96.6158 \quad T_c = 93.3842m \quad h = 146.91mm$$

$$P.I. \leftrightarrow 5+90.00 \quad E_c = 12.294m$$

$$P.T. \leftrightarrow 6+83.3842 \quad R_c = 348.5146m$$

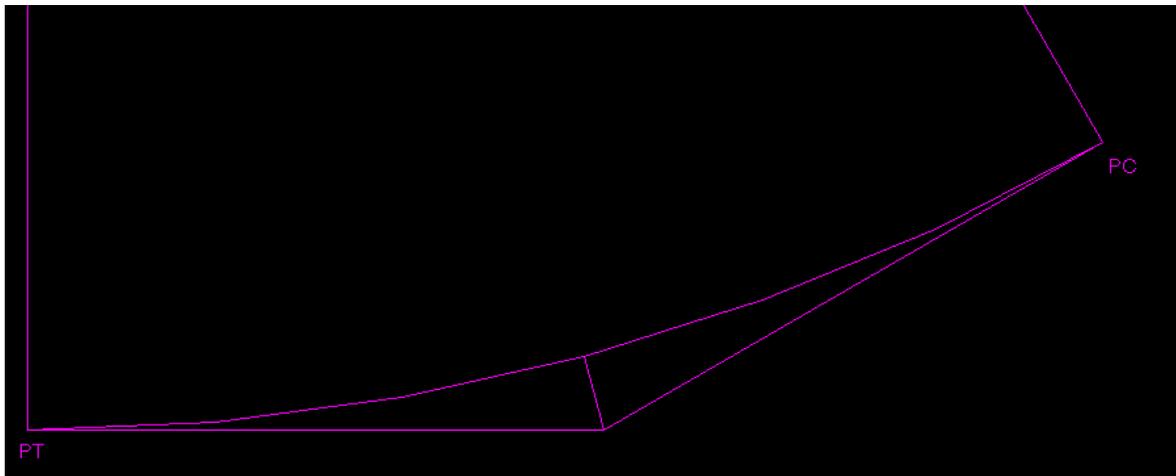


Figura 2.13. Corte 2-2 de la cuarta curva.

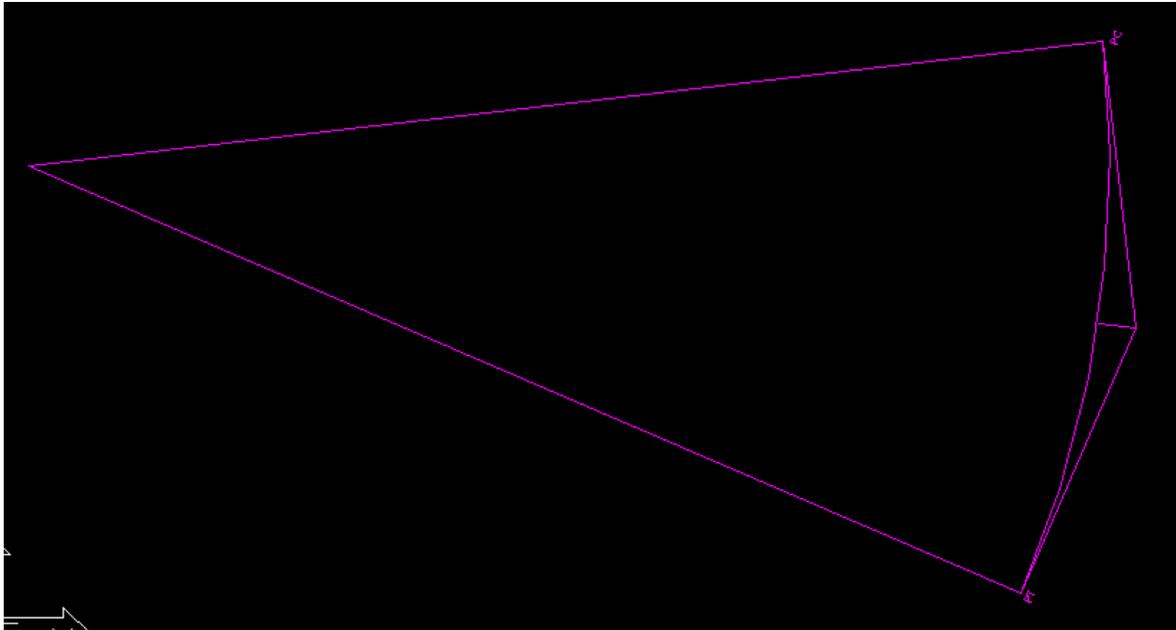


Figura 2.14. Corte 1-1 de la cuarta curva.

Nota:

Esta curva no se pudo replantear de transición porque no cumplía con la distancia mínima en recta entre curvas.

- Quinta curva.

Curva de transición de inflexión izquierda con un $\Delta = 20^\circ$

$$h = 8 * V_{\max}^2 / R \quad l_s = h \text{ (m)} \quad m = l_s / 2$$

$$p = l_s^2 / 24 * R \quad D_c = (\pi * R * \Delta / 180) - l_s$$

$$T_c = (R + p) * \tan \Delta / 2 \quad T_T = T_c + m \quad R = 500\text{m}$$

$$\text{T.S.} \leftrightarrow 10+30.48 \quad \text{S.C.} \leftrightarrow 11+32.88 \quad h = 102.4\text{mm}$$

$$\text{C.S.} \leftrightarrow 12+05.01 \quad \text{S.T.} \leftrightarrow 13+07.41$$

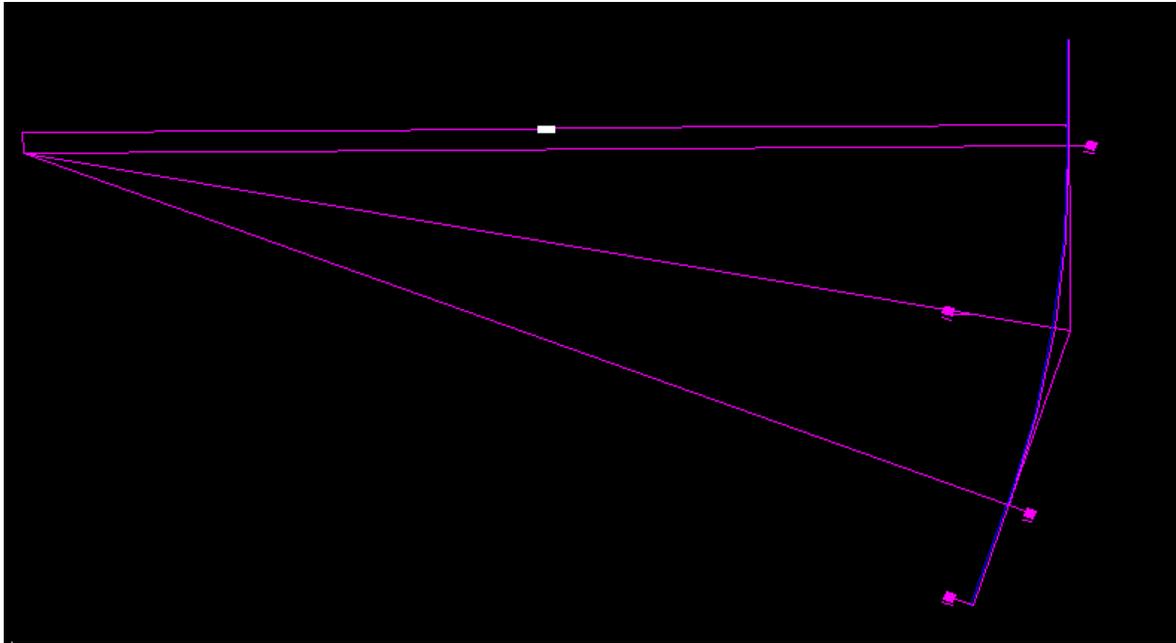


Figura 2.15. Corte 1-1 de la quinta curva.

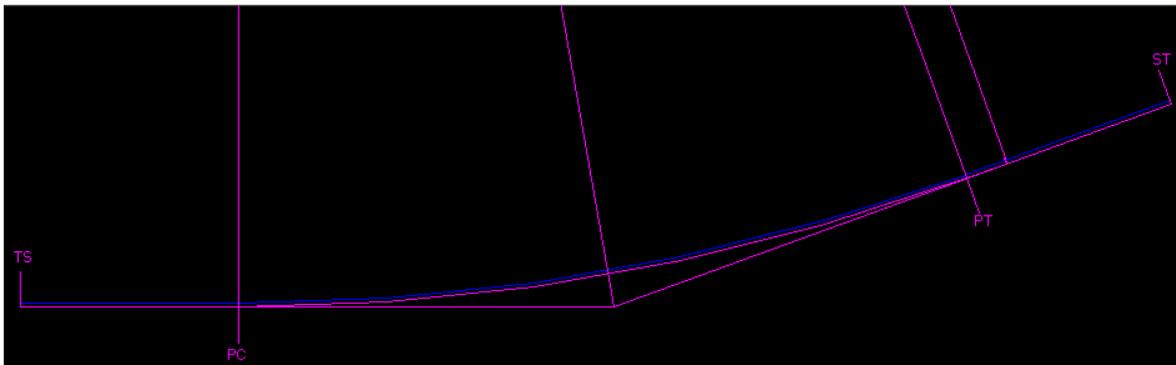


Figura 2.16. Corte 2-2 de la quinta curva.

- Sexta curva.

Curva de transición de inflexión derecha con un $\Delta = 10^\circ$

$$h = 8 * V_{\max}^2 / R \quad l_s = h \text{ (m)} \quad m = l_s / 2$$

$$p = l_s^2 / 24 * R \quad D_c = (\pi * R * \Delta / 180) - l_s$$

$$T_c = (R + p) * \tan \Delta / 2 \quad T_T = T_c + m \quad R = 600\text{m}$$

$$\text{T.S.} \leftrightarrow 14+24.81 \quad \text{S.C.} \leftrightarrow 15+10.11 \quad h = 85.3\text{mm}$$

$$\text{C.S.} \leftrightarrow 15+29.53 \quad \text{S.T.} \leftrightarrow 16+14.83$$

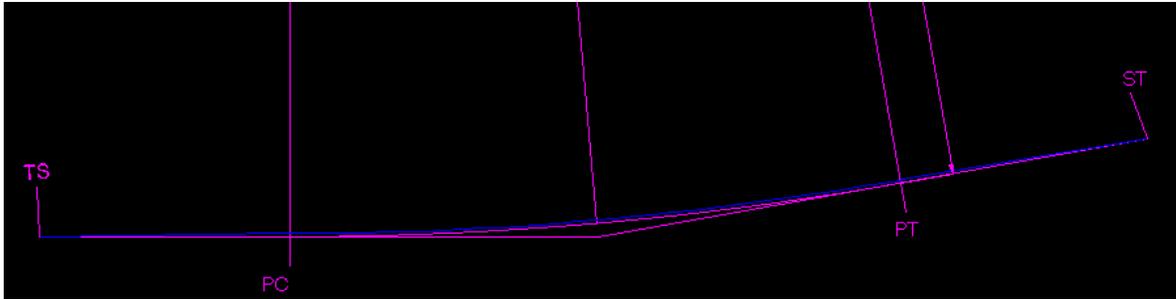


Figura 2.17. Corte 2-2 de la sexta curva.

