

**CAPITULO I:**  
**INTRODUCCION**

## **CAPITULO I: INTRODUCCION**

### **1.1.-INTRODUCCION**

El transporte sobre rieles cada vez será más importante como medio de transporte debido al crecimiento substancial de la población. Además es la forma más eficaz de manejar demandas mayores con pocas exigencias de energía, escasa necesidad de terreno, contaminación reducida del aire y pocos accidentes.

Una vía férrea se puede definir como la trocha provista de guías paralelas, denominadas rieles, sobre las que se deslizan una serie de trenes movidos por tracción mecánica o eléctrica, es un sistema de transporte terrestre de personas y mercancías.

Un ferrocarril es un transporte con grandes ventajas, es un transporte seguro, estable y económico, aunque su costo inicial es muy elevado. El consumo de combustible de un tren es 3 veces menor que el de un equipo de carretera para iguales cargas y distancias. La carga llega a destino toda al mismo tiempo, requiere menos personal para su traslado y generalmente sus tarifas por kilómetro son más baratas, la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno.

El presente proyecto está localizado al sureste de la ciudad, abarca una longitud aproximada de 102 km, iniciando en la estación ferroviaria de la ciudad de Yacuiba y terminando en la estación ferroviaria de Villamontes. Esta zona cuenta con grandes terrenos con partes planas y poco onduladas lo cual es óptimo para contar con vías férreas. El ferrocarril en este lugar es un nexo de dos ciudades y proporcionara también un desplazamiento corto, ya sea transportando mercancía o personas. Por esta razón se debe solucionar las deficiencias con las que cuenta la vía para así tener un viaje seguro y lo más corto posible, siendo este el fin de toda vía.

En la fase de proyecto consideramos etapas que son: -Evaluación del ferrocarril Yacuiba – Villamontes: Para la evaluación del ferrocarril se usará “El reglamento de vías férreas EFE Chileno” ya usado para evaluaciones pasadas como para la evaluación del ferrocarril Arica-La Paz, ya que Bolivia no cuenta con uno propio, y las teorías propuestas por el Congreso Ferroviario del Cairo debido a que son estudios que se usa mundialmente para este tipo de proyectos. Se estudiará uno de los cinco sub-tramos de la vía, Yacuiba-El Palmar y encuestando en la sub-estaciones entre las ciudades mencionadas.

Evaluando y calificando condiciones mínimas de tráfico en las vías, requisitos mínimos de obras de arte, cierros, cruces, condiciones de las durmientes y rieles.

-Propuestas de alternativas para el mejoramiento del ferrocarril: Se realizará propuesta de mejoras de las deficiencias encontradas, y de las condiciones para la conservación de rieles y reparación según lo que se requiera con la norma y el reglamento.

## **1.2.-JUSTIFICACION**

Se eligió el presente tema de investigación ya que en Bolivia este medio de transporte está siendo olvidado y a la vista saltan algunas deficiencias del ferrocarril Yacuiba-Villamontes que nos lleva a preguntarnos si este funciona correctamente, cumpliendo las normas básicas de seguridad y funcionalidad.

El presente trabajo abarca una vía de unión de dos importantes ciudades de Tarija, siendo los ferrocarriles un medio de transporte más adecuado para el transporte de mercancía, y más económico para los ciudadanos.

Se realizara la presente evaluación para conocer las deficiencias del ferrocarril que une las ciudades de Villamontes y Yacuiba, del tramo el Palmar – Yacuiba, para así calificar la vía y llegar a la conclusión si esta vía necesita de un mantenimiento, un nuevo diseño o califica correctamente para ser transitable.

El estudio servirá a la empresa encargada del ferrocarril, para así poder mejorar el servicio de este y sobretodo su funcionalidad, los beneficiados son los pasajeros que utilizaran este medio todas las semanas confiando en la seguridad que se les da.

## **1.3.-DISEÑO TEORICO**

### **a) -SITUACION PROBLEMICA**

El ferrocarril Villamontes-Yacuiba es una estructura que se construyó en la época pasada, arrastra muchas deficiencias que saltan a la vista.

El tiempo que tarda en llegar a su destino es casi el doble del que tardaría un bus, siendo la razón principal que se cuenta con una locomotora antigua e infraestructura en mal estado, para la renovación de la misma se debe realizar una evaluación primeramente para detectar los problemas que se debe atacar.

La característica de una vía férrea es que tiene que ser un transporte seguro, estable y económico. El punto que más urge analizar es la seguridad de la vía, ya que con más de cincuenta años de uso la vía necesita ser tratada en muchos aspectos.

La gente actualmente prefiere utilizar otras opciones de transporte , como los buses y taxis , para llegar al mismo destino, debido a que los pasajeros afirman que la comodidad del bus es mayor , y que el tiempo de recorrido es menor el del bus, otra deficiencia que salta a la vista es la contaminación acústica que este medio de transporte causa.

Con este trabajo se pretende identificar a detalle estas falencias de por qué la gente ya no utiliza estos transportes sobre rieles y son utilizados mayormente solo para el transporte de mercancías y productos agrícolas.

Hoy en día se escucha de accidentes de ferrocarriles debido a las rieles, vagones y otras falencias , se quiere saber , si el ferrocarril Yacuiba- Villamontes está expuesto a algún tipo de peligro , poniendo en riesgo vidas de pasajeros y ocasionando daños económicos y si cuenta con las respectivas medidas de seguridad , cumpliendo con las normas utilizadas en el país y a su vez concluir también si su diseño geométrico fue la mejor opción propuesta tomando en cuenta que este tipo de vía tienen que recorrer el sendero mas recto y llano posible para que así no se produzcan pendientes grandes y curvas horizontales de cortos radios .

### **DETERMINACION DEL PROBLEMA**

¿Cómo se puede establecer si, la vía férrea Villamontes-Yacuiba se encuentra en condiciones aceptables para su correcta funcionalidad?

#### **b) OBJETIVOS DEL TRABAJO**

##### **- OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la situación actual de la funcionalidad y operabilidad de la vía férrea Villamontes-Yacuiba para detectar las deficiencias mediante el método de evaluación que nos brinda “El reglamento de vías férreas EFE Chileno” y la teoría propuesta en el congreso Mundial Ferroviario del Cairo, con el fin de definir las acciones más convenientes como ser mantenimiento, un nuevo diseño o renovación, y plantear una mejora de solución a los problemas encontrados, proponiendo alternativas de soluciones a cada problema encontrado para que así los pasajeros tengan viaje más corto y seguro.

##### **-OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar la situación actual del ferrocarril Villamontes-Yacuiba
- Evaluar las condiciones mínimas de tráfico en la vía de estudio
- Evaluar las condiciones de las obras de arte en la vía de estudio

- Proponer mejoras para la vía ferrea
- Determinar si la vía en estudio cumple con los requisitos de las normas para la transitibilidad.

### c) HIPOTESIS

Si logramos realizar la evaluación de la vía férrea Villamontes-Yacuiba mediante un estudio de la funcionalidad y operacionalidad actual con la guía de “El reglamento de vías férreas EFE Chileno”, entonces se podrá identificar las deficiencias de la misma y clasificarla, para que con estas herramientas se pueda establecer si la vía está en condiciones aceptables para su funcionalidad y concluir con un planteamiento para la renovación, mejoramiento de la vía o solo mantenimiento de la misma , proponiendo así según la oferta y demanda que rige a esta ruta, una solución a los problemas que conlleva la infraestructura , con la finalidad de que con las soluciones que se planteará esta sea una vía segura y eficaz y pueda manejar demandas mayores.

### d) DEFINICION DE LAS VARIABLES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES

**Variable conceptual:** la variable conceptual de este proyecto se definirá como:

- Condición actual del ferrocarril Yacuiba – Villamontes tramo Yacuiba-El Palmar
- Evaluación de las condiciones mínimas de tráfico y los componentes de la infraestructura férrea.

**Variable operacional:** las variables operacionales de este proyecto son:

- Las alternativas para la mejora del ferrocarril Yacuiba-Villamontes
- La evaluación según “El reglamento de vías férreas EFE Chileno” de rieles, balasto, durmientes
- Clasificar el cruce a nivel

### e) ALCANCE

En el presente proyecto se pretende identificar las deficiencias de la funcionalidad y operacionalidad de la vía férrea que une las ciudades de Yacuiba-Villamontes, evaluando el primer tramo de Yacuiba- El Palmar.

Se evaluara el tramo mediante “El reglamento de vías férreas EFE Chileno”, ya que Bolivia no cuenta con un reglamento propio y este reglamento fue utilizado para la evaluación y construcción de la red occidental.

Para el desarrollo de este estudio se evaluará El estado en la vía férrea, primeramente clasificando la vía según la velocidad de operación y el peso por ejes admisibles, luego se evaluara el diseño geométrico como la trocha, las curvas horizontales, verticales y de transición, peralte.

Se evaluara el balasto dependiendo si este es material fino o grueso, con los respectivos ensayos como ser clasificación del suelo granulometría, compactación y C.B.R.

La evaluación de la superficie de rodamiento conllevara la evaluación de durmientes tomando en cuenta las condiciones mínimas que deben tener cada tramo de doce durmientes como ser las cantidades mínimas de durmientes en buen estado. Así también evaluar las juntas y los cambios, Y los defectos de las rieles. Así también se comprobara la sección de estas estructuras.

Para el análisis de la ubicación se estudiara si la ubicación actual es la más adecuada o si debido al crecimiento de la ciudad está ya no es la mejor opción en la zona.

Se estudiara también porque este medio de transporte ya no es muy utilizado y se dará soluciones a los problemas que se encuentre, como así también que acciones se puede tomar para incrementar la ganancia de este medio.

Finalmente se analizara si la sección de las obras de arte como alcantarillas y puentes cumplen con el requerimiento del caudal.

En este estudio se pretende evaluar la vía para así conocer los grados de las deficiencias con la que esta cuenta para así realizar si es necesario un rediseño más adecuado de acuerdo a la oferta y demanda de la zona o mediante las deficiencias que se conozca realizar un mejoramiento o mantenimiento.

#### **1.4.-DISEÑO METODOLOGICO**

##### **a) UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

**-Unidad de estudio:** La unidad de estudio en el caso particular del presente trabajo tenemos la vía de la red ferroviaria oriental.

**-Población:** En el presente estudio nuestra población está constituida por la vía férrea Villamontes-Yacuiba.

**-Muestra:** La muestra de nuestro estudio está constituida por la VIA FÉRREA Villamontes- Yacuiba, tramo Yacuiba-El Palmar , evaluando las rieles, durmientes, obras de arte , balasto y funcionalidad a partir de la estación de Yacuiba , pasando por los subtramos , El Palmar, Caiza, Sunchal, Palmar Grande, y Palos Blancos, hasta llegar finalmente a la estación ferroviaria de la ciudad de Villamontes.

Figura 1. Red ferroviaria Oriental.



*Fuente: www.fo.com.bo*

**-Muestreo:** Nuestro tipo de muestreo es no probabilístico tomando criterios acerca de los requisitos de una vía férrea, se tendrá en cuenta los tipos de fallas de distintos aspectos y las holguras que se pueda tener en la infraestructura, el tipo de vagón que sería adecuado según la oferta y demanda que se encontrará en esta zona.

A su vez se realizara un muestreo probabilístico al realizar las encuestas a usuarios y encargados del Ferrocarril, realizando el mayor número de encuestas de manera aleatoria para que se pueda tener homogeneidad en los resultados.

## **b) METODOS TECNICAS Y PROCEDIMIENTO**

Para la elaboración del presente proyecto se utilizará para la evaluación métodos teóricos, hipotético, basándonos en leyes y normativas de vías férreas, como el método que nos proporciona “El reglamento de vías férreas EFE Chileno” utilizado en la evaluación de vías de la red occidental de Bolivia.

Los métodos de evaluación suelen clasificarse en varios grupos.

En general, suelen dividirse en:

**Sintéticos o comparativos:** basados en la comparación entre bienes similares relacionando el valor con características.

**Basados en valores subjetivos:** se fundamentan en la estimación de parámetros de localización de la distribución de valores subjetivos. Son métodos que pueden beneficiarse en el futuro de técnicas utilizadas recientemente en otros campos de la ciencia (Métodos de expertos, Valoración Contingente, etc.).

Los métodos de evaluación comúnmente utilizados en Chile son los comparativos y los analíticos, inclusive está normada su aplicación por la Norma Oficial NMX-C-459-SCFI-ONNCCE-2007 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre del 2007, y por las principales instituciones del país a través de sus procedimientos técnicos publicados en el Diario Oficial de la Federación y de Valores (CNBV) por medio de sus circulares.

Estos dos métodos a su vez están asociados a los enfoques utilizados para evaluar una infraestructura: enfoque de costos, enfoque de infraestructura y enfoque de mercado.

El método de evaluación utilizado para el presente caso está basado en la determinación de la funcionalidad de los inmuebles a partir del estudio de la infraestructura, menos el demérito de las mismas por concepto de edad y estado de conservación.