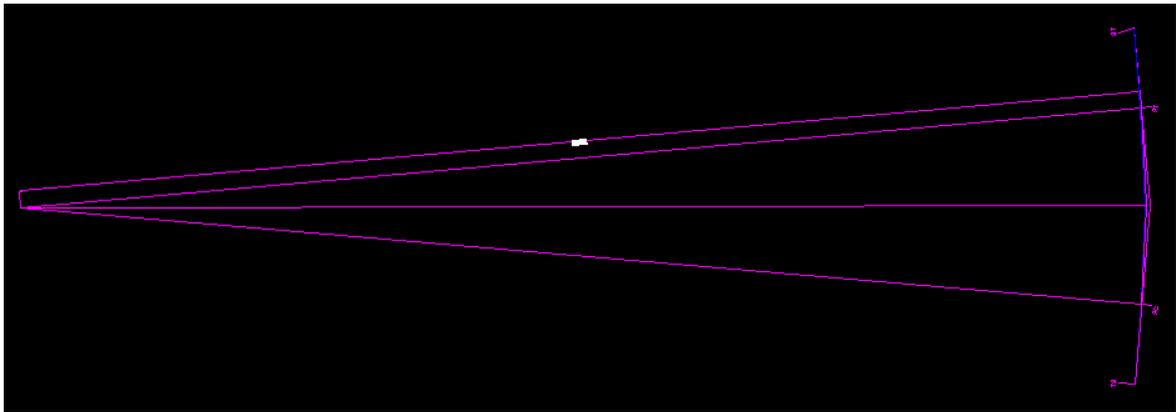


Figura 2.18. Corte 1-1 de la sexta curva.

- Séptima curva.

Curva de transición de inflexión izquierda con un $\Delta = 33^\circ$

$$h = 8 * V_{\max}^2 / R \quad l_s = h \text{ (m)} \quad m = l_s / 2$$

$$p = l_s^2 / 24 * R \quad D_c = (\pi * R * \Delta / 180) - l_s$$

$$T_c = (R + p) * \tan \Delta / 2 \quad T_T = T_c + m \quad R = 500\text{m}$$

$$T.S. \leftrightarrow 43+40.44 \quad S.C. \leftrightarrow 44+42.84 \quad h = 102.4\text{mm}$$

$$C.S. \leftrightarrow 46+28.42 \quad S.T. \leftrightarrow 47+30.82$$

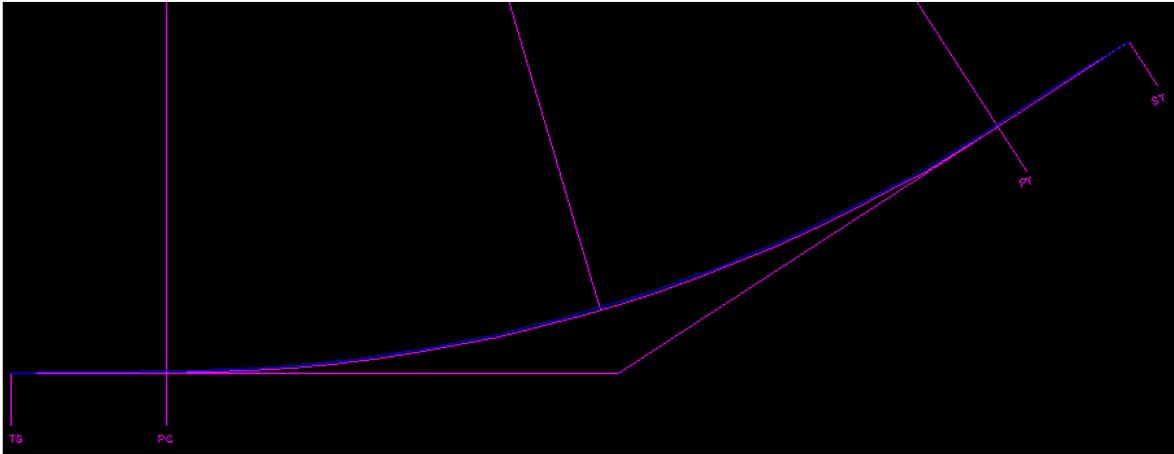


Figura 2.19. Corte 2-2 de la séptima curva.

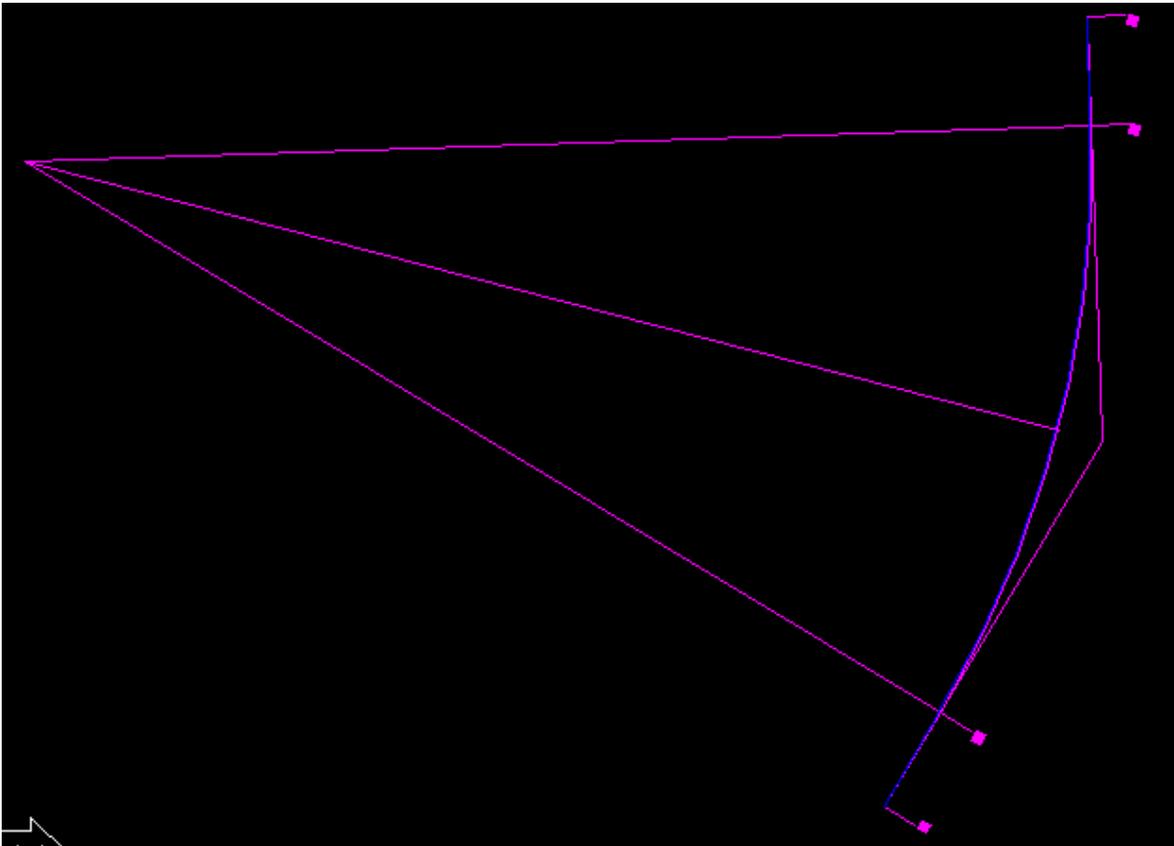


Figura 2.20. Corte 1-1 de la séptima curva.

- Octava curva.

Curva de transición de inflexión izquierda con un $\Delta = 35^\circ$

$$h = 8 * V_{\max}^2 / R \quad l_s = h \text{ (m)} \quad m = l_s / 2$$

$$p = l_s^2 / 24 * R \quad D_c = (\pi * R * \Delta / 180) - l_s$$

$$T_c = (R + p) * \tan \Delta/2 \quad T_T = T_c + m \quad R = 500m$$

$$T.S. \leftrightarrow 47+65.88 \quad S.C. \leftrightarrow 48+68.28 \quad h = 102.4mm$$

$$C.S. \leftrightarrow 50+71.31 \quad S.T. \leftrightarrow 51+73.71$$

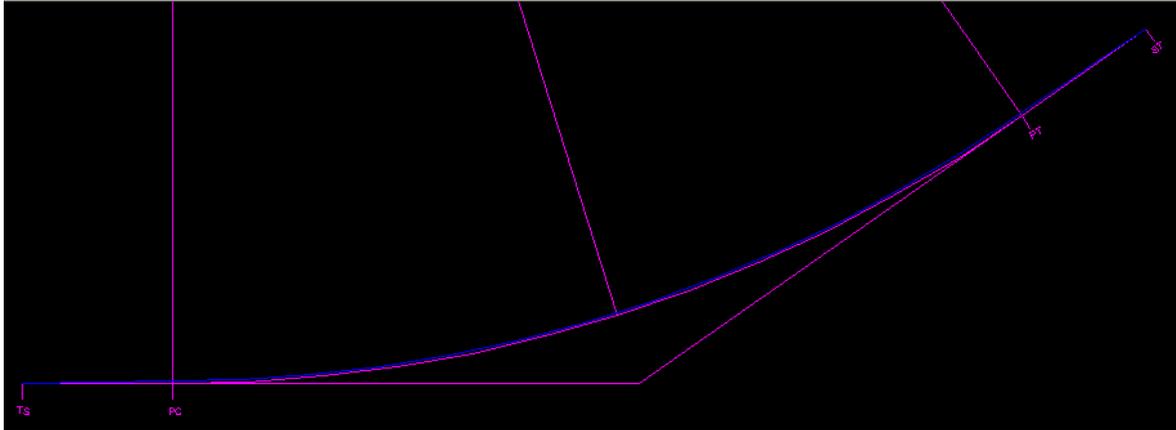


Figura 2.21. Corte 2-2 de la octava curva.

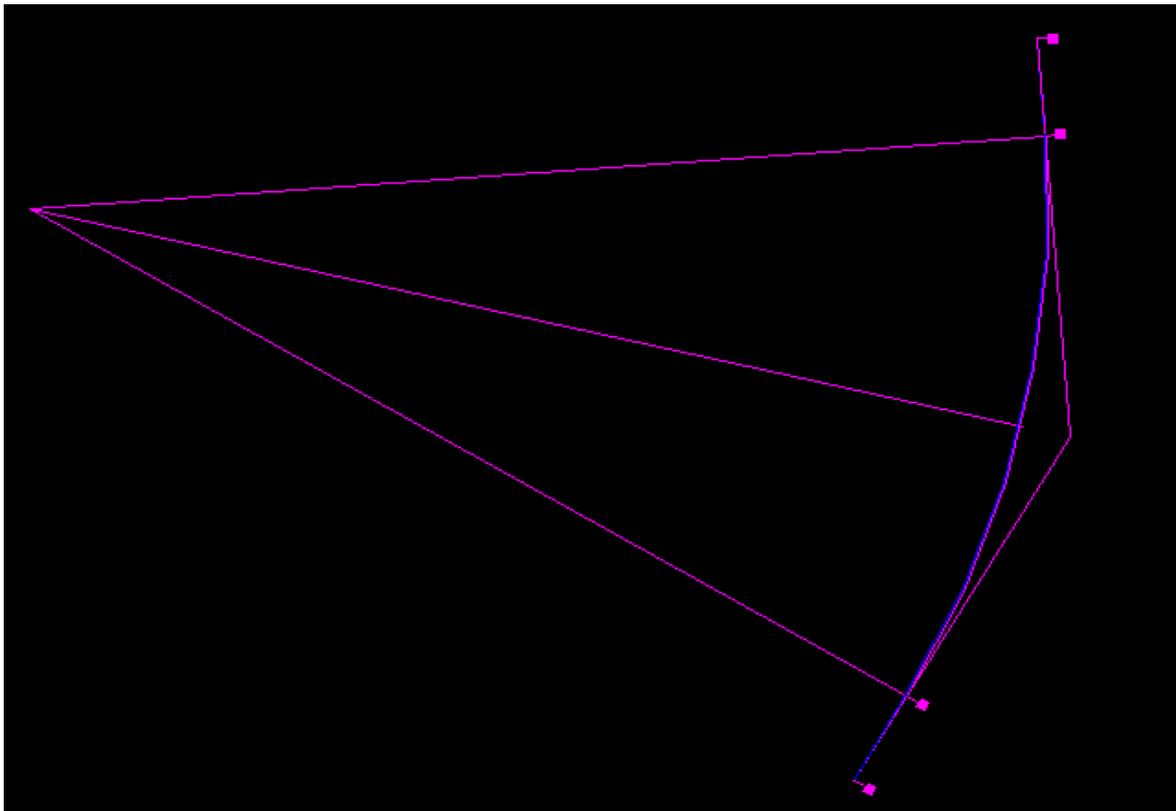


Figura 2.22. Corte 1-1 de la octava curva.