Por otro lado, la evaluación de la infraestructura es calculado de acuerdo a su tipo, clasificación, características estructurales y acabados, según los costos paramétricos.

El demérito de las construcciones por concepto de edad y estado de conservación es determinado conforme al criterio del INDAABIN señalado en su “Recopilación de Rangos, Fórmulas y Factores de Ajuste”.

Los volúmenes de terreno y construcción son obtenidos a través de la inspección ocular y de acuerdo a las dimensiones que se puedan medir a través del Google Earth.

-Para lograr la metodología de evaluación antes mencionada y para concluir el presente reporte, se tiene la siguiente logística de trabajo:

**1. Visita de inspección.-** En el mes de febrero del 2014 se realizará una visita de campo en la que se tendrá en cuenta lo siguiente, respecto de las estructuras a evaluar:

**A. Ubicación.** La cercanía de la infraestructura con respecto de las ciudades, a los centros de consumo, trabajo, salud y educación. También por su ubicación, los sitios específicos de atractivo local o de nivel superior que guarden un significado cultural, religioso, comercial y turístico en su caso.

**B. Propiedad.** Según su régimen de propiedad (ejidal, comunal, pequeña propiedad, privada individual, privada colectiva y privada gubernamental) y atendiendo al sector al que pertenece (rústico y urbano).

**C. Proyecto de urbanización.** En lo referente al diseño del fraccionamiento, la traza y la armonía arquitectónica.

**D. Uso de suelo.** De acuerdo con los planes o programas de desarrollo urbano para conocer el potencial del uso, el crecimiento y las necesidades de la ciudad o región.

**E. Infraestructura.** Servicios existentes tales como red de agua potable, red de drenaje y alcantarillado, red de energía eléctrica, red telefónica, alumbrado público, banquetas.

**F. Equipamiento urbano.** Disponibilidad de mercados, plazas cívicas, jardines, escuelas, templos, servicios de salud, señalización.

**G. Consolidación de la zona.** Una zona en proceso de consolidación tiene menor deseabilidad que una totalmente consolidada principalmente por la seguridad (de orden físico y económico) que pueda ofrecer.

**H. Población.** Según el número de habitantes en la zona, su nivel cultural, estrato socio-económico, poder adquisitivo y actividad económica por sector.

**I. Contaminación.** La calidad de vida en la zona dado el nivel de contaminación de la misma: ruido, gases, polvos, escurrimientos de aguas residuales, basureros.

**J. Vías de acceso.** La calidad, cantidad, disponibilidad, estado de conservación y nivel de flujo o de tránsito en las vías de acceso.

**K. Oferta y demanda.** La condición de los niveles de oferta y demanda que se manifiestan en la zona.

**L. Operaciones de compra-venta.** Las condiciones (crédito, venta forzada, venta de capricho y justo valor de mercado) sobre las cuales se realizan las operaciones inmobiliarias y las características de los inmuebles (uso, ubicación, edad y estado de conservación y calidad, cantidad y densidad de construcción) que son materia de éstas.

**M. Fenómenos sociales, económicos, políticos y culturales.** Se consideran muchos fenómenos que inciden en el valor de suelo, por ejemplo la migración, inflación, etc.

**N. Fenómenos naturales.** La incidencia de fenómenos naturales en la zona y el riesgo que estos representen: sismos, inundaciones, heladas, fallas geológicas, etc.

**O. Construcción predominante en la zona.** Distinción de tipos conforme a la edad (moderno, semimoderno y antiguo), al uso (habitacional, comercial, de servicios e industrial), a la calidad (provisional, austero, económico, medio, superior y lujo), y al estado de conservación (en construcción, nuevo, normal, regular, malo y ruinoso).

**2. Entrevistas/encuestas.** – Se efectuaron entrevistas con ingenieros civiles encargados de la funcionalidad, operacionalidad y eficiencia de la infraestructura, autoridades municipales, con la intención de conocer el desarrollo de la ciudad, su potencial de crecimiento, sus necesidades, sus limitaciones, etc.

También se realizaran encuestas a los usuarios y pobladores de la zona para así detectar deficiencias de la vía férrea como también los problemas que esta arrastra, y si esta afecta a su productividad y por tanto su competitividad debido a la pérdida de tiempo, y saber si fue afectado por accidentes y la molestia además por el ruido del tren cuando avisa su entrada a la ciudad.

Se encuestará de forma aleatoria a diversos habitantes de las ciudades de Villamontes y Yacuiba para identificar los efectos negativos a causa del paso del tren por la ciudad, para conocer la naturaleza y magnitud de sus molestias por dichos efectos. Las encuestas sucedieran a lo largo de las vías del ferrocarril en las que además se registrará para cada una de ellas la distancia en que se encuentran del ferrocarril y de esta manera determinar el ancho de influencia.

Se preparará un cuestionario formal para ese fin, y también a la par de hacer la visita de inspección se encuestará de forma aleatoria a cualquier habitante del lugar quien responda a un cuestionario formulado.

Los resultados que de estas encuestas proyecten serán si el ruido y las vibraciones son factores de molestia a la ciudad o si estas ocasionaron daños a viviendas.

Se medirá el ancho bruto de influencia o la distancia máxima que registramos por medio de estas encuestas, desde la vivienda hasta la línea del ferrocarril, para saber hasta dónde llegan los impactos causados por la línea férrea. Lo anterior reforzará lo dicho en la introducción por la literatura empírica de Bowes y Ihlanfeldt (2001) en un estudio para el sistema MARTA (Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority) donde encuentran que las propiedades ubicadas a menos de 400 metros de la estación de trenes se comercializan con un descuento de 19% respecto del grupo de control.

**3. Consulta y análisis de información.-** Se consultaron los planes y programas de desarrollo urbano de la ciudad para cotejar lo mencionado por los entrevistados, y además para tener una gráfica del potencial urbano.

La lectura de la prensa jugará un papel muy importante para darle validez a las encuestas: se revisarán artículos (impresos y electrónicos) respecto a los problemas de la vía férrea, contaminantes y sociales a causa del paso del tren por la ciudad; se consultarán notas periodísticas (electrónicas) que citen la creación del “ferroférico”.

Por último se analizarán artículos científicos y estudios empíricos relacionados con el impacto de los efectos de las vías férreas.

**4. Valuación.-** En total se analizarán cinco tramos de las sub estaciones entre las dos ciudades de Villamontes y Yacuiba. En anexo podrán visualizarse las características principales que distinguen a los tramos.

### **c) PREPARACION PARA LA APLICACIÓN**

**-Descripción de los equipos:** Para la elaboración de este proyecto se utilizaran cartas topográficas para calcular longitudes del ferrocarril, anchos de carriles, longitudes entre las subestaciones, y así evaluar el diseño geométrico que contempla esta zona y saber si este fue la mejor opción que se podría plantear o si existe una mejor alternativa.

Se requerirá también Laboratorio de suelos para sus respectivos análisis, para así poder conocer el estado del balasto en esta zona, conocer sus contenidos de humedad y sobretodo la granulometría con la que cuenta y debería contar.

Se utilizara también material básico como winchas para medir en campo la longitud de carril y hasta donde llegan los efectos de las vía férrea en estudio.

**Forma de operar:** Para realizar el trabajo de campo se requiere utilizar fuentes primarias , ya que si se utiliza fuentes secundarias se pueden presentar problemas de credibilidad y resaltaría la incertidumbre , es por ello que el trabajo de campo es necesario para la realización del proyecto , y se divide en la toma de datos y entrevistas a usuarios del ferrocarril en cada uno de las sub estaciones que se encuentra a lo largo de las ciudades Villamontes – Yacuiba , y en la toma de datos en el mismo ferrocarril cuando este en pleno uso.

Para el estudio se realizan entrevistas estructuradas hacia los expertos de los departamentos encargados de la vía férrea, responsables de la empresa de transporte, y jefes de estaciones, se elige esta forma de entrevista por que las preguntas permiten establecer información concreta y al mismo tiempo brinda libertad de obtener toda la información requerida.

Las preguntas estarán referidas a conocer los puntos débiles y fuertes de la vía férrea y darán a conocer también la falta de conocimiento y descuido de los encargados de la vía férrea.

#### **d) TRATAMIENTO ESTADISTICO**

-Nuestro tratamiento estadístico se basa en la Validez ya que es no probabilístico nuestro muestreo, es decir a criterios del investigador, y de normas y reglamentos Ferroviarios que se utilizaran.

Se utilizara también el análisis comparativo para el uso de las encuestas realizadas al personal y a los usuarios de la vía férrea para la cuantificación de los criterios y servirá para comparar situaciones distintas, obteniendo valores cualitativos de los datos.

**CAPITULO II**  
**ELEMENTOS FUNDAMENTALES EN VIAS**  
**FERREAS**

## **CAPITULO II: ELEMENTOS FUNDAMENTALES EN OBRAS FERREAS**

### **2.1.-GENERALIDADES**

El ferrocarril tiene la característica de ser un transporte guiado, sus movimientos están limitados a la ubicación de los carriles o rieles.

Es un transporte seguro, estable y económico, aunque su costo inicial es muy elevado. El consumo de combustible de un tren es 3 veces menor que el de un equipo de carretera para iguales cargas y distancias. La carga llega a destino todo al mismo tiempo, requiere menos personal para su traslado y generalmente sus tarifas por kilómetro son más baratas.

Para el desarrollo de este proyecto se definirá algunos conceptos necesarios que se usara en delante de la investigación.

#### **a) DEFINICIONES**

##### **EVALUACION:**

La evaluación es la acción de estimar, apreciar, calcular o señalar el valor de algo.

La evaluación es la determinación sistemática del mérito, el valor y el significado de algo o alguien en función de unos criterios respecto a un conjunto de normas.

La evaluación de proyectos consiste en comparar los costos con los beneficios que estos generan, para así decidir sobre la conveniencia de llevarlos a cabo. Esta pretende abordar el problema de la asignación de recursos en forma explícita, recomendando a través de distintas técnicas que una determinada iniciativa se lleva adelante por sobre otras alternativas de proyectos.

Para la identificación de los costos y beneficios del proyecto que son pertinentes para su evaluación, es necesario definir una situación base o situación sin proyecto; la comparación de lo sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto, definirá los costos y beneficios pertinentes del mismo.

**Estudio Técnico.-** Esta parte del estudio puede subdividirse a su vez en cuatro partes:

1. Determinación del tamaño óptimo del proyecto.

2. Determinación de la localización óptima del proyecto.
3. Ingeniería del proyecto.
4. Análisis administrativo.

El tamaño también depende de los turnos trabajados ya que para un cierto equipo instalado, la producción varía directamente de acuerdo con el número de turnos que se trabajan.

La localización óptima del proyecto es necesario tomar en cuenta no solo los factores cuantitativos como pueden ser los costos de transporte de materia prima y el producto terminado sino también los factores cualitativos tales como los apoyos fiscales, el clima, la actitud de la comunidad, etc.

Sobre la ingeniería del proyecto se podría decir que técnicamente existen diversos procesos productivos opcionales que son básicamente los muy automatizados y los manuales. La elección de alguno de ellos dependerá en gran parte de la disponibilidad de capital que dependerá el análisis y selección de los equipos necesarios dada la tecnología seleccionada, la distribución física de tales equipos en el proyecto.

#### **EVALUACION VIA FERREA:**

Una EVALUACION DE UNA VIA FERREA se la realiza en base a una norma.

La evaluación de una ruta consta de determinar la manera más factible de unir dos pueblos o regiones. Para esto, es necesario efectuar diversos estudios como son: Demografía, Hidrología, Tránsito, Seguridad vial, Impacto Ambiental, Topografía y Suelo.

Se estudia en que condiciones esta la infraestructura y la superestructura, viendo el estado de durmientes, rieles , balasto .

También se estudia la ubicación si es la mas adecuada, los cierros , la factibilidad de la vía para analizar si es rentable o no.

#### **2.2.- HISTORIA DE LOS FERROCARRILES**

## **2.2.1.- RESEÑA HISTORICA**

### **2.2.1.1.- RESEÑA DEL DESARROLLO HISTORICO DEL FERROCARRIL**

En cuanto se refiere a la vía, los carriles de piedra para disminuir el rozamiento de rodadura de los vehículos, son invención antiquísima, utilizada ya, por egipcios, indios y persas posteriormente por los romanos. Los carriles metálicos, bajo formas distintas, son también muy antiguos, habiendo encontrado restos de carriles de bronce en las inmediaciones de las Pirámides de Gizeh (a orillas del río Nilo en Egipto).se adoptó ese medio para facilitar los transportes.

Igualmente hace muchos siglos, los mineros alemanes de las minas de Harz, y de otras regiones, realizaban el transporte subterráneo del mineral en pequeños vagones, que rodaban en dos series paralelas de maderos planos, provistos de un reborde para evitar descarrilamientos, en el siglo XVI, al acudir estos mineros a Inglaterra, en considerable número, para fomentar la explotación de hierro y de hulla en el país, introdujeron en este sus carriles de madera, y en 1676 llegaron a circular en el distrito de Newcastle, verdaderos trenes de mineral arrastrados por caballerías.

Un caso imprevisto determina el primer gran progreso hecho en la materia. Al comienzo de la segunda mitad de siglo XVIII bajo tanto el precio del hierro que se fabricaba en Colebrookdale (Inglaterra), que no llegaban a cubrir los gastos de producción. Ante la necesidad de apagar los altos hornos, un fabricante, Reynolds, se aplicó a la creación de nuevas utilidades para el hierro. Una de ellas se aplica a la construcción de puentes metálicos, otra, fue la fabricación de lingotes de hierro, más largos que las corrientes, que se fijaron sobre los carriles de madera de las citadas vías mineras, con la idea de levantarlos y aprovecharlos cuando mejorara el precio del metal.

En 1789 se adoptaron los carriles lisos, sin rebordes, dotando en cambio a las ruedas de pestañas exteriores.

En 1803 construyó la máquina Captain Bick, de un solo cilindro, destinado a rodar sobre carriles planos de hierro fundido que debía prestar servicio a una pequeña línea para el transporte de lingotes, en el país de Gales. Esta locomotora pesaba 5 toneladas y podía remolcar una carga de 25tn. A 6.5Km/h vacía alcanzaba a 25Km/h.

En 1814, George Stephenson construyó una locomotora para el transporte de hulla desde las carboneras de Killingworth, donde se utilizaba vías de carriles. La locomotora recibió el

nombre de “Blucher”. El mecanismo constaba de dos cilindros verticales de 0.203m de diámetro y 0.609m de longitud, cuatro bielas suspendidas comunicaban el movimiento a unos árboles , los que mediante piñones transmitían el movimiento a ruedas dentadas de que iban provistas los dos ejes motores que sostenía la máquina.

*Figura 1.Ferrocarril de George Stephenson.*



*Fuente:www.huertarosarioohmc.blogspot.com*

En 1815 construyó Stephenson su segunda locomotora, sustituyéndose la tracción por engranajes por acoplamiento directo de las bielas a las manivelas fijadas a las ruedas motoras utilizando el vapor de escape. En 1825 circulaban en la línea cerca de Newcastle, cuatro locomotoras; estaban montadas sobre resortes, llevaban bielas exteriores de acoplamiento, y el vapor de escape de los cilindros pasaba a la chimenea para activar el tiro. Continuando sus ensayos, se encargó de la construcción de una línea de 16Km de Stockton a Darlington, para sustituir a un canal proyectado, esta línea fue inaugurada el 25 de septiembre de 1825 y fue la primera en ferrocarril en el mundo abierta al servicio público con la locomotora “La locomoción” primer tren de mercancía sobre el primer camino de

hierro público. “La locomoción”, cuyo peso era de 6.5tn remolco el tren inaugural, compuesta de 35 vehículos, que en total pesaban 80tn a la velocidad máxima de 19Km/h. Posteriormente alcanzo hasta 24Km/h. En 1833 había en Londres unos veinte coches a vapor que aseguraban un servicio público.

Finalmente, en 1829, la Compañía fundada para la construcción del ferrocarril de Liverpool a Manchester, cuya línea construyó Stephenson, sacó a concurso, a instancia del propio Stephenson y variando el primitivo proyecto la construcción de una locomotora capaz de remolcar regularmente, en la rampa de Rainhill (10 por 100) por carga de 20tn, incluidos tender y provisiones a la velocidad de 16Km/h. De los tres concursantes que se presentaron George Stephenson ganó el premio de las 500 £ ofrecidas por su locomotora “el cohete”, ante enorme concurrencia, fue solemnemente inaugurado remolcando un coche con 36 personas.

La máquina en servicio pesaba 4.3tn y su tender en orden de marcha algo más de 3tn. En lleno remolcaba una carga de 13tn alcanzando con la carga de un solo coche la velocidad de 25Km/h. En septiembre de 1830 se inauguró la línea con gran solemnidad y desde este momento puede considerarse abierta la Era del Ferrocarril, que ha transformado totalmente la vida económica y social del mundo.

George Stephenson nació en 1781, en Wylam, pequeño lugar de las cercanías de Newcastle, de familia obrera, empezando a trabajar como tal constituyéndose uno de los ejemplos más notables que registra la historia en materia de autodidáctica, lo llevaron pronto a la dirección técnica de los talleres y maquinaria de las mismas; murió en 1848.

Todas las locomotoras presentaban las características que conservaron durante largo tiempo en las nuevas máquinas que tantos beneficios proporcionaron a la humanidad transformando, como se ha dicho antes, en la vida económica y social del mundo entero, sin haber distinción de razas, de credos religiosos, políticos, etc. ni sistemas de gobierno u otros aspectos, porque se encontraba por encima de todo ello, pues su destino había sido servir y nada más que servir a todos.

### **2.2.2.-BREVE RESEÑA HISTORIA DE FERROCARRILES BOLIVIANOS**

A continuación se detalla en orden la inauguración de las vías férreas en Bolivia.

**Uyuni-Frontera.**-Longitud 172 Km. Inauguración 25 de Noviembre de 1889. Comenzaron los trabajos de Antofagasta hasta el interior de Bolivia, a cargo de la Compañía de Salitres

y Ferrocarril Antofagasta a Bolivia, que luego vendió a la empresa Inglesa: The Antofagasta a Bolivia and Bolivia Railway Co. Constituido en el auge salitrero. **Oruro-Uyuni-** (vía a Antofagasta) Longitud 486 Km.-Inauguración 15 de Mayo de 1892,Fue construida por la Empresa Antofagasta a Bolivia y Bolivia Railway Co.

Figura 2.Ferrocarril Oruro-Uyuni.



*FUENTE: Histórico ingreso del primer tren a Oruro el 15 de mayo de 1892 durante la presidencia de Aniceto Arce. Fuente: <http://www.uyuniweb.com/uyuni-ciudad/historia-de-los-ferrocarriles-en-bolivia.php>*

Figura 3.Locomotora Uyuni. *La soberbia locomotora “Uyuni” ostenta el escudo de Bolivia.*



*Fuente: <http://www.uyuniweb.com/uyuni-ciudad/historia-de-los-ferrocarriles-en-bolivia.php>*

Figura 4.Locomotora de Oruro.



*Fuente: <http://www.uyniweb.com/uyni-ciudad/historia-de-los-ferrocarriles-en-bolivia.php>*

**Viacha -Charaña(vía a Arica).**- Longitud 209. Km. Se inauguró el 13 de Mayo de 1913. Inicio sus obras el 5 de Septiembre de 1906.El financiamiento estuvo a cargo del gobierno chileno cumpliendo tratado de Paz y Amistad firmado el 20 de Octubre de 1904.

**Viacha-Oruro.**- Longitud 204 Km. Su inauguración fue el año 1909. El financiamiento estuvo a cargo de los Empréstitos Bonos de 1ra. Y 2da. Hipoteca Contrato Seller, Nacional Citibank-Bolivia Railway.

**La Paz- Viacha.**- Longitud 41,709 Km. Inicio sus obras el 16 de enero de 1911. El financiamiento y construcción estuvo a cargo de The Antofagasta and Bolivia Railway Co.,

**Viacha-Guaqui.**- Longitud 65,8 Km. Inicio de obras 1°.Septiembre 1900.- Inauguración 1903.Financiamiento: Impuesto a los alcoholes y gomas del Departamento de La Paz. Construido por el Gobierno de Bolivia y transferido el 22 de Julio de 1910 a la Peruvian Corporation.

**Río Mulato (Triángulo)- Potosí.**- Distancia 172,94 Kms. Inauguración 1912.Financiamiento bonos 1ra. Y 2da. Hipoteca contrato Seller –National City Bank, Bolivia Railway Co.

**Uyuni - Atocha- Villazón** Su longitud es de 288,46 Km.. Su inauguración fue el 1913. El financiamiento, los bonos, 1ra. y 2da. la hipoteca y el contrato están a cargo de Seller-National City Bank-Bolivia Railway Co.

**Oruro-( San Pedro) Cochabamba.**- La longitud es de 204,847 Km. Su inauguración fue el año 1917. El financiamiento, los bonos, 1ra. y 2da. Hipoteca y el contrato estaban a cargo de Seller-National City Bank-Bolivia Railway Co.

**La Paz-Beni.-** La longitud ejecutada 68 Km. Inicio sus obras el 1918 y su paralización fue el 1952. El financiamiento estaba a cargo de los Empréstitos del Banco de la Nación Chandler, construido por la sección de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento. Al ser paralizada la construcción entre Chuspipata y Abra de Atalaya, fue desmantelado.

**Potosí-Sucre.-** Longitud m 175,26 Km. Inicio de sus obras en 1916. Se reiniciaron estas obras en Abril de 1927. Su inauguración fue en 1934. Su financiamiento estuvo a cargo de: Empréstitos Nocolaus y Banco Nacional de Bolivia.

**Cochabamba- Aiquile.-** Longitud 215,252 Km. Su inauguración fue el 1932. La línea Cochabamba-Arani fue construida por la Empresa de Luz y Fuerza de Cochabamba. A partir del 15 de Enero de 1932, los sectores Cochabamba-Cliza-Arani-Cliza –Sivingani se explotaron por administración fiscal.

**Machacamarca-Uncía.-** La longitud es de 96 Km. de Ramales a Catavi. Su inauguración fue en Junio de 1921. Su financiamiento estuvo a cargo de Patiño Mines E.C.I. Fue entregado a ENFE el año 1989.

Figura 5. Locomotora del museo de Machacamarca.



Figura 6. Al capone ferrocarril para personas de importancia.



*Fuente: <http://www.uyniweb.com/uyni-ciudad/historia-de-los-ferrocarriles-en-bolivia.php>*

**Santa Cruz-Corumba.-** La longitud es de 657 Km. El inicio de sus obras fue el año 1938. Su inauguración se llevo a cabo el año 1953. El financiamiento estuvo a cargo del Gobierno Brasileño durante la ejecución del tratado de Petrópolis.

**Santa Cruz-Yacuiba.-** La longitud es de 539 Km. Inicio su trabajo el 23 de Mayo de 1944. Su inauguración se llevo a cabo en Diciembre del año 1957.

**Santa Cruz-Yapacani.-** La longitud es de 208 Km. El inicio de sus obras fue en Diciembre de 1967. Su inauguración fue en Santa Cruz (Santa Rosa) el 17 de Mayo de 1976. Inauguración Santa Rosa Yapacani, 28 de Agosto de 1978. Estas líneas fueron administradas por las empresas The Antofagasta a Bolivia Co., The Bolivia Railway Co., y la Dirección General de Ferrocarriles, hasta el año 1967 que con la fundación de la Empresa Nacional de Ferrocarriles, se fusionaron .

### **2.2.3.-FERROCARRIL YACUIBA –SANTA CRUZ**

El tren entre Santa Cruz y Yacuiba no solamente es para pasajeros, sino también tiene vagones de carga. Por eso tiene que maniobrar muchas veces durante el viaje, dejando vagones en estaciones pequeñas y coger otros. Cerca de Villa Montes dos locomotoras colocan unos vagones en su posición. Más adelante el tren sale de los llanos por un tiempo y encuentra paisaje más montañoso, yendo por un túnel.

Figura 7. Estacion Yacuiba.



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 8. Vagones del ferrocarril oriental.



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 9. Lugar del pesaje del vagón en Yacuiba.



*Fuente: Elaboración propia..*

Figura 10. Estación el Palmar.



*Fuente propia.*

## **2.3.-COMPONENTES DE UNA OBRA FÉRREA**

### **1.- GENERALIDADES**

La vía de un ferrocarril se compone de dos partes principales: la infraestructura y la superestructura.

La infraestructura es el conjunto de obras formadas por cortes, terraplenes, obras de drenaje, trincheras etc. , para llegar al nivel de subrasante.

La superestructura, o vía propiamente dicha, es la parte que va arriba de la infraestructura y la forman dos hileras de rieles sujetos a piezas transversales llamadas durmientes, que a su vez descansan sobre un lecho de material pétreo denominado balasto, a lo que hay que agregar los accesorios de la vía tales como pernos rieleros, bridas o juntas, sapos, etc.

## 2.- LOS RIELES

El riel viene designado por el número de kilos de peso por cada metro de longitud, además cumplen una doble función que es:

- Guiado de las cargas mediante pestañas interiores de las ruedas.
- Sustentación de las cargas provenientes de las ruedas y transmitir las a las durmientes o traviesas, gracias a la elasticidad entre las llantas y los rieles.

El riel está formado por tres partes que son:

- La cabeza u hongo.
- El nervio o alma.
- La zapata o patín.