Nota:

La octava curva es la unión de dos curvas del antiguo trazado que no cumplían con la distancia mínima en recta entre curvas, ni el radio mínimo permisible.

2.4.4 Cálculo de las curvas verticales

Longitud entre cambios de pendientes y su enlace con la rasante en la curva vertical (T) se calcula mediante la siguiente formula.

$$T = 2.5 * \Delta i \text{ (m)}$$

Notas:

- 1) Las curvas verticales no se situarán en la extensión del desarrollo de las curvas de transición horizontal, en patios que no tienen balasto ni en coincidencia con conexiones de las vías principales en los patios.
- 2) Cuando se proyectan vías férreas de III, IV, y V clases y en la reconstrucción de vías de transición en condiciones muy difíciles y buena justificación técnico-económica que demuestre que no ofrece dificultad alguna al cálculo de la curva, ni al mantenimiento de la vía.

Tabla 2.9. Longitud del elemento del perfil. (Tabla 5 de la norma).

Clase de vía.	Longitud del elemento del perfil mínimo permisible (m).	
	Recomendable.	Condiciones difíciles.
I	250	200
II y III	200	200
IV y V	100	100

Notas:

- 1) En la diferencia algebraica del cambio de pendiente es menor que los valores que se establecen en la tabla 2.5, se permite reducir la longitud mínima de los elementos del perfil que la componen proporcionalmente a la reducción del cambio de rasante.

- 2) En excavaciones horizontales y mayores no menores de 400 metros de longitud, los elementos del perfil tendrán pendientes no menos que 2 ‰ y con inclinación hacia ambos lados de la excavación.
- 3) En la proyección de reconstrucción de vías existentes o de segundas vías, se le aplican los parámetros del perfil establecido anteriormente que requiere reconstruir la explanada u obras de fábricas existentes permitiendo reducir la longitud del elemento del perfil a 200 metros siempre y cuando la velocidad prevista para los trenes de pasajeros no exceda los 120 kph.

Perfil curvilíneo.

En condiciones difíciles donde no sea conveniente aplicar los parámetros que se establecen en la tabla 3, para el cambio máximo de pendiente se permite la utilización de perfil curvilíneo o sea, cambios de pendientes sucesivas con los elementos de perfil más cortos. La longitud total del mismo no será menor que la longitud resultante de proyectarse el perfil por los parámetros establecidos en la tabla 2.5. La longitud de sus elementos del perfil que lo forman será no menor que 50 metros y solo en algunos casos con una buena justificación Técnico-económica se permite disminuir esta longitud a 25 metros. En las vías de clase I se permite una diferencia algebraica de las pendientes de los elementos del perfil curvilíneo, no mayor que el 1.5 ‰ y en las clases II y III no mayor de 2 ‰.

- Primera curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 4+50.00 y $\Delta i = 6.4595$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = -0.02636m \quad T_v = 16.2375m$$

$$P.C. = 4+33.7625 \quad R_v = 5000m$$

$$P.T. = 4+66.2375$$

- Segunda curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 22+50.0 y $\Delta i = 4$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = -0.01m \quad T_v = 10m$$

$$P.C. = 22+40.0 \quad R_v = 5000m \quad P.T. = 22+60.0$$

- Tercera curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 30+50.0 y $\Delta i = 9.29$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = 0.0539\text{m} \quad T_v = 23.225\text{m}$$

$$P.C. = 30+26.775 \quad R_v = 5000\text{m}$$

$$P.T. = 30+73.225$$

- Cuarta curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 33+50.0 y $\Delta i = 7.75$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = -0.0375\text{m} \quad T_v = 19.375\text{m}$$

$$P.C. = 33+30.625 \quad R_v = 5000\text{m}$$

$$P.T. = 33+69.375$$

- Quinta curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 41+50.0 y $\Delta i = 7.5$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = 0.0352\text{m} \quad T_v = 18.75\text{m}$$

$$P.C. = 41+31.25 \quad R_v = 5000\text{m}$$

$$P.T. = 41+68.75$$

- Sexta curva vertical.

Curva vertical simple con P.V. en 42+00.0 y $\Delta i = 7.93$.

$$h = T_v^2 / 2 * R_v \quad h = 0.0393\text{m} \quad T_v = 19.825\text{m}$$

$$P.C. = 41+80.175 \quad R_v = 5000\text{m}$$

$$P.T. = 42+19.825$$

Nota:

- 1) Las demás alineaciones verticales sus diferencia algebraica del cambio de pendiente son menor que $3^{0/00}$.
- 2) La h (+) es en terraplén y la h (-) en excavación.

2.5 Conclusiones parciales del segundo capítulo

- 1) Al darle un orden a los parámetros que se tienen que tener en cuenta para la realización de un proyecto de reconstrucción de un ramal, no se siguió ningún orden de prioridad.
- 2) Se escogió la variante del Paradero de Camarones en la línea Cienfuegos hasta Cumanayagua no sólo por ser la de menor presupuesto, sino porque se aprovechan 26 kilómetros de trazado en buen estado. Además los kilómetros que están desmantelados solamente se realizará un mejoramiento de la subrasante con 30 centímetro de material de la localidad. Las cunetas también serán rectificadas, las obras de fábricas existentes se recalcularán al igual que las curvas verticales y horizontales cumpliendo con las especificaciones para una vía de categoría III. Estando implícito todo esto en el movimiento que deberán tener los trenes, a su velocidad y al peso que los mismos tendrán al pasar por la vía.
- 3) Todas las curvas horizontales existentes en la antigua vía tenían (250 – 300) metros de radio y eran circulares simple y la nueva vía de categoría III presentará radios de (300 – 500) metros y curvas de transición, en caso que no se pueda aumentar el radio y la distancia mínima en recta entre curvas no se cumpla, se dejarán mayor o igual que 250 metros y circulares simple, para ello se contará con una buena justificación técnico – económica.
- 4) Las curvas verticales con diferencia del cambio de pendiente mayores que el 30/00 y menores que las pendientes dominantes se resolvieron con curvas verticales simples y simétricas.

CAPÍTULO 3. CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO DEL RAMAL CUMANAYAGUA

3.1 Introducción

La implementación práctica del ramal Cumanayagua a las FFCC de Cienfuegos y su cumplimiento con las especificaciones a tener en cuenta en su reconstrucción y su presupuesto, posibilitará dar respuesta a la petición del mejoramiento del transporte de pasajeros y de carga en la zona que es de hecho la hipótesis formulada en esta investigación, teniendo en cuenta el problema científico enfocado en la introducción de este trabajo. En este capítulo se exponen los resultados de los chequeos de la superestructura del ramal y los cálculos del presupuesto.

3.2 Generalidades del cálculo de la superestructura de la vía férrea

Al analizar la vía férrea desde el punto de vista estructural, se considera el carril como una viga que descansa en toda su longitud sobre una sustentación elástica continua y sobre él se mueven con una velocidad constante un sistema de fuerzas unitarias compuesto por diferentes masas y fuerzas que están unidas elásticamente mediante sistema de rigideces.

El cálculo de la vía férrea, al igual que el de las demás estructuras, es uno de los principales componentes del proyecto de construcción y reconstrucción. Este cálculo se caracteriza porque durante su explotación, las condiciones de circulación pueden alterarse, o sea, puede surgir un aumento en las cargas, así como en las velocidades de circulación, por lo que se necesitará después de superados ciertos límites de resistencia una consolidación de la estructura de la vía.

Con relación a lo expuesto, la finalidad del cálculo de la vía, puede resumirse de la siguiente forma:

- Se lleva a cabo para determinar la capacidad de la estructura de la vía, dadas unas condiciones de explotación determinadas.
- Para determinar las condiciones de explotación (velocidades de circulación o cargas) dada una estructura de la vía.

Los cálculos de la vía pueden clasificarse según su finalidad en:

- 1) Cálculo por Resistencia.
- 2) Cálculo por Fatiga.
- 3) Cálculo por Estabilidad.
- 4) Cálculo Técnico – económico.

En nuestro caso, vamos a realizar el cálculo por resistencia y estabilidad, donde determinaremos las tensiones causadas por las cargas que actúan sobre la superestructura de la vía, atendiendo a los factores estáticos y dinámicos. Los cálculos restantes no se realizarán porque no se le realizó ninguna alteración a la superestructura de la vía.

3.2.1 Cálculo por fatiga

Evaluaremos la resistencia de los diferentes elementos de la vía basándonos en el criterio de comparación de los esfuerzos de trabajo que surgen en cada uno de ellos, con los valores de las tensiones admisibles y normas.

La diversidad de fuerzas actuando sobre la vía, la inestabilidad de ciertos parámetros de diseño, del equipo móvil y la probabilidad de que muchas magnitudes que componen el esquema de cálculo varíen, hacen que el cálculo resulte bastante complejo.

En la práctica, se tienen que simplificar los esquemas de cálculo, introduciéndole varias suposiciones que nos obligan a la necesidad de experimentos de datos teóricos.

Este cálculo reviste gran importancia para el trabajo ingenieril, ya que nos permite obtener superestructura de gran resistencia y por lo tanto de un prolongado tiempo de explotación,

garantizando de esta forma la seguridad en el movimiento de los trenes, en el confort para la transportación de los viajeros, así como el mejor uso de los equipos rodantes.

Siempre que se vaya a realizar el cálculo por resistencia de la vía o cualquier otro cálculo, debemos tener en cuenta los índices técnicos - económicos para lograr una mayor optimización, ya que éste es un indicador muy importante para la economía de nuestro país.

3.2.1.1 Peso del tren a circular por el ramal

$$Q = F_k - P (w_0' + i_p) / w_0'' + i_p$$

$$i_p = 12^0/00$$

Tabla 3.1. Velocidades de circulación.

Velocidad	Tren
50Km/h	Carga
80Km/h	Pasajero

Tabla 3.2. F_k .

Tren	Peso (T)	Velocidad	
		50 Km/h	80 Km/h
T.E.114	120	10 000 kg	6 300 kg
M.L.W.	112	11 800 kg	7 800 kg

- M.L.W. $\leftrightarrow w_0' = 0.65 + (13.1/18.666) + (0.028 * V + 0.0489 * V^2) / 112$

Tabla 3.3. Resultado de w_0' para M.L.W.

Velocidad	w_0'
50 Km/h	2.436 kg/T
80 Km/h	4.113 kg//T

$$W_0'' = 0.7 + (3 + 0.1 * V + 0.0025 * V^2) / q_0$$

Nota:

$q_0 = 84$ Ton. Para casillas soviéticas de 4 ejes de 60 Ton de capacidad y 24 Ton de tara con cojinetes de rodillo.

Tabla 3.4. Resultado de w_0'' para casillas soviética.

Velocidad	w_0''
50 Km/h	0.87 kg/T
80 Km/h	1.02 kg//T

$$Q_{M.L.W.} = 791,23 \text{ Ton} \leftrightarrow (50\text{Km/h})$$

$$Q_{M.L.W.} = 460,47 \text{ Ton} \leftrightarrow (80 \text{ Km/h})$$

- T.E.114. $\leftrightarrow w_0' = 1.9 + 0.01 * V + 0.0003 * V^2$

Tabla 3.5. Resultado de w_0' para T.E.114.

Velocidad	W_0'
50 Km/h	3.15 kg/T
80 Km/h	4.62 kg//T

$$Q_{T.E.114.} = 635,74 \text{ Ton} \leftrightarrow (50 \text{ Km/h})$$

$$Q_{T.E.114.} = 330,69 \text{ Ton} \leftrightarrow (80 \text{ Km/h})$$

3.2.1.2 Revisión del carril a flexión

1) Cálculo del coeficiente de rigidez relativa.

$$L = ((2 * E * I * d) / (c * b * u))^{1/4} = 79.86 \text{ cm}$$

$$c = 0.1 \quad u = 55 \text{ cm} \quad b = 25 \text{ cm} \quad d = 66 \text{ cm} \quad I = 2018 \text{ cm}^4$$

$$E = 2.1 * 10^4 \text{ kn/cm}^2$$

2) Carga crítica en los extremos.

Distancia entre los ejes de la locomotora (x) = 210 cm.

$$\mu = e^{-x/L} * (\cos x/L - \text{sen } x/L)$$

$$\mu_{11} = 1 \quad \mu_{21} = -0.098 \quad \mu_{31} = 0.00685$$

3) Cálculo de la carga dinámica.

$$\alpha = 1 + (4.5 * V^2) / 10^5 - (1.5 * V^3) / 10^7 \quad \alpha_{(50)} = 1.09 \quad \alpha_{(80)} = 1.21$$

$$P_d = P_{\text{est.}} * \alpha = 121.0 \text{ Kn}$$

4) Cálculo del momento flector.

$$M_f = (P_d * L) / 4 * \sum \mu_i = 2195.57 \text{ Kn-cm}$$

5) Chequeo del carril a flexión.

$$\sigma_f = (10 * M_f) / w \leq 150 \text{ MPa} \quad w = 286 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = 76.77 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa} \leftrightarrow (\text{OK})$$

3.2.1.3 Revisión de la traviesa al aplastamiento

$$\eta = e^{-x/L} * (\cos x/L + \text{sen } x/L)$$

$$Q = (P_d * d) / 2 * L = 50 \text{ Kn}$$

$$\text{Para } x = 0 \leftrightarrow \eta_{11} = 1 \quad \eta_{12} = -0.027$$

$$Q_1 = 50 * (1 - 0.027) = 48.65 \text{ Kn}$$

$$\text{Para } x = 66 \text{ cm} \leftrightarrow \eta_{21} = 0.66 \quad \eta_{22} = 0.0975$$

$$Q_2 = 50 * (0.66 + 0.0975) = 37.88 \text{ Kn}$$

$$\text{Para } x = 132 \text{ cm} \leftrightarrow \eta_{31} = 0.23 \quad \eta_{32} = 0.43$$

$$Q_3 = 50 * (0.23 + 0.43) = 33.00 \text{ Kn}$$

1) Chequeo de la traviesa al aplastamiento.

$$\sigma_a = (10 * Q) / A$$

$$A = b_{pat.} * b_{trav.} = 380 \text{ cm}^2 \quad b_{pat.} = 15.2 \text{ cm} \quad b_{trav.} = 25 \text{ cm}$$

$$\sigma_a = 1.28 \text{ MPa} \leq 18.0 \text{ MPa} \leftrightarrow (\text{OK})$$

Nota:

- 1) El σ_a permisible es igual a 18.0 MPa por pruebas que realizó la planta de traviesas, Cuba 73, para hormigones de 400 Kg-cm².
- 2) La planta de traviesas realiza el chequeo por rotura de la traviesa y emite un documento especificando esa rotura.

3.2.1.4 Compactación exigida

$$q = (15 * Q) / (3 * (1 - S_0) * h * \tan \epsilon) = 0.13 \text{ MPa}$$

$$l = 250 \text{ cm} \quad S_0 = 150 \text{ cm} \quad h = 25 \text{ cm} \quad \tan \epsilon = 36^\circ$$

Se exige una compactación de 0.13 Mpa.

3.2.2 Cálculo por estabilidad

Método de los ferrocarriles rusos.

$$\tan \sigma = S_0 / 2 * l = 0.36 \quad \leftrightarrow \sigma = 19.65^\circ \quad \leftrightarrow \cos \sigma = 0.94$$

1) Fuerzas desestabilizadoras.

$$\alpha_{nc} = 0.65 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Locomotora} \quad \leftrightarrow Y_b = 22 + 28 * \alpha_{nc} = 40.2 \text{ Kn}$$

$$\text{Vagón} \quad \leftrightarrow Y_b = 31.5 + 26 * \alpha_{nc} = 48.4 \text{ Kn}$$

$$H_1 = (d / 2 * L_y) * Y_b = 22 \text{ Kn}$$

$$H_2 = f_{frc} * \cos \sigma * (d / 2 * L_y) = 10.39 \text{ Kn}$$

$$H_T = H_1 + H_2 = 32.39 \text{ Kn}$$

2) Fuerzas estrabilizadoras.

$$T = C_0 + f_{\text{fib}} = 63.785\text{Kn} \quad C_0 = 20$$

3) Chequeo de la estabilidad.

$$H_{\text{desest.}} \leq T_{\text{estab.}}$$

$$32.39\text{Kn} \leq 63.785\text{Kn} \leftrightarrow (\text{OK})$$

Nota:

En el caso de que se coloque un carril soldado, el hombro de balasto se aumentará 10 centímetros.

3.3 Presupuesto de los 5 kilómetros del ramal

Los materiales de la superestructura de la vía férrea se obtienen para un kilómetro.

Tabla 3.6. Precons I (Sistema de precios de la construcción).

Reglón variante	U.M.	Mat.	M.O.	E.Q.	Total
Ensamblaje de campos de 20 traviesas	u	3216,1	12,31	40,44	3268,1
Colocación de campos	u		26,53	54,44	80,97
Riego de piedra	m ³	12,13	0,06		12,19
Levante, calzado, alineación, nivelación en piedra con EJAG	100m			42,44	42,44
Redistribución del balasto con reguladora BEB-17	100m			25,72	25,72
Perfilado del prisma de balasto con el regulador BEB-17	100m			16,27	16,27
Acabado manual del prisma de balasto	Km	16,00	3170,48		3186,48

Tabla 3.7. Cálculo de un kilómetro del ramal Cumanayagua.

Reglón variante	U.M.	Cant.	Mat.	M.O.	E.Q.	Total
Ensamblaje de campos de 20 traviesas	u	80	257288	984,80	3235,20	261448,0
Colocación de campos	u	80		2122,30	4355,60	6477,90
Riego de piedra	m ³	1500	18195	90		18285
Levante, calzado, alineación, nivelación	100m	40			1697,60	1697,60
Redistribución del balasto con regulado	100m	20			514,40	514,40
Perfilado del prisma de balasto	100m	10			162,70	162,70
Acabado manual del prisma de balasto	Km	1	16,00	3170,48		3186,48
Costo directo			275439,20	6367,58	9955,50	291762,08

Tabla 3.8. Calculo del presupuesto para la superestructura.

Actividades.	%	costo
Material.		275429.3
Mano de obra.		6367.5
Uso de equipos.		9955.5
Subtotal Costo directo.		291762.1

Otros gastos directos de obra.	12.50%	36470.26
Gastos generales de obra.	10%	27543.92
Subtotal.		355776.3
Gastos indirectos.	12.40%	44116.26
Costo total.		399892.5
Utilidades.	20%	20283.33
Precio.		424783.2

Los 5 kilómetros de superestructura costarán 2123916 pesos.

3.3.1 Movimiento de tierra

El ramal ya tiene la subestructura conformada, solamente en las curvas que se le aumenten el radio hay que conformar la subestructura y el mejoramiento que se le agregará a la subrasante, son solamente los movimientos de tierras a realizar en toda la extensión del trazado.

Tabla 3.9. Precons II (Sistema de precios de la construcción).

Código	Reglón variante
o1	Movimiento de tierra.
o11	Trabajos preliminares
o112	Desbroce
o11211	De vegetación hasta 4 metros de altura (incluye recogida y quema).
o12	Excavaciones

o124	En explanaciones
o12431	En tierra sin transporte horizontal
o15	Terraplenes y Pedraplenes (compensados y de préstamo)
o151	Terraplenes.
o15112	C/Control de compactación a máxima. Densidad sin extensión. Por la unidad de transporte.
o16	Carga y acarreo
o161	Acarreo terrestre mecanizado (1)
o16143	Por terraplén mejorado (20-30 Km/h) hasta 1 kilómetro con camión de volteo hasta 10 m ³ .
o16144	Por terraplén Mejorado (20-30 Km/h) distancia adicional a 1 kilómetro con camión de volteo hasta 10m ³ .
o19	Reparaciones
o193	de canales
o19313	En tierra con plato hasta 0,50 m (mecanizado).

Tabla 3.9.1 Precons II (Sistema de precios de la construcción)

Código	U.M.	M.O.	E.Q.	Total
o1				
o11				
o112				

o11211	C ²	2,49	2,5	5,52
o12				
o124				
o12431	m ³	0,02	0,72	0,74
o15				
o151				
o15112	m ³	0,07	1,27	1,34
o16				
o161				
o16143	c ³	0	88,83	88,83
o16144	c ³ /Km	0	27,70	27,70
o19				
o193				
o19313	m ³	0,10	0,59	0,69

Tabla 3.10. Cálculo del movimiento de tierra para 5 kilómetros del ramal Cumanayagua.

Código	U.M.	Cant.	M.O.	E.Q.	Total
o1					
o11					
o112					

o11211	C ²	42,54	125,07	109,75	234,82
o12					
o124					
o12431	m ³	9000	180	6480	6660
o15					
o151					
o15112	m ³	9000	630	11430	12060
o16					
o161					
o16143	c ³	90	0	7994,7	7994,7
o16144	c ³ /Km	0,04	0	1,108	1,108
o19					
o193					
o19313	m ³	6624	662,4	3908,16	4570,56
Costo			1597,47	29923.718	31,521,188

Tabla 3.11. Calculo del presupuesto para la infraestructura.