**El hongo o cabeza del riel.-** Se diseña considerando que trabaja a compresión y va a estar en contacto con las ruedas cuyas pestañas tienen que guiar y por lo tanto la altura del hongo debe ser mayor de la necesaria para la resistencia del mismo ya que debe existir una reserva de metal para prevenir el desgaste. Así, pues, en la altura  $H$  total del riel ya se considera la altura de desgaste del riel, hay que distinguir la parte del material correspondiente a la rodadura y la parte necesaria para resistir la acción de las cargas a las que el riel va a ser sometido como viga. La parte correspondiente a desgaste por rodadura es normalmente de 15 mm, por lo tanto un riel que haya experimentado un desgaste de esa magnitud debe ser retirado.

La superficie de rodadura de los rieles no es plana sino convexa con el fin de reducir el desgaste recíproco entre rueda y riel.

**El alma o nervio.-** Es la parte que ha sido diseñado no solamente con el fin de absorber los efectos del corte sino también los efectos flectores que se producen por la acción de las

cargas transversales. Ello ha conducido al diseño de almas con espesor variable siendo mayor en la base de la misma y también junto al hongo.

Una repartición adecuada de metal debe existir entre el hongo, el alma y el patín de los rieles.

Tabla 1. Repartición de metal en el riel.

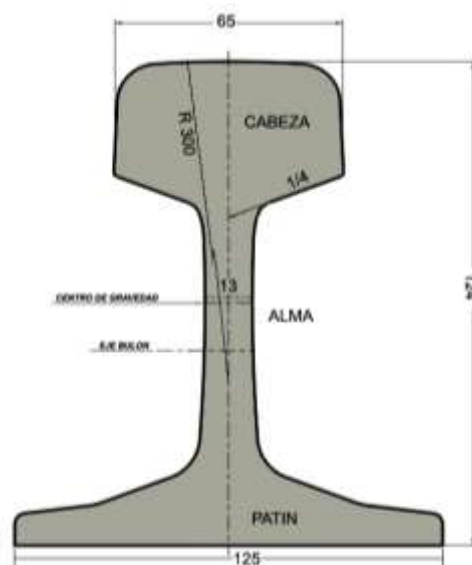
PERFIL DE RIEL	NORMA MUNDIAL	NORMA AMERICANA
Cabeza u Hongo	40%	35%
Alma o nervio	22%	27%
Base o fundación	38%	38%

FUENTE: Wikipedia.

Los rieles son normalmente laminados de 12 m (30 pies) de longitud. Sin embargo, mayor longitud de riel se disminuye la cantidad de juntas y por lo tanto se disminuyen los puntos débiles de las vías. Las juntas entre rieles pueden efectuarse de dos maneras: como junta apoyada o como junta suspendida.

**La zapata o patín.**- La zapata o patín se diseña a la tracción. El patín debe darle al riel su resistencia máxima y una superficie contra las fuerzas transversales que provocan su volteo.

Figura 11. Partes de un riel.



Fuente: Fundamentos de ingeniería. Capítulo 11.

**Composición de los rieles:**

Los rieles están compuestos por hierro combinado con Silicio, Manganeso, Carbono, Fósforo y Azufre aunque estos dos últimos no se los puede eliminar completamente estando estos en pequeños porcentajes.

El silicio lo hace a las rieles mucho mas duras y debe tener un porcentaje adecuado, el manganeso le da a las rieles mayor dureza y densidad aceptando dentro de ciertos porcentajes.

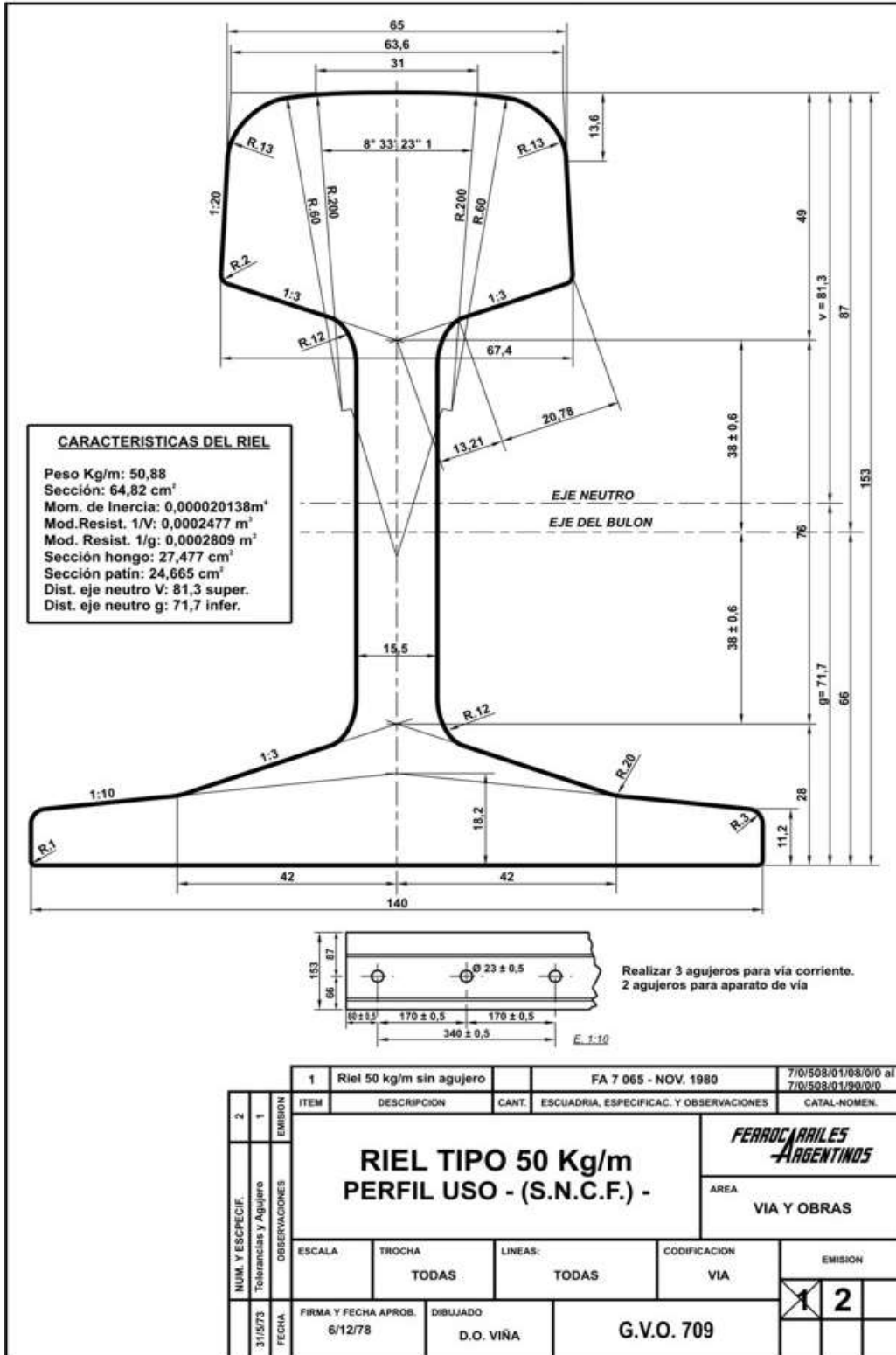
Tabla 2. Composición de los rieles.

ELEMENTO	NORMA EUROPEA	NORMA AMERICANA
Carbono	0.4% - 0.55%	0.53% - 0.82%
Manganeso	0.8% - 1.20%	0.7% - 1.0%
Silicio	0.10% - 0.25%	0.15% - 0.30%
Fósforo	< 0.06%	< 0.04%
Azufre	< 0.06%	< 0.04%

*El resto del porcentaje está conformado por hierro.*

*Fuente: Manual ferroviario ferrocarril.*

Figura 12. Características del riel.



Fuente: <http://www.cnrt.gov.ar/ultrasonido/Planos.html>

### 3.- EL BALASTO

Se denomina balasto a un tipo de árido de una granulometría variable entre 40 y 150mm aproximadamente. Su utilización va desde la construcción hasta aplicaciones industriales. Un uso extendido internacionalmente es en la construcción de vías férreas.

Es la clase de material escogido, tal como piedra triturada, grava, escoria, etc., que se coloca sobre las terracerías compactadas para dar apoyo y estabilidad a los durmientes o traviesas.

El balasto se utiliza generalmente como base de pavimentaciones, tanto de pavimentos continuos como el aglomerado como de pavimentos por piezas, como el adoquinado. De manera similar, el balasto de vía cumple la función de aportar estabilidad a la vía férrea, haciendo que permanezca con la geometría dada durante su construcción. Adicionalmente cumple otras dos funciones importantes: distribuye las presiones que trasmite la vía al terreno, haciendo que sean admisibles para éste, y permite el drenaje del agua de lluvia, evitando que se deteriore el conjunto.

El porcentaje de desgaste de la piedra partida ensayada por el procedimiento de Los Ángeles (Norma ASTM C535, Degradación por abrasión de Agregados Grandes, gradación F), no será mayor del 22% como porcentaje máximo admisible.

Para los materiales de origen basáltico se exige una degradación inferior a 65% cuando se ensaye en solución de dimetil sulfóxido. Para el resto de los materiales se exige una degradación inferior al 12 % cuando se ensaye en solución de sulfato de sodio.

La granulometría debe permitir el drenaje de la formación y debe proporcionar una trabazón adecuada entre partículas, de forma que se mantenga la estabilidad de la vía.

El balasto cumple las siguientes funciones:

- Evacuar rápidamente las aguas provenientes de las lluvias.
- Absorbe las cargas de las durmientes y las distribuye uniformemente a la infraestructura.
- Funciona o trabaja como un lecho o cama elástica.
- Cuando se coloca correctamente y tiene suficiente espesor, el balasto proporciona un soporte firme y uniforme a los durmientes y distribuye por igual la presión causada por el peso y empuje de los trenes que transitan por la vía.
- El material que llena mejor los requisitos de un balasto ideal es la piedra triturada. La piedra caliza, el granito y la lava volcánica son las variedades más empleadas.

Figura 13. Balasto.



*Fuente: [http://books.google.com.co/books?id=NUrk7YGSDBOC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=NUrk7YGSDBOC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)*

#### **4.- LOS DURMIENTES**

Se llaman durmientes o traviesas a las piezas que se colocan transversalmente sobre el balasto para proporcionar a los rieles de la vía un soporte adecuado.

Cumplen la función de recibir las cargas de los rieles y transmitir las al balasto, además mantener constante el ancho de rieles, las durmientes van arriostradas al balasto.

La mayor parte de los durmientes que se emplean en los ferrocarriles son de madera. Se ha realizado muchos experimentos tratando de encontrar un sustituto satisfactorio de los durmientes de madera, y así se han construido durmientes de metal y de concreto, de concreto con piezas de metal o de madera insertadas, habiéndolos probado con distinto éxito.

Las diferentes variedades de madera pueden agruparse en dos clases generales, a saber, maderas suaves y maderas duras. Con pocas excepciones, las maderas blandas se obtienen de árboles que tienen hojas en forma de agujas como el pino y el abeto; en cambio las maderas duras provienen de árboles que tienen hojas ordinarias como el encino y el castaño. Las maderas suaves son de poco peso y de fibras rectas, se rajan fácilmente y a menudo contienen bastante resina. Las maderas duras son más pesadas, más fuertes y resistentes, pero tienen la tendencia a torcerse y a formar grietas al sazonarse.

El espaciamiento de los durmientes en la vía varía de acuerdo con su tamaño y la intensidad de tránsito. Para permitir un calzamiento correcto con herramientas de mano, se requiere un espacio libre de 25 cm. entre los durmientes adyacentes. En vías troncales algunos ferrocarriles emplean este espaciamiento mínimo de 25 cm. entre durmientes. Aún en ramales poco importantes, la práctica usual es el limitar al espacio entre durmientes a 45 cm.

Longitud de las durmientes:

La longitud de las durmientes depende del ancho de la trocha que se haya elegido para realizar el diseño.

Para trochas anchas  $L = 2.45 \text{ m} - 2.70\text{m}$

Para trochas angostas  $L = 1.70\text{m} - 2.0\text{m}$

Tratamiento preservativo de la madera.- La madera puede emplearse en dos formas: tal como viene de los árboles, o sometiéndola a un tratamiento preservativo con objeto de que dure más. Los métodos científicos para el tratamiento preservativo de las maderas han sido desarrollados con el éxito que muchas maderas que anteriormente se consideraban inútiles para usarse como durmientes, se han hecho aceptables para este fin mediante un tratamiento adecuado.

➤ **Secado natural de la madera:**

El secado de la madera para durmientes se efectúa en galpones ubicados en la dirección de los vientos predominantes en tiempos de 8 a 18 meses, dependiendo de la humedad de la madera. Se coloca la madera en pilas de 5 durmientes por cada lado, elevados a una determinada distancia del nivel del suelo y sin que entre en contacto con el techo del galpón, es decir, debe estar en un ambiente totalmente ventilado y protegido de los rayos del sol y de la lluvia. Generalmente, una madera para durmientes está lista para ser utilizada cuando tiene una humedad de 30% a 35% o que haya perdido humedad entre el 65% a 70%.

El secado de la madera en forma natural tiene como ventajas que no presenta grietas porque el secado ha sido en forma uniforme.