Actividades.	%	costo
Material.		0
Mano de obra.		1597,47

Uso de equipos.		29923,718
Subtotal Costo directo.		31,521,188
Otros gastos directos de obra.	12.50%	3940,15
Gastos generales de obra.	10%	3152,12
Subtotal.		38613,46
Gastos indirectos.	12.40%	4788,07
Costo total.		43401,53
Utilidades.	20%	8680,31
Precio.		52081,83

Los 5 kilómetros de subestructura costará 52081,83 pesos.

3.4 Conclusiones parciales del tercer capítulo.

- 1) El peso del tren (Q) a circular por el ramal será de:
 - Con locomotora M.L.W. y casillas soviéticas de 4 ejes de 60 Ton de capacidad y 24 Ton de tara con cojinetes de rodillo a una velocidad de 50 Km/h será de 791,23 Ton.
 - Con locomotora T.E. 114. y casillas soviéticas de 4 ejes de 60 Ton de capacidad y 24 Ton de tara con cojinetes de rodillo a una velocidad de 50 Km/h será de 635,74 Ton.
- 2) Realizamos el cálculo por resistencia y estabilidad y se chequearon con sus respectivas especificaciones cumpliendo satisfactoriamente.
- 3) El presupuesto para los 5Km de vía férrea será de **2175997,83 pesos.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1) Una minuciosa revisión de la literatura especializada en la temática evidencia el desarrollo de la tecnología en el manejo de metales y sus uniones, añadiendo importantes mejoras y comodidades a este tipo de transporte. Todo esto ha dado la posibilidad de desarrollar trenes que no presentan problemas de contaminación, alcanza velocidades competitivas con el transporte aéreo y lo fundamental es que brindan un servicio eficiente a los pasajeros.
- 2) El estancamiento de la tecnología ferroviaria que padece Cuba lleva al país a un obsoleto sistema ferroviario comparándolo con el mundo. El mal estado de sus vías y el pobre desarrollo en busca de otras energías alternativas trae consigo el abuso del transporte por carretera, el cual tiene un consumo promedio de combustible de 28 gramo petróleo equivalente mientras que el ferrocarril es de 9.5 gramo petróleo equivalente.
- 3) La creación del proyecto de reconstrucción del ramal Cumanayagua tiene una favorable evaluación técnica – económica y política – social porque se logra una mayor capacidad de carga transportada igualándola con el aumento de la producción que existe en la zona industrial de La Campana y se mejora el contacto de la población de la zona con la capital provincial.
- 4) El aumento de los radios de las curvas horizontales y la conversión de las curvas circulares simple a transición, le da a la vía una mayor comodidad y velocidad de circulación.

- 5) El movimiento de tierra de la vía es mínimo e indispensable ya que el ramal tiene su subrasante conformada, solamente hay que mejorarla con 30cm y rectificar sus cunetas.
- 6) La superestructura del nuevo ramal cumple con las especificaciones requeridas para una vía de tercera categoría.
- 7) La presupuestación promedio de un kilómetro del ramal Cumanayagua es de 435 199,566 pesos. De este total el 90 % es en CUP y el 10 % en CUC.

Recomendaciones

- 1) Continuar con la aplicación del proyecto de reconstrucción del ramal Cumanayagua para los restantes kilómetros.
- 2) Darle un seguimiento al proyecto de reconstrucción del ramal Cumanayagua por parte de las autoridades pertinentes, para lograr de esta forma dar respuesta al problema científico planteado en esta investigación.
- 3) Valorar por las máximas autoridades responsables de este desarrollo ferroviario la posibilidad de la creación de nuevos proyectos de reconstrucción de vías férreas, las que constituyen el transporte más económico en lo concerniente a consumo de petróleo por carga transportada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cantor Y. Y. y Paul V. P. (1971). Base de la proyección y Construcción de la vía ferrea. Edición. Transporte. Moscú. p (1-32); (38-66); (188-198).
2. Colectivo de autores (1937). Itinerario numero 20 de los ferrocarriles unidos de La Habana. Editorial. Ministerio del Transporte.
3. Colectivo de autores (1981). Itinerario numero 8 de los ferrocarriles de Cuba. Editorial. Ministerio del Transporte. p 97.
4. Colectivo de autores (1979). Caminos para el azúcar. Editorial Transporte. La Habana. Cuba.
5. Francés, F. Alvero (1976). Cervantes, Diccionario Manual de la lengua Española. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. Tomo I.
6. Francés, F. Alvero (1976). Cervantes, Diccionario Manual de la lengua Española. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. Tomo II.
7. García-Lomas y Cossio, José M. (tercera edición, 1945). Tratado de explotación de ferrocarriles. Edición Revolucionaria, Instituto del Libro. La Habana, Cuba. p (1-25).
8. Gorinof A. V. y otros autores (1971). Proyección de vías férreas. Segunda Edición. Transporte. Moscú. p (26-49); (59-84).
9. Gorinof A. V. y otros autores (1979). Proyección e investigación de la vía ferrea. Edición Transporte. Moscú. Tomo I. p (38-70); (76-80); (154-180).
10. Ibarra Martín (1988). Metodología de la Investigación Social. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. Cap. VIII, pp 159-183.

11. Ibarra Martín, I (1998). *Metología de la Investigación Social*. Ed. Pueblo y Educación. La Habana.
12. Ibarra y col (1987). *Metodología de la Investigación Social*. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. cap. IV, ep 1.
13. Jiménez, Lázaro (1986). *Vías férreas II*. Ministerio de Educación Superior. ISPJAE. Cuba. p. (3-34).
14. Machín Purón, Livia; Sánchez Uría (1984). *Proyección de Vías Férreas*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. p (55-95); (113-161).
15. NC 53-172. Of. 1987. *Proyecto de Construcción, Explanación de vías férreas, Especificaciones de proyectos*. Comité Estatal de Normalización, 1988. 8 p.
16. NC 249:2003. Of. 2003. *Transporte Ferroviario, Vías ferroviarias, Clasificación de Vías Férreas*. Oficina Nacional de Normalización, 2003. 5 p.
17. NRMT 157. Of. 1985. *Tipos de Superestructura de la vía férrea*. Norma Ramal Mitrans. Ministerio del Transporte, 1985. 3 p.
18. NC: 2004. Of. 2004. *Transporte Ferroviario. Vías férreas. Galibos de Ferrocarriles*. Primera edición. Oficina Nacional de Normalización, 2004. 42 p.
19. NRMT 37: 2001. Of. 2001. *Transporte Ferroviario. Vías Férreas. Diseño Geométrico del perfil*. Ministerio del Transporte, 2001. 6 p.
20. Oliveros Rives, Fernando (1977). *Tratado de ferrocarriles. Vía*. Editorial Científico-Técnico. La Habana, Cuba. p (1-32).
21. Sampier Hernández, Roberto (2003). *Metodología de la investigación. Tomo I*. Editorial Félix Varela. La Habana. Cuba. p.

ANEXOS

Anexo I Características de la estructura e infraestructura de la vía férrea.

Carril.

El carril constituye el elemento fundamental de la estructura de la vía y actúa como calzada, dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica. Por lo que ha de cumplir, por tanto, con los siguientes cometidos:

- Resistir directamente las tensiones que recibe del material rodante y transmitir las, a su vez, a los otros elementos que componen la estructura de la vía.
- Realizar el guiado de las ruedas en su movimiento.
- Servir de conductor de la corriente eléctrica precisa para la señalización y la tracción en las líneas electrificadas.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 70, (1977).)

Características del carril.

Que la superficie de rodadura sea lo más lisa posible, así como que la deformación bajo carga de esta sea de tal naturaleza que sus características geométricas se encuentren dentro del intervalo que delimita una calzada de buena calidad, por lo que los carriles deben de tener una elevada rigidez. Para garantizar esa elevada rigidez y evitar su rotura sería adecuado un material capaz de absorber energía en forma de deformación elástica. Desde un punto de vista técnico la robustez del carril y, por tanto, su peso son deseables, con objeto de garantizar la seguridad de los trenes con grandes cargas por eje y elevadas velocidades, desde el prisma económico sería preferible un carril de poco peso. Por lo que

se refiere al aspecto de la adherencia rueda-carril, se comprende el favorable efecto de disponer de una superficie rugosa, mientras que una pérdida mínima de energía durante la marcha de los vehículos exige una superficie lisa. Dado que es inevitable la existencia de acciones dinámicas entre el vehículo y la vía, y que éstas tienen lugar a través de los carriles, interesa que éstos sean elásticos, lo que resulta difícil de conseguir de un modo general, como con secuencia de las elevadas presiones que tienen lugar en la reducida zona de contacto rueda-carril, y que pueden originar deformaciones plásticas en éste.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 71, (1977).).

Material del carril.

Los primeros carriles metálicos modernos eran de corta longitud y estaban contruidos de hierro fundido, material que, debido a su fragilidad, pronto se mostró inadecuado para resistir la acción de las ruedas sobre él; por lo que vino una continua sustitución a causa de su incapacidad para resistir el desgaste. Con la llegada del acero se produjo, no obstante, un cambio radical, pues ya de los primeros carriles de acero se dijo que tuvieron duraciones de dieciséis años en lugares donde era preciso reemplazar los de hierro cada tres meses.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 71, (1977).).

Pequeño material de vía.

Bajo la denominación común de pequeño material se incluye una serie de elementos constitutivos de la vía, que desempeñan funciones tan importantes como la del carril, traviesas y balasto; lo cual permite agruparlos en un grupo. Dentro de los elementos catalogados como pequeño material de vía son: Los dispositivos para la sujeción del carril; los elementos de unión longitudinal de carriles entre sí, llamados bridas; las juntas aislantes y los antideslizantes.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 127, (1977).).

Sujeciones de carriles.

Son los elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía. Las principales funciones que deben ser desempeñadas por las sujeciones del carril son las siguientes:

- Fijar los carriles a las traviesas.

- Asegurar la invariabilidad del ancho de vía.
- Facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones estáticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de la vía.

(Según el libro: **Tratados de Ferrocarriles, página 127, (1977).**)

Características de las sujeciones.

Las características básicas, de tipo general, de las sujeciones de carriles han de ser las siguientes:

- Tener resistencia mecánica y elasticidad adecuada y constantes a lo largo de la vida de la sujeción.
- Contribuir al buen aislamiento eléctrico entre ambos hilos de carril.
- Constar del menor número posible de elementos de peso mínimo, lo que facilitará su fabricación, montaje y conservación.
- Ofrecer un bajo coste, tanto en su fabricación como en su explotación.
- Poseer una gran duración.

(Según el libro: **Tratados de Ferrocarriles, página 128, (1977).**)

Elementos básicos de las sujeciones.

El análisis de cualquier tipo de sujeción nos conduce a la composición siguiente:

- Elementos de anclaje a la traviesa.
- Placa de asiento.
- Elementos de anclaje de la placa.
- Elementos de anclaje a la placa.
- Elementos de anclaje del carril.
- Elementos elásticos, aislantes y de guía del carril.

Atendiendo a la disposición y existencia de los elementos básicos citados, es posible establecer una clasificación de las sujeciones de carriles en:

- Sujeciones directas:

En las que la función de sujeción del carril y, en su caso, la placa, a la traviesa es desempeñada a través de un único elemento o conjunto de elementos trabajando en paralelo con existencia o no de elementos auxiliares.

- Sujeciones indirectas:

En las que la sujeción de la placa a la traviesa se realiza por medio de elementos o grupos de elementos independientes de los que cumplen la función de fijar el carril a la placa, pudiendo existir o no elementos accesorios.

- Sujeción mixta:

En las cuales la sujeción de la placa a la traviesa se realiza por medio de elementos o grupos de elementos que actúan solo sobre ella (características de sujeción indirecta), existiendo, además, otros elementos o conjunto de los mismos que actúan simultáneamente como sujeciones del carril y la placa a la traviesa (característica de sujeción directa).

Generalmente las sujeciones directas poseen un pequeño número de piezas, por lo que resultan sencillas de montar; las indirectas y mixtas poseen ambas un parecido numérico de piezas, siempre mayor que el de las directas.

Otra clasificación se puede realizar atendiendo a la naturaleza de los elementos básicos explicados:

- Sujeciones rígidas:

Son aquellas en que la transmisión de esfuerzos entre el carril y la traviesa se realiza a través de elementos rígidos.

- Sujeciones elásticas:

Son aquellas en las que la transmisión de los esfuerzos del carril a la traviesa se efectúa por intermedio de elementos o conjuntos de elementos elásticos, cuya misión puede ser: de fijación del carril a la traviesa, de fijación del carril a la placa y de fijación de la placa a la traviesa.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, páginas (128 – 130), (1977).).

Tabla 1.1. Relaciones posibles entre los tipos básicos de sujeciones. (Tabla 3.1 del libro Tratado de ferrocarriles Vía, pagina 130).

		Directas	Indirectas	Mixtas
Rígidas		X	X	X
Elásticas	Simplemente	X	X	X
	Doblemente	O	X	O

Nota.

X – posibilidad.

O – imposibilidad.

Juntas de carriles.

La unión longitudinal de los carriles consecutivos se efectúa por medio de unas piezas especiales, denominadas bridas. Los lugares en los que se realiza dicha unión longitudinal de los carriles se denominan juntas y constituyen los puntos débiles de la vía, especialmente desde el punto de vista dinámico. En efecto la discontinuidad en la rigidez de la vía en la zona de juntas, debida a la variación brusca del valor del momento de inercia disponible, determina un choque al paso de las ruedas, cuyos efectos negativos son: aumentar la resistencia a la tracción de los trenes, colaborar al corrimiento longitudinal de los carriles, producir el machacado del balasto e imponer al carril flexiones y deformaciones que pueden llegar a ser permanentes.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 170, (1977).).

Las juntas pueden ser suspendidas, apoyadas y semisuspendidas.

- Juntas suspendidas.

Han sido y son las más utilizadas en muchos ferrocarriles del mundo. Consisten en colocar la interrupción de los carriles entre dos traviesas, de forma que el punto de junta

propriadamente dicho carezca de apoyo efectivo sobre las traviesas. Estas juntas suspendidas son elásticas y el desgaste de los extremos de carril es inferior al de otros tipos de juntas; su principal inconveniente consiste en que, como consecuencia de la gran flexión de los extremos de los carriles, las bridas trabajan también a flexión en condiciones duras.

- Juntas apoyadas.

Este tipo menos extendido que las juntas suspendidas, se emplea en Alemania y Francia, entre otros países. En estas juntas, el apoyo de la parte interrumpida del hilo de carril se produce sobre una o dos traviesas que le sirven de soporte, lo que proporciona a la junta una mayor resistencia a los desplazamientos transversales y verticales, pero poseen, por el contrario, un carácter rígido y dificultan el trabajo de bateo bajos las traviesas de junta.

- Juntas semisuspendidas.

Son similares a las suspendidas, pero la longitud de las bridas es tal que alcanzan a las traviesas de junta. Además de atender a la constitución de la junta propriadamente dicha, se debe tener en cuenta la distribución de unas juntas respecto de otras en la vía, por lo que podemos distinguir dos procedimientos de establecimiento: juntas alternadas y a escuadra o enfrentadas.

- Juntas alternadas.

La disposición de las juntas como su nombre lo indica es alternando las juntas paralelas para que no coincidan, con lo que se evita que los vehículos (caigan) prácticamente en la junta, aunque esto podría dar lugar a una oscilación de los vehículos alrededor de su eje longitudinal.

- Juntas a escuadra.

En esta disposición se hace que ambos hilos de carriles tengan las juntas en un mismo plano perpendicular al eje de la vía, lo que produce un bache en ésta cada cierta distancia, que puede acentuar el movimiento de galope de los vehículos, con peligro de cebado.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 171, (1977).).

Mordazas (bridas), tuercas, arandelas de presión y tornillos para las mismas.

La función de las bridas es unir los extremos de dos carriles consecutivos, de forma que sus ejes longitudinales coincidan y quede inmovilizada su posición tanto en el plano horizontal, como en el vertical.

Las bridas se proyectan de forma que las dos de cada junta aporten, prácticamente, el mismo momento de inercia que la sección del carril. Como el canto de las bridas no es igual al del carril, la tensión en ellas para una junta será menor que en el carril, alrededor del 55%, si sólo se consideran los momentos flectores de eje horizontal. Las bridas se proyectan también de tal forma que las superficies de sus caras superior e inferior se acoplen a la cara inferior de la cabeza o corona del carril y la superior del patín respectivamente, para proporcionar un contacto adecuado.

Las bridas se fijan entre sí a los carriles mediante tornillos. Se emplean tornillos de cabeza redondeada con un acoplamiento para introducirse en el orificio, lo cual no permite el aflojamiento, estos orificios son circulares y ovalados de forma alternativa para permitir la dilatación o contracción por variación de temperatura. La constancia del apretado de los tornillos se asegura mediante arandelas de presión elásticas.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 173, (1977).).

Juntas aislantes.

En los límites de los circuitos eléctricos o de señalización de la vía, se construyen juntas especiales que no permiten el paso de la corriente eléctrica. Estas juntas están constituidas de forma que se interponen diversos espesores de fibra aislante entre todas las superficies metálicas que pueden estar en contacto. Estas piezas aislantes pueden ser: placas en los planos de contacto de la brida; cilindros (bujes) en los orificios de las bridas, alrededor de los tornillos y las arandelas protegiéndolas, para evitar contactos entre ellas. Se emplean también bridas de madera, con una sección resistente adecuada, pero compatible con un fácil acceso a la sujeción del carril en la zona de la junta. Para perfeccionar el aislamiento se recurre a impregnar la madera con bakelita, constituyendo la llamada junta bakelizada, lo cual aumenta la resistencia mecánica de las bridas. En la actualidad existen las llamadas juntas encoladas, que consisten en introducir un aislante que rellenan los huecos existentes entre las superficies que establecen contacto de las piezas aislantes y metálicas, formando

un todo homogéneo, lo que permite incluirla en una vía constituida por carriles continuos soldado, sin recurrir a aparatos de dilatación para protección de la junta.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 175, (1977).).

Antideslizantes.

El desplazamiento longitudinal de los carriles con relación a las traviesas se debe a la acción de los esfuerzos longitudinales creados por el material rodante y por las variaciones de temperatura.

Las causas principales del desplazamiento longitudinal son las siguientes:

- Reacciones a esfuerzos motores y de frenado.
- Alargamiento y acortamiento de los carriles bajo la acción de los esfuerzos térmicos.
- Acciones dinámicas de las ruedas sobre los carriles en las juntas.
- Reacciones a los esfuerzos longitudinales transmitidos por la pestaña de la rueda al carril.
- Flexión de los carriles bajo las cargas.

El fenómeno del desplazamiento longitudinal provoca el desajuste de la vía y ocasiona trabajos complementarios para restablecer la separación entre traviesas, el escuadrado de las mismas y el ajuste de las calas de junta. La forma principal de evitar estos desplazamientos es el uso de antideslizantes en las traviesas de madera, de los que existen varios tipos, siendo el más sencillo el elástico, que se fija al carril por medio de una percusión, la cual produce su deformación de manera que abraza el patín del carril con una fuerza elástica tal que bloquea, por rozamiento, el desplazamiento del carril al producirse el acodamiento del antideslizante con la traviesa. Existen también antideslizantes de cuña, pero son más incómodos de colocación y mantenimiento. En las traviesas de hormigón las fijaciones, principalmente las elásticas sirven de anti deslizante cuando se le da un buen apriete.

Traviesas.

Las traviesas son elementos que se sitúan en dirección transversal al eje de la vía, sobre los que se colocan los carriles, y constituyen, a través de la sujeción, el nexo o elemento de unión entre el carril y el balasto, formando con aquél el armazón o emparrillado de la vía.

En los albores del ferrocarril, se empleaban bloques de piedra como soporte de los carriles, pero pronto se llegó al convencimiento de que debería aportarse una solución tal, que no solo sirviera de soporte a los carriles, sino que fuera capaz de mantener la separación entre ellos con exactitud, a lo largo de toda la línea; esto dio lugar al nacimiento de la traviesa como tal y, concretamente, en aquel entonces, al de la traviesa de madera. Dado que las traviesas representan una parte de la estructura de la vía, cuyo coste es considerable en el conjunto, y que una menor duración de estas representa un mayor volumen de gastos debido a amortización, y a conservación se realizaron intentos, desde muy tempranas épocas, encaminados a alargar la vida de las traviesas de madera y a encontrar materiales aptos para su construcción, que resistan con facilidad los efectos del tiempo, el tráfico y la intemperie. Estos estudios e investigaciones han conducido a la incorporación, hasta el momento, del acero, la fusión de hierro y el hormigón armado, como materiales sustitutos de la madera, en la fabricación de traviesas, ya que las características principales exigidas son: una cierta flexibilidad, unida a la resistencia a la fatiga y al choque. El hierro fundido y el hormigón simplemente armado no poseen dichas características en el grado exigido, aunque en algunos países tropicales se emplean traviesas de fundición con éxito. El desarrollo de las traviesas de hormigón ha conducido, en la actualidad, al establecimiento de una importante competencia con la de madera, principalmente en las líneas de mayor responsabilidad, incluso en países de tanta riqueza maderera como Suecia. En Cuba toman una gran importancia las traviesas de hormigón debido a la falta de árboles maderables.

Función de las traviesas.

Las principales funciones que debe desempeñar una traviesa son las siguientes:

- Servir de soporte a los carriles fijado y asegurando su posición en lo referente a cota, separación e inclinación.
- Recibir las cargas verticales y horizontales transmitidas por los carriles y repartirlas sobre el balasto a través de su superficie de apoyo.

- Conseguir y mantener la estabilidad de la vía en el plano horizontal (longitudinal y transversalmente) y en el vertical, frente a los esfuerzos estáticos procedentes del peso propio y las variaciones de temperatura, así como frente a los esfuerzos dinámicos, debidos al paso de los trenes.
- Mantener siempre que sea posible por sí misma y sin ayuda de elementos específicos incorporados a la sujeción, el aislamiento eléctrico entre los dos hilos de carril cuando la línea esté dotada de circuitos de señalización.
- En el caso de que las corrientes parásitas procedentes de la electrificación pudieran perjudicar las instalaciones situadas en el entorno de la línea, la traviesa deberá ofrecer características aislantes con objeto de evitar la producción de daños.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 184, (1977).).

Para cumplir con estas funciones, seis factores pueden ser considerados en una traviesa: los tres primeros corresponden a sus dimensiones, el cuarto y el quinto a su peso y la elasticidad que confiere a la vía, y el último, a las características aislantes de la misma.