➤ **Secado artificial de la madera:**

Se lo realiza mediante hornos, estufas, etc. A lo largo presenta rajaduras debido a que en su perímetro está más seca y en su parte central tiene mayor humedad, estas grietas se las puede cerrar con pernos reduciendo los años de vida de la madera.

La madera tiene una duración de 25 a 30 años sin ser tratada y de 50 a 60 años aquella que haya recibido una adecuada impermeabilización.

Métodos para impregnar la cerosota en las durmientes.

Existen tres formas de impregnar la madera y son:

**a) Forma superficial:**

Es la más barata y menos eficiente consiste en pintar a la durmiente con cerosota utilizando una brocha.

**b) Forma de presión atmosférica:**

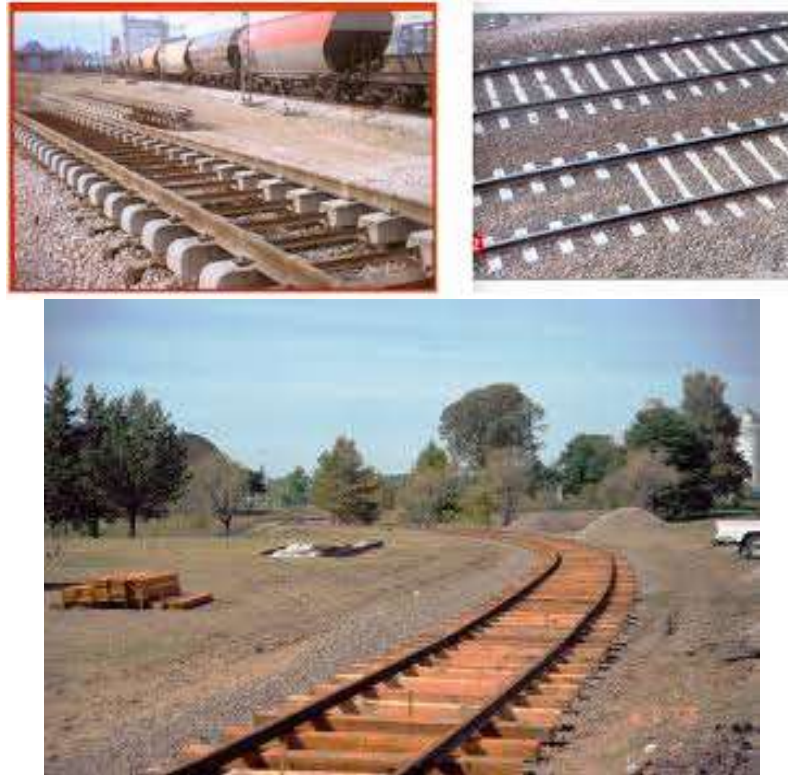
Se hace hervir la creosota y se sumerge las durmientes en ella, para abrir los poros de la madera y pueda salir el aire que contiene la madera y se introducirá la cerosota en los espacios vacíos.

Luego la durmiente se la sumerge en un baño de agua fría con la finalidad de cerrar los poros abiertos y que un cierto porcentaje de creosota haya quedado dentro de la madera.

**c) Método a presión:**

Es el método más eficiente y el más caro, además se los puede realizar de dos maneras.

- Método de Bethel
- Método de Rüping



*Fuente: "La vía férrea" autor :Ing. Juan Lima Menéndez*

## **5.-SEÑALES DE LAS VIAS FERREAS**

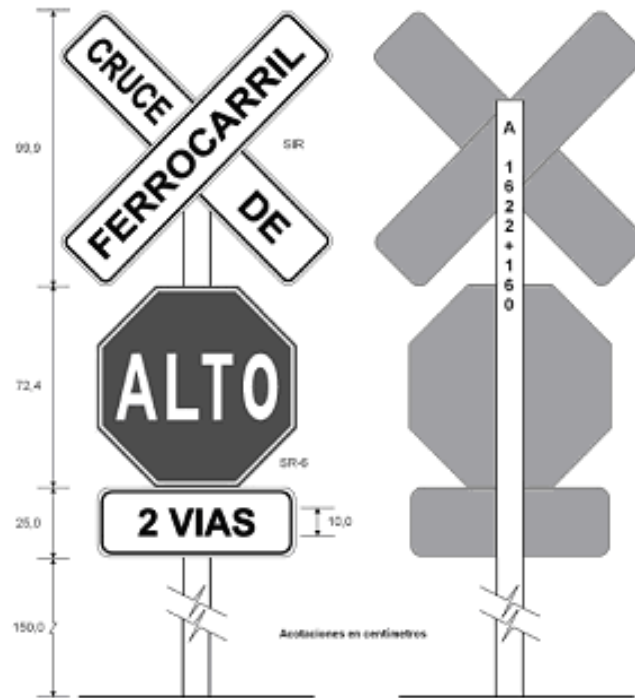
La señalización ferroviaria se utiliza para indicar al maquinista las condiciones de la vía que se va a encontrar por delante.

En contraposición a las normalmente más conocidas señales de tráfico, en el ferrocarril se denomina como señales principalmente a las indicaciones para la regulación de tráfico, como semáforos y similares. La necesidad de cierta distancia para permitir que un tren frene condiciona este tipo de señales, ya que es necesario informar al tren de que debe parar con suficiente antelación al punto de parada.

Existen numerosos sistemas de señalización, desde indicaciones realizadas por personas a modernos sistemas automáticos de señalización en cabina.

### **SEÑALES PERMISIVAS**

Figura 15. Señalización para cruce de ferrocarril.



*Fuente :Norma mexicana para señalización de las vías.*

En aquellas señales intermedias en vías en las que sólo se circula en un sentido y no hay aparatos de vía, se puede asumir que una señal de parada indica que nos estamos acercando al tren precedente. En este caso, entrar en un cantón ocupado no implica peligro siempre que no se produzca una colisión por alcance con el tren precedente. Por ello este tipo de señales se pueden rebasar cuando se tomen las precauciones necesarias para evitar la colisión, siendo estas condiciones habitualmente las de detenerse ante la señal en rojo para después reiniciar la marcha a muy poca velocidad hasta la señal siguiente. La escasa velocidad permite al operario del tren detenerse antes de la cola del tren anterior en caso de cualquier incidencia.

Este tipo de señales se denominan habitualmente «permisivas», ya que permiten ser rebasadas en rojo bajo ciertas condiciones. Se identifican con un cartelón en el poste de la señal que indica la permisividad (o la no permisividad en sistemas que consideran todas las señales permisivas por defecto), cartelón diferente según la normativa de cada país.

Cuando es posible entrar con precaución en un tramo donde hay otro tren, pero existen otros elementos protegidos por las señales (como que los aparatos de vía estén

correctamente configurados), es necesario que el rebase sea autorizado por el gabinete de circulación, considerándose una señal no permisiva.

### **SEÑALIZACIÓN EN CABINA**

Figura 16. Indicador de velocidad con un sistema de señalización en cabina.



*Fuente :Norma mexicana para señalización de las vías.*

La aparición de la alta velocidad y la imposibilidad de los agentes de conducción de observar adecuadamente las señales a esas velocidades, han llevado al desarrollo de sistemas de señalización en cabina. Hay una gran variedad de sistemas de señalización en cabina.

Entre los más sencillos están los sistemas de alarma automáticos, que tienen la función de garantizar que el agente del tren haya comprendido las señales. Algunos disponen de un botón que el agente ha de pulsar tras pasar cada señal, y si el maquinista no reconoce la señal o la pasa en rojo, el tren frena automáticamente. La transmisión de la posición de las señales se realiza mediante balizas situadas puntualmente.

Los sistemas habitualmente utilizados en alta velocidad disponen de una pantalla donde indican la situación de las señales. Eventualmente pueden mostrarse otras indicaciones como el resto de las señales por delante en la línea, las limitaciones de velocidad u otras. Algunos sistemas incluyen indicadores analógicos, como indicadores de velocidad máxima. La transmisión se efectúa mediante balizas puntuales, cables radiantes, a través del carril o mediante radio.

Cuando el sistema de señalización es suficientemente avanzado, se puede llegar a prescindir de la señalización lateral. En el caso del sistema ERMTS existe la posibilidad de sólo colocar un símbolo que indica el fin de cada cantón, para saber el punto ante el que tren se debe detener si la señalización en cabina así lo indica, sin que exista ninguna

señalización luminosa. Muchas líneas de alta velocidad mantienen la señalización lateral para poder funcionar a baja velocidad en caso de incidencia del sistema de señalización en cabina y permitir la circulación de trenes que no disponen de cabinas preparadas.

#### **2.4.-CLASIFICACION DE LOS FERROCARRILES**

El transporte sobre rieles cada vez será más importante como medio de transporte en el futuro debido al crecimiento substancial de la población. Además, el transporte sobre rieles es la forma más eficaz de manejar demandas mayores con pocas exigencias de energía, escasa necesidad de terreno, contaminación reducida del aire y pocos accidentes.

Un ferrocarril se puede definir como la vía provista de guías paralelas, denominadas rieles, sobre las que se deslizan una serie de trenes movidos por tracción mecánica o eléctrica.

En el trazado de una vía férrea se toman en cuenta tramos rectos y curvos, en los tramos rectos se garantiza un desgaste uniforme de combustible evitando las pérdidas de energía que se realizarán en un tramo curvo.

Las curvas son elementos que enlazan dos tangentes evitando los quiebres bruscos, pero éstas presentan peligro de deslizamientos transversales y de la fuerza centrífuga que tiende al vuelco al tren; por lo tanto las curvas hay que proyectarlas de acuerdo a las condiciones técnicas en forma rigurosa de manera que no constituya un riesgo.

Los parámetros con los que se puede medir el impacto que produce la construcción de una nueva vía férrea en un país son: Desde el punto de vista económico, social y político

- **Desde el punto vista Económico**

- Valoriza tierras alejadas de los centros poblados
- Reduce el costo de los terrenos cercanos a los centros poblados.
- Permite la implantación de industrias y explotación de zonas alejadas
- Se tiende a especializar la producción de una determinada zona en función de su producción.
- Reduce o rebaja el nivel de vida de dichas zonas.

- **Desde el punto de vista Social**

- Facilita la intercomunicación de los pueblos.
- Intensifica el turismo.

- **Desde el punto de vista Político**

Facilita la acción del gobierno.

- Facilita la estrategia militar.

En la actualidad no se cuenta con una clasificación universal respecto a la clasificación de los ferrocarriles debido a que los mismos presentan una gran variedad en sus características. Pero existe una clasificación más o menos aceptada que clasifica de acuerdo a los siguientes aspectos:

- a) Desde el punto de vista económico
- b) Por el tipo de servicio que prestan
- c) Por el desarrollo geográfico
- d) Por el tipo de tracción
- e) Desde el punto de vista legal

**a) Clasificación desde el punto de vista económico.**

Se clasifican en:

**1. Economía en la vida de un país:**

Se clasifican en: Principales y Secundarios

-Principales. Son los Ferrocarriles que unen centros o ciudades importantes y tienen repercusión nacional. Ejemplo: La Paz – Oruro – Uyuni – Villazón.

-Secundarios. Son aquellos que alimentan la red fundamental y que unen centros de relativa importancia. Ejemplos: Sucre – Vila Vila, Cochabamba – Aiquile.

**2. Economía en la construcción de un Ferrocarril**

Se clasifican en: Principales y secundarios

Principales. Cuando son de trocha ancha ( $a > 1435$  mm.).  $1435 < a < 1676$  mm

Secundarios. Cuando son de trocha angosta ( $a < 1435$  mm.)  $650 < a < 1435$  mm

La trocha de comparación  $a = 1435$  mm es conocida como trocha Internacional o Europea.

**b) Clasificación por el tipo de servicio que prestan.**

Por el tipo de servicio que prestan se clasifican en:

**1. Tipo de servicio .-** Se clasifican en general y particular

**FFCC de servicio general.** Se subdividen en tres tipos:

1. Nacional, ejemplo: La Paz – Oruro – Villazón.
2. Regional, ejemplo: Santa Cruz – Corumba.

3. Local, ejemplo: Sucre – Tarabuco.

### **FFCC de servicio particular.**

Prestan servicios de exportación minera como también petrolera Oruro-Machacamarca-Uncia

Colonización, sirven para tareas de colonización, ejemplo: La Paz – Beni.

1. Tren de montaña, sirven para fines exclusivamente turísticos, ejemplo: los teleféricos.
2. Estratégicos, cumplen funciones de carácter militar.

### **c) Clasificación por el desarrollo geográfico.-**

Por el desarrollo geográfico se subdividen en cuatro: FFCC de Larga Distancia, FFCC Sub-Urbanos o de Cercanías, FFCC de Circunvalación o Cintura, FFCC Metropolitanos o Urbanos.