En este sentido, podemos indicar que la longitud y el ancho influyen de forma fundamental en la estabilidad de la vía en el plano vertical, mientras que el ancho y el canto constituyen los factores más representativos de una traviesa en su contribución a la estabilidad lateral de la vía, respecto a la cual el peso de la traviesa tiene significativa influencia, dependiendo la estabilidad longitudinal e incluso la vertical de la vía del peso y dimensiones de las traviesas. En relación con el quinto factor, la traviesa debe contribuir a proporcionar al conjunto de la vía una capacidad elástica para absorber las acciones dinámicas, lo que disminuye los gastos de conservación, y a este respecto, es de señalar la rigidez que introducen las pesadas traviesas de hormigón, en relación con las traviesas de madera, lo que obliga, en tal caso, a mejorar la elasticidad de la vía mediante la utilización de elementos más flexibles en la placa de asiento y en el conjunto balasto - plataforma.

Es necesario señalar, no obstante, que la función desempeñada por la traviesa no tiene un carácter individual, sino que se debe situar en el marco de la colaboración con otros elementos de la vía, especialmente por lo que se refiere al mantenimiento de las características geométricas, como son el ancho y la alineación.

(Según el libro: **Tratados de Ferrocarriles, página 185, (1977).**).

Clasificación de las traviesas.

Dos son los aspectos principales de las traviesas, que tienen entidad suficiente como para orientar una clasificación de las mismas: el material de que están constituidas y su forma y características externas, aunque a veces el segundo es consecuencia del primero.

(Según el libro: **Tratados de Ferrocarriles, página 185, (1977).**).

Material de las traviesas.

Los materiales que pueden ser empleados en la manufactura de traviesas son siguientes:

- Madera.
- Acero.
- Fundición.
- Hormigón armado.
- Hormigón tensado.
- Materiales sintéticos.

Forma de las traviesas.

La forma de las traviesas puede adoptar las siguientes variaciones:

- Semitraviesas o dados sueltos que se sitúan debajo de los carriles sin ningún tipo de unión transversal entre ellos.
- Traviesas de dos bloques, constituidas por dos dados situados bajo los carriles y unidos entre sí por una riostra de acero.
- Traviesas de dos rotulas, compuesta de tres bloques, entre los que se colocan unos elementos planos o forros de material elástico, que desempeñan el papel de rótulas. Estos tres bloques se relacionan entre sí por una armadura tensada que los atraviesa longitudinalmente.

- Traviesas monobloc, formadas por una única pieza de sección aproximadamente constante, en toda su longitud.

(Según el libro: **Tratados de Ferrocarriles, página 187, (1977).**)

Respecto a la longitud de la traviesa suele oscilar entre los cinco tercios y el doble del ancho de la vía. Existen, no obstante, algunas traviesas de longitud excepcional, generalmente de madera, denominadas longrinas o largueros y que están destinadas a su empleo en el asiento de las conexiones.

Tabla 1.2. Relación forma - material de la traviesa. (Tabla 4.2. del libro Tratado de ferrocarriles Vía).

Forma		Semitraviesa	De dos bloques	De dos rótulas	Monobloc
Madera		X			X
Acero		X	X		X
Hormigón	Armado	X	X		X
	Tensado		X	X	X
Plástico		X			X

Balasto.

En los primeros tiempos del ferrocarril, como ya se ha indicado anteriormente, la estructura de la vía estaba formada por dados de piedra, sobre los cuales apoyaban directamente los carriles, sin disponer ningún elemento de transición entre aquello y la plataforma. Mas adelante los dados de piedra serían sustituidos por los elementos que en la actualidad conocemos con el nombre de traviesas. Sin embargo, al comprobarse, en general, su hundimiento en la plataforma, a causa de que las cargas transmitidas por ellas superaban la capacidad portante de la misma, se introdujo bajo la traviesa un elemento granular

denominado balasto, con objeto de repartir las cargas sobre una mayor superficie. A pesar de que el balasto formo parte muy temprano de la estructura de la vía no puede decirse que su historia se inicia con la del ferrocarril, en cuanto a su conocimiento como elemento estructural se refiere, ya que su desarrollo no ha ido paralelo al de los otros componentes de la vía.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 247, (1977).).

Función del balasto.

Se reconoce en el balasto las siguientes funciones:

- Repartir uniformemente sobre la plataforma las cargas que recibe de la traviesa, de forma tal que su tensión admisible no sea superada.
- Estabilizar vertical, longitudinal y lateralmente la vía.
- Amortiguar, mediante su estructura pseudos-elástica, las acciones de los vehículos sobre la vía.
- Proporcionar una rodadura suave a los vehículos y un notable confort a los viajeros.
- Proteger la plataforma de las variaciones de humedad debidas al medio ambiente.
- Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia.
- Permitir la recuperación de la calidad geométrica de la vía mediante operaciones de alineación y nivelación.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 248, (1977).).

Características del balasto.

Para poder cumplir las funciones a que nos hemos referido en el aparatado anterior, los materiales utilizados como balasto en las vías férreas deben poseer ciertas características, las cuales hacen referencia fundamentalmente a su:

- Naturaleza.
- Curva granulométrica.
- Forma geométrica de las partículas.

- Resistencia al choque.
- Resistencia al desgaste.
- Resistencia a la acción de la helada.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, página 249, (1977).).

Las rocas, normalmente empleadas para la obtención de balasto, son: granito, ofita, caliza, y, en general, rocas ígneas.

Plataforma o explanada.

Constituye la plataforma, como se sabe, el elemento soportante de la estructura de la vía, de la que recibe, por intermedio de la capa de balasto, las tensiones debidas a las acciones del tráfico. Dos situaciones extremas pueden presentarse: la primera comprende las plataformas formadas por suelos naturales y tratados; la segunda, por las obras de fábrica. La diferencia fundamental entre ambas se encuentra entre el grado de rigidez que cada una confiere a la estructura, lo que se traducirá en una modificación de los estados tensionales originado en cada elemento de la vía.

(Según el libro: Tratados de Ferrocarriles, pagina 313, (1977).).

Anexo II Defectación de los puentes del Ramal Cumanayagua.

Informe emitido por:

Ingeniero José R. Rodríguez CEDI Centro.

Ángel Gómez Técnico VOC Cherepa.

Juan Hernández Jefe de Brigada de Puente Cherepa.

Total de obras a chequear 15 se chequearon 13, faltando las que pertenecen a los kilómetros 4.176 y 13.814 por no haberse podido localizar los en este momento, posteriormente se realizará una nueva búsqueda.

- 1) Obra de fábrica kilómetro 0.102: hormigón armado de 3.80 metros. Se encuentra en buenas condiciones, se hace necesario limpieza del canal.
- 2) Obra de fábrica kilómetro 0.875: de vigas de acero de 5.65 metros. Existen los muros de broche en buen estado. No posee piso ni las vigas de acero que constituyen la estructura principal. Es necesario 17 traviesas de madera.
- 3) Obra de fábrica kilómetro 2.086: de vigas de acero de 4.80 metros. Posee los muros de aproche, requiere de la reparación de un aletón y limpieza del canal, así como la fundición de las losas de piso. Es necesario 15 traviesas de madera y no posee las vigas de acero que constituyen la estructura principal.
- 4) Obra de fábrica kilómetro 3.260: de vigas de acero de 6.90 metros. Posee muros de aproche en buen estado es necesario la limpieza del canal y la fundición de la losa de piso. Es necesario 21 traviesas de madera.
- 5) Obra de fábrica kilómetro 4.176: no ha sido visitado.
- 6) Obra de fábrica kilómetro 7.540: de vigas de acero de 8.95 metros. No posee las vigas principales que eran grupos de vigas de 3 y 3. Es necesario 23 traviesas de madera. Muro de aproche en buen estado y es necesario la limpieza del cause.
- 7) Obra de fábrica kilómetro 9.519: de estructura superior en esqueleto de acero de 48.4 metros. Existe la estructura y en su estructura principal es necesario un trabajo de mantenimiento, pailería y pintura. Faltan arriostres superiores de las vigas

secundarias donde se apoyan las traviesas de madera. Es necesario 145 traviesas de maderas.

- 8) Obra de fábrica kilómetro 10.419: de vigas de acero de 16.7 metros. Posee las vigas principales. Faltan los arriostres transversales entre vigas principales. Es necesario 50 traviesas de madera y la limpieza del cause y aproche.
- 9) Obra de fábrica kilómetro 11.782: de vigas de acero de 7.6 metros. No posee las vigas que constituyen la estructura principal. Es necesario 23 traviesas de madera. Los muros de aproche están en buen estado y es necesario la limpieza de los muros y el cause.
- 10) Obra de fábrica kilómetro 13.814: no ha sido visitado.
- 11) Obra de fábrica kilómetro 14.450: estructura principal en esqueleto de acero de 23.20 metros. Presenta buenas condiciones. Es necesario 70 traviesas de madera y la limpieza de aproche y mantenimiento (pintura).
- 12) Obra de fábrica kilómetro 17.039: de vigas de acero de 17.7 metros. Las vigas están en buen estado. Es necesario 53 traviesas de madera y pintar y limpiar el cause.
- 13) Obra de fábrica kilómetro 23.082: de vigas de acero de 13.20 metros. Vigas en buen estado y es necesario 40 traviesas de madera, limpieza de aproche y cause y mantenimiento (pintura).
- 14) Obra de fábrica kilómetro 23.974: estructura principal en esqueleto de acero de 109.7 metros. Se encuentra en buen estado. Es necesario 329 traviesas de madera y además de mantenimiento (pintura y pailería sencilla).
- 15) Obra de fábrica kilómetro 27.014: de vigas de acero de 13.20 metros. Faltan las vigas principales. Es necesario 39 traviesas de madera y la limpieza de aproche.

De las 15 obras de fabricas inspeccionadas 5 no poseen vigas principales, a 2 se le quitaron los arriostres transversales y 2 no han sido visitados.

Anexo III Continuación de la tabla de cotas de nivel del terreno.**Tabla 2.7.** Cotas de nivel del terreno.