1. Ferrocarriles de Larga Distancia. Se subdividen en dos tipos:

1.1 Nacionales, por ejemplo: San Francisco – New York.

1.2 Internacionales, por ejemplo: La Paz – Buenos Aires, Turkia – Holanda, París – Moscú.

2. Ferrocarriles Sub-Urbanos o de Cercanías. Unen una gran ciudad con sus Ciudades satélites o industriales, ejemplo: Buenos Aires – Avellaneda.

3. Ferrocarriles de Circunvalación o Cintura. Son los que rodean por la periferia a una ciudad sin penetrar a la misma

4. Ferrocarriles Metropolitanos o Urbanos. Se encuentran dentro de una ciudad y se construyen encima o debajo de las vías públicas se subdividen en tres tipos:

4.1 Superficiales, son los que se trasladan por la superficie, ejemplo: los tranvías.

4.2 Subterráneos, se trasladan por debajo de la superficie, ejemplo: los metros.

4.3 Aéreos, se desplazan por el aire por medio de cables, ejemplo: El teleférico.

### **d) Clasificación por el tipo de tracción**

Se clasifican en:

#### **1. Tipo de tracción:**

- Ferrocarril a vapor
- Ferrocarril a carbón
- Ferrocarril a diesel
- Ferrocarril mixto

- Ferrocarril eléctrico

## 2. Adherencia llanta – riel:

- Simple adherencia
- Sistema de cremallera

**e) Clasificación desde el punto de vista legal.-** Para este tipo de clasificación se toma en cuenta, quien construye el ferrocarril y sobre todo quien lo va a explotar, se divide en tres: FFCC de Régimen Privado, FFCC de Régimen Mixto, FFCC de Régimen Estatal.

**-Ferrocarril a Régimen Privado.** Se caracteriza porque un particular construye y explota el ferrocarril, es de carácter netamente privado

**-Ferrocarril a Régimen Mixto.** Se caracteriza por que el estado y un ente privado se asocian para construir y luego explotarlo, se dividen en dos:

1. **A concesión temporal**, cuando un particular construye el ferrocarril y lo explota por un tiempo determinado al cabo del cual este llega a ser del estado.
2. **A concesión perpetua**, cuando alguna organización privada o estatal construye y explota un ferrocarril por un tiempo indefinido.

**-Ferrocarril a Régimen Estatal.** Se caracteriza porque el estado asume el riesgo de construir y explotar el ferrocarril, se subdivide en dos:

1. **Sin subvención**, cuando el ferrocarril genera ganancias, cubre sus gastos de operación y mantenimiento y brinda utilidades para la reinversión.
2. **Con subvención**, cuando el ferrocarril arroja pérdidas y el estado debe subvencionarlo para poder mantenerlo en funcionamiento.

## 2.5.- DIMENSIONAMIENTO EN OBRAS FERREAS

Factores que influyen en el diseño del trazado

Los principales factores que influyen en el diseño del trazado ferroviario son los siguientes:

- Velocidad de proyecto de la línea férrea en cuestión.
- Criterios de seguridad frente al descarrilamiento.
- Orografía del terreno por la que discurre el trazado.
- Clasificación de la línea: mercancías, pasajeros o mixto.
- Gálibos de elementos fijos de la infraestructura y gálibos del material rodante.
- Aceleraciones transversales en curvas en planta.

### **2.5.1.- PARAMETROS DE TRAZADO**

#### **-ALINEACIÓN DE LA VÍA**

El radio de curva y la pendiente de la vía principal son determinantes para asegurar el rendimiento de alta capacidad y alta velocidad del transporte ferroviario, teniendo en cuenta el esfuerzo de tracción y la velocidad máxima de diseño.

El radio de la curva de la vía principal y la pendiente de la vía principal, , será determinada para obtener aproximadamente al menos el 80% de la velocidad máximo de diseño, excluyendo los casos prohibidos por la topografía, es decir rodeo de obstáculos naturales donde sea costoso la construcción de túneles y viaductos. Sin embargo, la pendiente de la vía principal de la línea en cual la operación es llevada a cabo por tracción locomotora será tal que permita la carga de tracción de diseño para esta línea, teniendo en cuenta el rendimiento de la locomotora y otros factores.

#### **-RADIO DE CURVA EN PLANTA**

El radio de curvatura será fijado para no perjudicar la explotación segura, teniendo en cuenta la capacidad de rendimiento del tren en curvas, la velocidad de la operación, y otros factores relevantes.

La curva en planta a lo largo de una plataforma de vía principal será fijada con el mayor radio posible.

Un radio de curva que no perjudica la explotación segura en la vía principal cumplirá con los siguientes criterios, teniendo en cuenta la magnitud de la inclinación, la velocidad de explotación y otros factores:

\* Radio de curva de las vías ordinarias:

El radio de la curva de las vías ordinarias no será menor que 160 m, y el radio de una curva incidental a un desvío no será menos que 100 m.

\* Radio de curva de las vías especiales:

El radio de la curva de las vías especiales no será menos que 100 m. Esto no es aplicable a los casos prohibidos por la topografía.

#### **-PERALTE**

\*Para prevenir el vuelco del material rodante y por criterio de confort de pasajeros, el peralte será proporcionado según el gálibo, el radio de curva, la velocidad de circulación,

etc., para resistir la fuerza centrífuga y la fuerza del aire ejercida sobre ellos. Esta regla no se aplica, sin embargo, a zonas como las agujas, curvas incidentales a una aguja, y vías laterales que no permiten la provisión del peralte pero que son protegidos por medidas de protección incluyendo restricciones de velocidad para que no haya peligro de vuelco de unidades.

\* Para una velocidad determinada, la magnitud de peralte requerido para el equilibrio se determina por la fórmula. El peralte excesivo para velocidades de operación puede generar excesivo desgaste del riel o incluso podría causar vuelco hacia el hilo bajo o riel interior. Un peralte insuficiente para la velocidad de operación generará un desgaste excesivo en el hilo alto o incluso podría causar descarrilamiento hacia el exterior de la curva. Las unidades circulan a diferentes velocidades en una línea ferroviaria, por ello la administración ferroviaria o explotador deberá especificar la magnitud de peralte no compensado utilizada para regular el máximo permitido. La máxima aceleración sin compensar permitida será determinada por el organismo correspondiente.

#### **-CURVA DE TRANSICIÓN EN PLANTA**

\* La curva de transición es un elemento fundamental en el alineamiento ferroviario y debe ser utilizado siempre que sea posible en vías con un tráfico considerable constante, ya sean de cargas o de pasajeros. Este elemento geométrico se ha de disponer entre una alineación recta y una curva circular de radio determinado, o bien entre dos alineaciones curvas de radios o dirección diferentes.

Hay varios tipos de curvas de transición en planta, siendo las más generalizadas la clotoide, la parábola cúbica y la espiral.

#### **-TROCHA**

\* La trocha deberá ser capaz de mantener operaciones de vehículo seguras y estables, dada la estructura del material rodante, la velocidad máxima diseñada y otros factores relevantes.

\* La trocha para líneas férreas de nueva construcción será construida preferentemente en trocha estándar de 1.435 mm y, excepcionalmente y por causa justificada en trocha de 914.4 mm, según la decisión técnica que se determine. Sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto.

#### **-SOBREANCHO DE VÍA**

\* El sobreancho de la vía será realizado en secciones de curva circular para prevenir fuerzas laterales excesivas en la vía, teniendo en cuenta el radio de la curva y la distancia entre ejes del bogie del material rodante. Esta regla no se aplica, sin embargo, a los casos en los que el radio de la curva es elevado, la distancia entre ejes del bogie del material rodante es corta y/o no hay condiciones para que se genere una fuerza lateral excesiva.

\* El sobreancho de la vía será disminuido gradualmente a lo largo de una distancia considerable para no perjudicar las operaciones seguras del vehículo ferroviario, teniendo en cuenta la distancia entre ejes del bogie del material rodante.

### **-PENDIENTES**

La pendiente máxima de la vía en zonas de circulación y zonas de parada (incluyendo zonas de aparcamiento y zonas de acoplamiento y desacoplamiento) será determinada considerando el rendimiento del dispositivo de motriz, dispositivo de frenado velocidad de operación del vehículo y otros factores del material rodante.

La pendiente máxima en las zonas de circulación de trenes se materializará según lo siguiente.

A. 25% en vías de tren tirado por locomotora (limitado a las secciones de línea donde viajan trenes de mercancías). (Incluyendo donde la pendiente equivalente evaluada es 25%).

B. 35% en otras vías que no sean (A).

C. Sin perjuicio a las provisiones (A) y (B), la pendiente máxima de la vía utilizada solamente por trenes de motores de inducción lineal será 60%.

D. Sin perjuicio a las provisiones (A) y (C), la pendiente máxima en desvíos será 25%.

E. La pendiente máxima en zonas de parada será 3%. Sin embargo, podrá ser de 10% en las zonas no utilizadas para aparcamiento o acoplamiento y desacoplamiento, pero solamente si no haya posibilidad de interferencia con la salida o llegada de trenes.

## **2.6.- EVALUACION DE ESTADOS EN VIAS FÉRREAS**

### **2.6.1.- EVALUACION DEL DISEÑO GEOMETRICO**

En el diseño geométrico de una vía férrea y en lo que corresponde a la planta del ferrocarril, se emplean líneas rectas, curvas circulares simples, compuestas y espirales, en tanto que el perfil del eje de la vía está constituido por varias líneas rectas (con diversas pendientes)

unidas por curvas parabólicas. Por otra parte en forma tentativa, se cataloga a las líneas férreas por clase A, B, C,D, en función del tonelaje transportado anualmente.

Esta clasificación permite regular el calibre del riel, señales, cargas límites, gálibos, etc., así como la consecuente presión que este tráfico ejerce sobre el diseño sin que se pretenda detallar específicamente los radios de curvatura, pendientes, etc., los cuales precisan un previo y detallado análisis para cada caso particular.

El diseño geométrico de una vía férrea constituye la parte elemental de un proyecto, ya que en el se contiene la adaptación del terreno natural a la limitación de las características de la maquinaria , de acuerdo a las especificaciones en vigor, para las que juegan un papel importante entre otras, la visibilidad , velocidad, estabilidad, etc.

Se considera deseable que los ferrocarriles de primera clase A, puedan operarse como mínimo a 100 KPH pasajeros y 75 KPH de carga en terrenos planos y suave lomerío, admitiendo velocidades mínimas de 80 y 60 KPH respectivamente , en la montaña. Por lo cual según especificaciones existentes las pendientes deben ser de 0,5% en lomerío y 0,7 en montaña.

La clase A se considera recomendable para las vías con tráfico mayor de cinco millones de toneladas netas anuales de carga.

La ultima clase D , especifica trafico anual mínimo quinientas mil toneladas netas y se le asigna velocidades máximas de 30 KPH carga y 50 KPH pasajeros, admitiendo curvaturas de ocho grados y pendientes máximas entre 2 y 2,5%.

Se considera deseable que la vía férrea para cualquier proyecto use el mayor porcentaje de líneas rectas ligadas con curvas del mayor radio; que las pendientes sean lo menor posible y aplicadas en tramos de gran longitud, que el subir y bajar deba limitarse a lo indispensable entre dos puntos obligados, que la suma de las deflexiones del trazo deba reducirse al mínimo , así mismo, las espirales deben servir para la transición del riel sobre-elevado, que permita contrarrestar a la fuerza centrífuga, aprovechando al máximo el peso propio del tren.

Para la evaluación del diseño geométrico del presente informe se trabajara con cartas topográficas que nos muestren el recorrido del ferrocarril hasta la primera sub estación de el Palmar.

**-VÍA****CLASIFICACIONES**

De acuerdo a las velocidades máximas admisibles y teniendo en consideración el tipo de trenes, desde el punto de vista de la seguridad, las vías se clasifican según las velocidades de operación para pasajeros y carga ,y también según el peso por eje en toneladas que estas cargan:

Tabla 3. Clasificación de la vía férrea.

<b>Vías que reúnen todos los requisitos establecidos en esta norma</b>	<b>Velocidad máxima admisible de operación para trenes de carga (Km/h)</b>	<b>Velocidad máxima admisible de operación para trenes de pasajeros (Km/h)</b>
Clase A	20	30
Clase B	40	50
Clase C	65	100

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 4. Clase de vía.

<b>Clase de vía por velocidad</b>	<b>Velocidad Máxima Tren de Carga o Mixto [Km/h]</b>	<b>Velocidad Máxima Tren de Pasajeros [Km/h]</b>
1	15	20
2	30	40
3	40	50
4	50	60
5	60	70
6	70	70

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

Tabla 5. Clase de vía según peso por eje.

<b>Clase de vía según peso por eje</b>	<b>Peso por Eje [Ton]</b>
A	Menor o igual a 15
B	Mayor que 15 y hasta 18
C	Mayor que 18 y hasta 20
D	Mayor que 20

FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03

-Esta parte establece los requisitos para la trocha, alineación y nivelación de la vía y para el peralte de los rieles exteriores y de las velocidades máximas en vías de curva.

#### - Trocha

- a) La trocha es medida entre las cabezas de los rieles, en ángulo recto al riel, en un plano ubicado a dieciséis (16) milímetros desde la parte superior de la cabeza del riel.
- b) La trocha debe estar dentro de los límites establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 6. Ancho de trocha.

Clase Vía	La trocha debe ser a lo menos de (mm)	La trocha no debe ser mayor de (mm)
A	991	1.034
B	991	1.029
C	991	1.029

Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz

Tabla 7. Trocha según radio de curva.

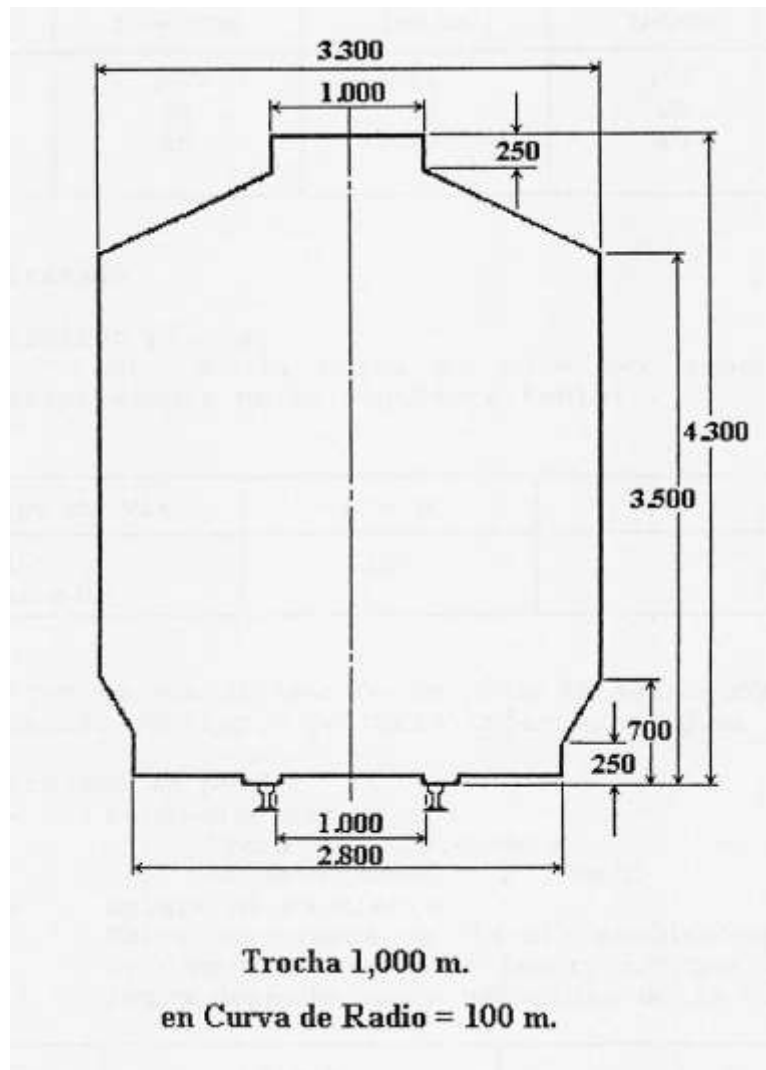
Radio de Curva [m]	Trocha Nominal o Patrón [mm]
Rectas y curvas con $R > 601$	1000
251 a 600	1010
171 a 250	1015
131 a 170	1020
101 a 130	1025
091 a 100	1030
076 a 090	1035

FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03

#### - Alineación

La alineación no puede desviarse más de los límites establecidos en la siguiente tabla con respecto a la flecha medida en el punto medio de una cuerda de largo “L” m.

Figura 17. GÁLIBO MÍNIMO (dimensiones en mm).



*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 8. Desviaciones en mm.

Clase de vía	Desviaciones mm			
	Vía en recta		Vía en curva	
	L = 20m	L = 10m	L = 20m	L = 10m
A	100	25	100	25
B	60	15	60	15
C	45	11	45	11

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

### - Trazado

a) Trazado planta.- El radio de la curva no debe ser menor que establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 9. Radio de curvatura.

Clase de vía	A -B	C
Radio limite en m	180	30

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Es necesario prever una alineación recta de 15 metros como mínimo entre dos curvas en sentido contrario de radio inferior o igual a 300 metros.

b) Trazado en perfil

— Pendiente máxima en:

Plena vía 25,0 mm/m

En estaciones 2,5 mm/m

— Enlace de pendiente

— Entre dos tramos de vía con pendientes diferentes en más de 6 mm/m es necesario incorporar una curva vertical cuyo radio depende de la velocidad de la vía.

Tabla 10. Trazado en perfil.

Clase de vía	A -B	C
Radio de enlace m	-	5000
Variación de la pendiente (mm/m)	-	20

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

### - Curvas, peraltes y velocidades máximas

a) El riel exterior en una curva no puede ser más bajo que el riel interior o tener mas de cien milímetros de peralte.

b) La velocidad máxima admisible de operación en una curva está determinada por la siguiente expresión

$$V_{max} = \sqrt{\frac{h_o + 43}{8,4}} * R$$

Dónde:

$V_{max}$ : Velocidad máxima admisible de operación (en kilómetros por hora)

$h_o$  : Peralte del riel exterior (en milímetros)

$R$  : Radio de la curva (en metros)

c) Si la curva esta peraltada, todo el desarrollo de la curva debe cumplir los requisitos de peralte, a menos que las condiciones físicas no lo permitan. Si existe curva de enlace, se debe usar el mínimo peralte existente para el cálculo de la velocidad máxima admisible de operación de la curva.

d) La rampa de peralte debe variar a una tasa uniforme, manteniéndose dentro de los límites de nivelación establecidos y debe desarrollarse en al menos la longitud completa de la curva de enlace.

e) Exceso de peralte.- El exceso de peralte es la diferencia entre el peralte de la curva y el peralte de equilibrio (fuerza centrífuga nula) . Su valor no puede sobrepasar 110 mm.

-Curva vertical

Se medirá las curvas verticales del respectivo plano topográfico del tramo de la vía, y de acuerdo a la velocidad de diseño del ferrocarril de obtiene de la tabla las curvaturas verticales adecuadas para la vía.

Tabla 11. Curvatura vertical.

<b>Velocidad [Km/h]</b>	<b>Curvatura Vertical R V [m]</b>
>100	2000 hasta 4000
Entre 61 y 100	1650
Entre 5 y 60	525 en crestas y 300 en valles
< 5	RV=0 y talud 1:250 (deflexión vertical)

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

-Curva horizontal

La curvatura horizontal puede ser definida en términos del radio de la curva  $R$ , o la curvatura  $1/R$  en términos del ángulo (en grados) subtendido en el desarrollo de una curva de 100 pies (30,48 m.) de longitud.

La relación entre el ángulo y  $R$  es:

$$R = 30,48 \left( \frac{180}{\alpha\pi} \right)$$

Los límites nominales recomendados en este ferrocarril para curvas horizontales son:

- o Radio mínimo en líneas principales 100 metros
- o Radio mínimo en líneas de patio y acopio: 80 metros
- o Radio mínimo recomendado de diseño para línea principal: 180 metros
- o Radio mínimo recomendado de diseño para ramales: 120 metros
- o Radio mínimo en triángulos de inversión y curvas de reversa: 80 metros

Limitaciones adicionales se pueden introducir de acuerdo a las indicaciones del área técnica responsable de la vía.

La combinación de curvatura horizontal y peralte o supe relevación invariablemente implica una restricción en la velocidad máxima sobre una curva. La relación entre el radio de curva, el peralte y la velocidad está dada en el punto d) siguiente.

Las curvas de la vía en estudio ya mencionadas en el cuadro 3.2.2 cumplen con la norma ya que su radio horizontal mínimo es de 500 m siendo el normativo 100 m para vías principales.

Se medirá las curvas horizontales de los respectivos planos topográficos.

-Peralte

La vía en curvas se debe construir con peralte (riel externo más alto que el interno) para contrarrestar los efectos de la aceleración centrífuga. No obstante ello, el peralte debe moverse dentro de rangos apropiados de modo de no ser excesivo ni tampoco ser insuficiente. Existen abundantes estudios para determinar los peraltes más adecuados en relación a las velocidades más frecuentes de circulación según la curvatura y teniendo en cuenta la seguridad por las aceleraciones no compensadas.

La expresión para determinar el peralte necesario para una cierta velocidad dada es la siguiente:

$$h = \frac{a * v^2}{g * R}$$

Donde

h = Peralte

a = Distancia entre ejes de los rieles

v = Velocidad

g = Aceleración de gravedad

R = Radio de la curva

De modo simple, la ecuación considerada se puede aplicar a la trocha nominal de este ferrocarril, considerando los anchos típicos de cabeza de riel que van entre 58,74 y 61,45 [mm], y el sobre ancho en curvas que llega hasta 45 [mm]

Donde

$$h = c * \frac{v^2}{R}$$

El peralte será medido de los planos topográficos, de cada curvatura se sacara su valor y este será comparado con el peralte teórico obtenido de las anteriores formulas.

#### - Nivelación de la vía

El responsable a las cuales es aplicable esta norma, debe mantener la nivelación de la vía dentro de los límites establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 12. Nivelación de la vía.

concepto	Clase de vía		
	A	B	C
La desviación del peralte en una curva de enlace respecto al diseño no puede ser menor que (mm)	15	14	11
La variación del nivel transversal entre dos secciones separada a 10 metros de distancia en una curva de enlace, no puede ser mayor que en (mm)	45	41	30
La desviación respecto de un nivel transversal cero en cualquier punto de una vía en recta o respecto al peralte de diseño en el tramo circular no puede mayor que (mm)	23	21	17
La diferencia en el transversal entre dos puntos, distancias a menos de 10 mts, en vías en recta y en curvas circulares, no Puede ser mayor que (mm)	23	21	17

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

#### - Defectos geométricos de la vía

##### a) Perfil longitudinal

Se analizara en los planos topográficos los defectos del perfil esperando los resultados de la siguiente tabla de acuerdo a la clase de vía que se tenga.

Tabla 13. Defecto de perfil longitudinal.

Concepto	Clase de vía		
	A	B	C
Defecto máximo del perfil longitudinal en mm, medido sobre una base de 10 mts.	15	13	12

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

b) Alabeo medido sobre la base de 3 metros de vía. Valor máximo que no se puede sobrepasar

Tabla 14. Alabeo.

Concepto	Clase de la vía		
	A	B	C
Defecto máximo del alabeo en mm	20	18	1

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

### **2.6.2.-EVALUACION DEL BALASTO**

El balasto es el material pétreo seleccionado que se coloca sobre el sub-balasto, bajo de las durmientes y entre ellos, cuya función es dar firmeza a la vía y distribuir las cargas que se transmiten al sub balasto y a la terracería, además de asegurar el drenaje del agua pluvial.

Sobre las terracerías terminadas se coloca el balasto (incluyendo el sub-balasto), de acuerdo con el espesor que el ferrocarril señale como mínimo, deberá ser de 12” como mínimo bajo el durmiente. Se ha empleado y se emplean diversos materiales como balasto. La selección depende de los materiales que se tengan a la mano, así como de su precio. Una lista como balasto ordenada de acuerdo con las opiniones de varios técnicos ferrocarrileros, respecto a los méritos del material para balasto, es la siguiente:

- 1.- Piedra triturada
- 2.- Granito desintegrado
- 3.- Escoria triturada
- 4.- Grava lavada
- 5.- Grava cribada
- 6.- Grava del río
- 7.- Grava de mina
- 8.- Cenizas

9.- Residuos de la trituración de piedras

10.- Arena

11.- Grava cementada

12.- Escoria granulada

El espesor necesario para una vía de primera clase, a fin de que pueda resistir satisfactoriamente las pesadas cargas a que será sometido, es fuerte y por lo tanto, si se emplea cualquiera de las mejores calidades de material para formar todo el espesor en toda la sección de balasto, resulta caro. Debido a ello es recomendable usar alguna de las clases de balasto más barato, tales como grava de mina, arenas o cenizas, para cubrir la cama de la vía en toda su anchura formando la mitad del espesor requerido. Hay que tener presente que si se emplea balasto grueso solo se cubren las terracerías, si esta se encuentra húmeda o formada por algún material difícil de drenar, el lodo o barro tiende a ascender por los vacíos dejados por el balasto grueso.

Esto se puede evitar colocando una capa de sub-balasto relativamente delgada bien seleccionado sobre las terracerías.

Una capa de 25 a 30 cm de espesor de cenizas u otro material similar, es un preventivo casi seguro.

El material que llena los requisitos de un balasto ideal es la piedra triturada. La piedra para balasto debe ser triturada en fragmentos angulosos bastante uniformes que pasen por la malla 2 ¾” y se retengan en la de ¾” .

El balasto preparado debe satisfacer los siguientes requisitos, además de los granulométricos.:

No debe contener mas de 5% de elementos friables y blandos.

No debe contener mas del 0,5% de terrones de arcilla.