Piquete	25 Izq.	10 Izq.	5 Izq.	Eje.	5 Der.	10 Der.	25 Der.
0+00.0	83.00	83.04	83.04	83.05	83.054	83.058	83.07
0+50.0	82.50	82.74	82.82	82.90	83.00	83.10	83.40
1+00.0	82.90	83.08	83.14	83.20	83.26	83.28	83.50
1+50.0	82.90	83.14	83.22	83.30	83.34	83.38	83.50
2+00.0	82.70	82.76	82.78	82.80	82.88	82.96	83.20
2+50.0	82.70	82.88	82.94	83.00	83.12	83.24	83.60
3+00.0	83.50	83.80	83.90	84.00	84.10	84.20	84.50
3+50.0	83.50	83.80	83.90	84.00	84.12	84.24	84.60
4+00.0	83.40	83.76	83.88	84.00	84.04	84.08	84.20
4+50.0	82.90	83.08	83.14	83.20	83.23	83.26	83.35
5+00.0	83.30	83.42	83.46	83.50	83.57	83.64	83.85
5+50.0	83.40	83.52	83.56	83.60	83.64	83.68	83.80
6+00.0	83.40	83.46	83.48	83.50	83.53	83.56	83.65
6+50.0	83.05	83.14	83.17	83.20	83.26	83.32	83.50
7+00.0	82.79	82.86	82.88	82.90	82.90	82.90	82.90
7+50.0	82.00	82.00	82.00	82.00	81.99	81.98	81.95

8+00.0	81.10	81.04	81.02	81.00	80.95	80.90	80.75
8+50.0	80.66	80.74	80.77	80.80	80.72	80.64	80.40
9+00.0	79.905	79.908	79.909	79.91	79.916	79.922	79.94
9+50.0	79.92	79.938	79.944	79.95	79.954	79.958	79.97
10+00.0	79.94	79.958	79.964	79.97	80.076	80.182	80.50
10+50.0	80.60	80.96	81.08	81.20	81.38	81.56	82.10
11+00.0	81.75	82.08	82.19	82.30	82.45	82.60	83.05
11+50.0	82.35	83.04	83.27	83.50	83.66	83.82	84.30
12+00.0	82.60	83.14	83.32	83.50	83.65	83.80	84.25
12+50.0	82.45	82.78	82.89	83.00	83.10	83.20	83.50
13+00.0	82.40	82.58	82.64	82.70	82.79	82.88	83.15
13+50.0	81.70	82.00	82.10	82.20	82.25	82.30	82.45
14+00.0	81.30	81.54	81.62	81.70	81.72	81.74	81.80
14+50.0	80.50	80.80	80.90	81.00	81.06	81.12	81.30
15+00.0	80.20	80.38	80.44	80.50	80.56	80.62	80.80
15+50.0	80.30	80.42	80.46	80.50	80.502	80.504	80.51
16+00.0	80.12	80.138	80.144	80.15	80.154	80.158	80.17
16+50.0	79.89	79.896	79.898	79.90	79.90	79.90	79.90
17+00.0	79.40	79.46	79.48	79.50	79.50	79.50	79.50

17+50.0	79.20	79.26	79.28	79.30	79.30	79.30	79.30
18+00.0	78.80	78.86	78.88	78.90	78.904	78.908	78.92
18+50.0	78.50	78.506	78.508	78.51	78.508	78.506	78.50
19+00.0	78.15	78.12	78.11	78.10	78.09	78.08	78.05
19+50.0	77.15	77.06	77.03	77.00	76.97	76.94	76.85
20+00.0	76.60	76.48	76.44	76.40	76.36	76.32	76.20
20+50.0	75.60	75.48	75.44	75.40	75.36	75.32	75.20
21+00.0	75.08	75.014	74.992	74.97	74.982	74.994	75.03
21+50.0	74.94	74.916	74.908	74.90	74.91	74.92	74.95
22+00.0	74.89	74.884	74.882	74.88	74.89	74.90	74.93
22+50.0	76.84	78.064	78.472	78.88	78.488	78.096	76.92
23+00.0	74.87	74.888	74.894	74.90	74.904	74.908	74.92
23+50.0	74.87	74.888	74.894	74.90	74.908	74.916	74.94
24+00.0	74.93	74.942	74.946	74.95	74.96	74.97	75.00
24+50.0	75.05	75.11	75.13	75.15	75.18	75.21	75.30
25+00.0	75.07	75.13	75.15	75.17	75.244	75.318	75.54
25+50.0	75.09	75.156	75.178	75.20	75.28	75.36	75.60
26+00.0	75.22	75.388	75.444	75.50	75.55	75.60	75.75
26+50.0	75.45	75.54	75.57	75.60	75.66	75.72	75.90

27+00.0	75.20	75.08	75.04	75.00	75.00	75.00	75.00
27+50.0	75.03	74.988	74.974	74.96	74.954	74.948	74.93
28+00.0	74.25	74.10	74.05	74.00	73.98	73.96	73.90
28+50.0	73.55	73.31	73.23	73.15	73.20	73.25	73.40
29+00.0	73.05	73.02	73.01	73.00	72.99	72.98	72.95
29+50.0	72.36	72.354	72.352	72.35	72.344	72.338	72.32
30+00.0	71.92	71.878	71.864	71.85	71.846	71.842	71.83
30+50.0	71.25	71.10	71.05	71.00	70.906	70.812	70.53
31+00.0	70.50	70.50	70.50	70.50	70.45	70.40	70.25
31+50.0	69.25	68.80	68.65	68.50	68.30	68.10	67.50
32+00.0	69.05	68.42	68.21	68.00	67.80	67.60	67.00
32+50.0	67.95	66.78	66.39	66.00	66.20	66.40	67.00
33+00.0	66.35	66.40	66.47	66.50	66.80	67.10	68.00
33+50.0	66.50	66.80	66.90	67.00	67.28	67.56	68.40
34+00.0	66.85	67.06	67.13	67.20	67.43	67.66	68.35
34+50.0	68.48	69.362	69.656	69.95	69.954	69.958	69.97
35+00.0	69.53	69.842	69.946	70.05	70.06	70.07	70.10
35+50.0	69.75	69.90	69.95	70.00	70.02	70.04	70.10
36+00.0	70.02	70.038	70.044	70.05	70.066	70.082	70.13

36+50.0	72.20	72.32	72.36	72.40	72.46	72.52	72.70
37+00.0	71.15	70.46	70.23	70.00	70.10	70.20	70.50
37+50.0	68.80	68.74	68.72	68.70	68.71	68.72	68.75
38+00.0	68.05	67.96	67.93	67.90	67.91	67.92	67.95
38+50.0	67.30	67.00	66.90	66.80	66.82	66.84	66.90
39+00.0	66.10	65.98	65.94	65.90	65.92	65.94	66.00
39+50.0	65.75	65.60	65.55	65.50	65.50	65.50	65.50
40+00.0	65.35	65.14	65.07	65.00	65.04	65.08	65.20
40+50.0	65.60	65.36	65.28	65.20	65.176	65.152	65.08
41+00.0	65.55	65.34	65.27	65.20	65.16	65.12	65.00
41+50.0	64.95	64.92	64.91	64.90	64.71	64.52	63.95
42+00.0	63.50	62.60	62.30	62.00	62.486	62.992	94.48
42+50.0	62.85	63.96	64.33	64.70	64.83	64.96	65.35
43+00.0	65.20	64.44	65.52	65.60	65.82	66.04	66.70
43+50.0	66.00	66.60	66.80	67.00	67.10	67.20	67.50
44+00.0	66.50	67.40	67.70	68.00	68.02	68.04	68.10
44+50.0	65.50	65.20	65.10	65.00	65.10	65.20	65.50
45+00.0	63.65	63.56	63.53	63.50	63.64	63.78	64.20
45+50.0	63.50	63.80	63.90	64.00	64.12	64.24	64.60

46+00.0	64.50	64.80	64.90	65.00	65.10	65.20	65.50
46+50.0	66.00	66.30	66.40	66.50	66.67	66.84	67.35
47+00.0	66.10	66.76	66.98	67.20	67.42	67.64	68.05
47+50.0	65.90	66.56	66.78	67.00	67.30	67.60	68.50
48+00.0	65.80	66.52	66.76	67.00	67.30	67.60	68.50
48+50.0	66.30	67.02	67.26	67.50	67.75	68.00	68.75
49+00.0	66.95	67.52	67.71	67.90	68.16	68.42	69.20
49+50.0	67.25	67.70	67.85	68.00	68.21	68.42	69.05
50+00.0	67.25	67.70	67.85	68.00	68.21	68.42	69.05
50+50.0	67.95	68.04	68.07	68.10	68.31	68.52	69.15
51+00.0	69.50	69.50	69.50	69.50	69.55	69.60	69.75
51+50.0	70.70	70.70	70.70	70.70	70.70	70.70	70.70
52+00.0	70.10	69.74	69.62	69.50	69.56	69.62	69.80

Anexo IV Continuación de la tabla de rasante existente y proyectada.**Tabla 2.8.** Cotas de rasante existente y proyectada.

Piquete.	Rasante existente	Rasante proyectada
0+00.0	82.30	82.30
0+50.0	82.47	83.372
1+00.0	82.64	83.542
1+50.0	82.80	83.702
2+00.0	82.98	83.882
2+50.0	83.14	84.042
3+00.0	83.31	84.212
3+50.0	83.48	84.382
4+00.0	83.65	84.552
4+50.0	83.82	84.722
5+00.0	83.66	84.562
5+50.0	83.51	84.412
6+00.0	83.35	84.252
6+50.0	83.19	84.092
7+00.0	83.04	83.942
7+50.0	82.88	83.782

8+00.0	82.72	83.622
8+50.0	82.57	83.472
9+00.0	82.41	83.312
9+50.0	82.25	83.152
10+00.0	82.10	83.002
10+50.0	81.94	82.842
11+00.0	81.78	82.682
11+50.0	81.63	82.532
12+00.0	81.47	82.372
12+50.0	81.32	82.222
13+00.0	81.16	82.062
13+50.0	81.00	81.902
14+00.0	80.84	81.742
14+50.0	80.67	81.572
15+00.0	80.50	81.402
15+50.0	80.24	81.142
16+00.0	79.97	80.872
16+50.0	79.71	80.612
17+00.0	79.44	80.342

17+50.0	79.18	80.082
18+00.0	78.91	79.812
18+50.0	78.65	79.552
19+00.0	78.39	79.292
19+50.0	78.12	79.022
20+00.0	77.86	78.762
20+50.0	77.59	78.492
21+00.0	77.33	78.232
21+50.0	77.06	77.962
22+00.0	76.80	77.702
22+50.0	76.53	77.432
23+00.0	76.07	76.972
23+50.0	75.60	76.502
24+00.0	75.00	75.902
24+50.0	74.67	75.572
25+00.0	74.21	75.112
25+50.0	73.75	74.652
26+00.0	73.28	74.182
26+50.0	72.82	73.722

27+00.0	72.35	73.252
27+50.0	71.93	72.832
28+00.0	71.42	72.322
28+50.0	70.96	71.862
29+00.0	70.50	71.402
29+50.0	70.03	70.932
30+00.0	69.57	70.472
30+50.0	69.10	70.002
31+00.0	69.10	70.002
31+50.0	69.10	70.002
32+00.0	69.10	70.002
32+50.0	69.10	70.002
33+00.0	69.10	70.002
33+50.0	69.10	70.002
34+00.0	68.71	69.612
34+50.0	68.38	69.282
35+00.0	67.94	68.842
35+50.0	67.55	68.452
36+00.0	67.16	68.062

36+50.0	66.78	67.682
37+00.0	66.39	67.292
37+50.0	66.00	66.902
38+00.0	65.63	66.532
38+50.0	65.25	66.152
39+00.0	64.88	65.782
39+50.0	64.50	65.402
40+00.0	64.13	65.032
40+50.0	63.75	64.652
41+00.0	63.38	64.282
41+50.0	63.00	63.902
42+00.0	63.00	63.902
42+50.0	63.40	64.302
43+00.0	63.80	64.702
43+50.0	64.19	65.092
44+00.0	64.50	65.402
44+50.0	64.82	65.722
45+00.0	65.13	66.032
45+50.0	65.44	66.342

46+00.0	65.75	66.652
46+50.0	66.07	66.972
47+00.0	66.38	67.282
47+50.0	66.69	67.592
48+00.0	67.00	67.902
48+50.0	67.32	68.222
49+00.0	67.63	68.532
49+50.0	67.94	68.842
50+00.0	68.25	69.152
50+50.0	68.57	69.472
51+00.0	68.88	69.782
51+50.0	69.19	70.092
52+00.0	69.50	70.402