La mayor parte de las redes europeas emplean de 40 a 60 cm de espesor total del balasto , las nacionales alrededor de 50 cm.

a) A menos que la estructura soportante este diseñado en forma especial, toda la vía férrea deberá estar soportada por material que:

— Transmita y distribuya las cargas de la vía y el equipo rodante la subrasante. - Sostenga la vía lateral, longitudinal y verticalmente bajo las cargas dinámicas causadas por el equipo rodante y por las sollicitaciones producidas en los rieles debido a variaciones de

temperatura; — Provea un drenaje adecuado a la vía; y - Mantenga las propiedades de nivelación y alineación de la vía.

b) Características mínimas

El balasto debe ser homogéneo, limpio y con una granulometría conveniente. Los valores mínimos correspondientes a las pruebas DEVAL(dureza) y LOS ANGELES (desgaste) deben ser:

Tabla 15. Ensayos según clase de vía .

	Clase de la vía
Concepto	A –B-C
Dureza deval	>12
Desgaste de los angeles	~ 25%

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

La granulometría del balasto que se utilice tendrá dimensiones: máximas de 50 mm y mínima de 19 mm; tipo de malla cuadrada 19/50.

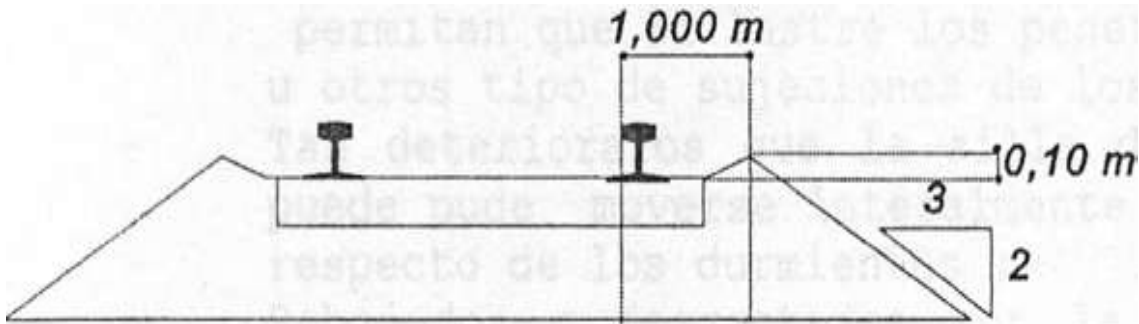
c) Perfil balasto

El espesor de balasto bajo la cara inferior de los durmientes de madera, metálico o de hormigón no debe ser inferior a 10 cm.

El balasto tiene un papel esencial en el soporte lateral y longitudinal de la vía, el perfil del lastre será reforzado en las zonas cuya sollicitación lateral o longitudinal transmitida por el conjunto solidario de los rieles y los durmientes sea mayor, en los casos siguientes: -- Curva cuyo radio es inferior a 1000 m (riel soldado continuo o vía eclisada) - Los últimos 100 m. de un tramo de riel soldado continuo (RSC) — 50 m . a ambos lados del punto de unión de dos tramos de riel soldado continuo con los rieles o durmientes diferentes. — 50 m. a ambos lados de los puentes metálicos que soporten un riel soldado continuo. — A todo lo largo de los puentes que soporten un riel soldado continuo con lastre y 50 m. a ambos lados de ellos. - 50 m. a ambos lados de los túneles con riel soldado continuo. - 50 m. a ambos lados de los aparatos de vía incorporados al riel soldado continuo. — Cada vez que existe un riesgo temporal de inestabilidad del riel soldado continuo o no soldado.

El perfil del balasto reforzado será el que se representa en la siguiente figura:

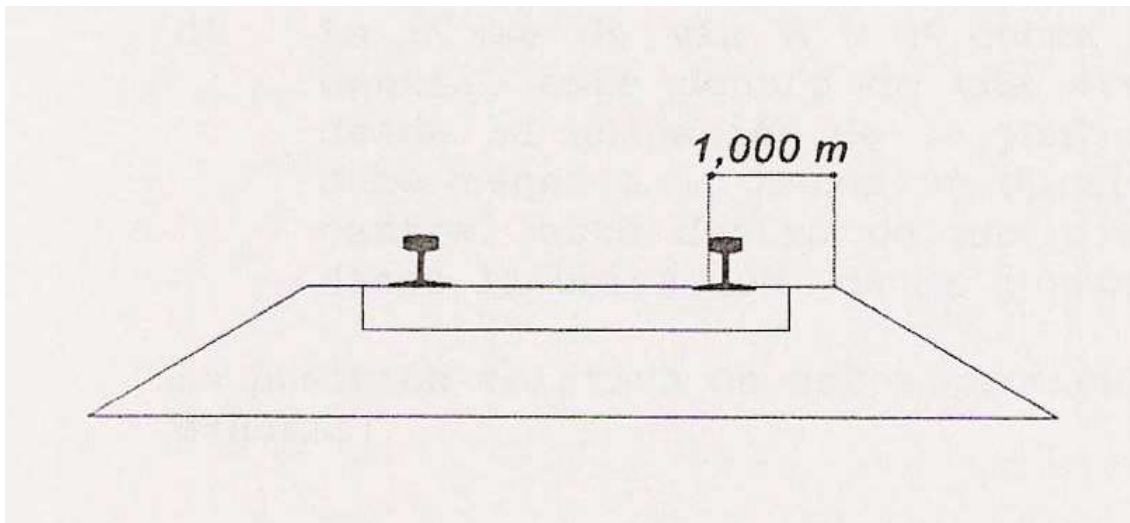
Figura 18. Perfil de balasto reforzado.



*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

En todos los otros casos, el perfil del balasto será el siguiente:

Figura 19. Perfil normal del balasto.



*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

-Caso de lastre común o suelo

1) Circulación con Equipo mayoritariamente de 15 Ton/Eje.

Ya que nuestra vía en estudio no cuenta con lastre chancado, se lo analizará como un caso de lastre común o suelo debiendo cumplir con ciertos valores de C.B.R. Para esto se analizará en el tramo Yacuiba –El Palmar el suelo cada medio kilómetro haciendo ensayos de granulometría y límites para la clasificación del suelo, luego de acuerdo al número de distintos suelos que se obtenga se agrupará y se realizará compactación para así realizar los ensayos de C.B.R. y verificar si la vía en estudio cumple o no con lo requerido.

Tabla 16. Balasto para circulación para equipos de 15 ton/eje.

Clase de Vía	Velocidad Máxima [Km/h]	Capacidad Soporte Mínima Lastre C.B.R. [%]
1	15	30
2	30	35
3	40	40
4	50	45
5	60	50
6	70	60

FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03

### **2.6.2.1.-EVALUACION DEL SUB- BALASTO**

El sub-balasto es la capa de material seleccionado que se construye sobre las terracerías terminadas, resistente a la penetración del balasto y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma, que no se produzcan deformaciones perjudiciales en estas. El espesor del sub-balasto no deberá ser menor a 30 cm.

Para dar por terminada la construcción del sub-balasto, se verificara el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado de acuerdo con las siguientes tolerancias:

- a) Ancho de la sección , del eje a la orilla .....+10 cm
- b) Profundidad de las depresiones.....+2 cm

### **-MATERIALES**

Los materiales que se emplean en el sub-balasto son:

#### 1.-Materiales que no requieren tratamiento

Son aquellos poco o nada cohesivos: como limos, arenas y gravas, que al ser extraídos quedan sueltos y que no contienen más de 5% de partículas mayores a 3" (76mm).

#### 2.-Materiales que requieren ser disgregados

Son los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados y rocas muy alteradas que al ser extraídas resultan como terrones que pueden disgregarse por la acción del equipo de disgregación y que una vez disgregados no contienen mas del 5% de partículas mayores a 3" (76mm).

### 3.-Materiales que requieren ser cribados

Son poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al ser extraídos quedan sueltos y contienen entre 5% y 25 % de materiales mayores a 3" (76mm), por lo que requieren ser cribados por una malla para eliminar el material mayor de 3" (76mm).

### 4.-Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados

Son poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al ser extraídos quedan sueltos y contienen entre 25% y 75% de partículas mayores a 3"(76mm) y deben ser triturados y cribados por la malla de 3"(76mm).

5.-Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados a través a través de la malla de 3"(76mm) son:

- a) Piedras extraídas de mantos de roca.
- b) Piedras de pepena.
- c) Piedras sueltas de depósitos naturales o de desperdicios.

## **2.6.3.- EVALUACION DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO**

### **-DURMIENTES**

- a) Los durmientes deben ser de un material aceptado por la Autoridad Reguladora.
- b) Cada collera de doce (12) metros de la vía debe tener:
  - Un número suficiente de durmientes, los cuales en combinación proveerán un soporte efectivo tal que:
    - i) Mantengan la trocha dentro de los límites establecidos en las normas.
    - ii) Mantengan la nivelación dentro de los límites establecidos en normas.
    - iii) Mantengan la alineación dentro de los límites establecidos en las normas.
- c) Número mínimo y tipo de durmientes necesarios para soportar todo el segmento;
  - Al menos un (1) durmiente del tipo especificado inmediatamente más abajo c), que este ubicado donde se localiza la juntura como se especifica en el sub párrafo d) de esta sección.
  - Cada tramo de 12 (doce) metros vía Clase A debe tener a lo menos 6 durmientes; vía Clase B, 10 (diez) Durmientes; vía clase C, 13 (trece) durmientes los cuales no deben estar:
    - Quebrados de un lado otro;
    - Rajados o de otro modo dañados a tal grado que los durmientes permitan que el lastre los penetre, o no retengan los clavos u otro tipo de sujeciones de los rieles;

- Tan deteriorados que la silla de asiento o zapata del riel puede moverse lateralmente más de trece (13) milímetros respecto de los durmientes;

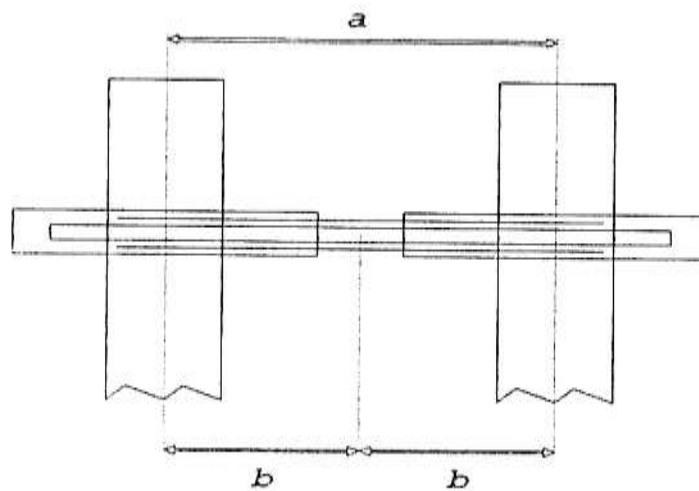
- Rebajados o desgastados por la penetración de la silla de asiento o en más de un cuarenta por ciento (40%) del espesor de la silla.

- No se aceptan durmientes consecutivos en las condiciones especificadas más arriba en un número mayor de tres (3) en rectas y de dos (2) en curvas.

d) La clase de vía A y B deben tener un durmiente cuyo eje central esté dentro de una distancia "X" de 280 milímetros desde la ubicación de la junta del riel; y la vía clase C debe tener a lo menos un durmiente en buen estado cuyo eje central esté dentro de una distancia "Y" de 230 milímetros desde la ubicación de la junta del riel.

La posición relativa de estos durmientes se muestra en el siguiente esquema:

Figura 20. Posición de durmientes.



*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

e) Además para la evaluación de durmientes se tomará en cuenta las siguientes características:

**Tipo de madera:**

La madera que se usa para la fabricación normalmente de durmientes es el quebracho blanco, se puede recurrir también a otras maderas pero estas deben ser consideradas maderas dura para evitar la flexión, y que esta sea durable,

**Dimensión de durmientes:**

Las distintas Administraciones ferroviarias podrán utilizar durmientes de otras dimensiones de acuerdo al cálculo y proyecto de la estructura de vía.

Tabla 17. Dimensiones y tolerancias para trocha angosta (métrica y similares).

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS (Medidas en cms.)									
Categoría	Tipo de durmiente	Altura	Tolerancia	Ancho	Tolerancia	Longitud	Tolerancia		
Unica	Común	12	± 1	24	± 2	180	+ 10		
		12		24		200	-5		
		16		22		200			
		17		24		230			
	Cambio	12	± 1	24	± 2	225	+ 10		
		16				245			
		17				270			
		300				-5			
		325							
		350							
	Puente	15	± 0,5	20	± 0,5	180			
		15				200			
		15				250			
		15				270			
		15				180			
		15				200			
		15				250		± 5	
		15				270		± 5	
		17				20		230	

		17		25		230	
		20	± 0,5	20	± 0,5	180	± 5
		20	± 0,5	20	± 0,5	200	
		20	± 0,5	20	± 0,5	250	
		20	± 0,5	20	± 0,5	270	
		20	± 0,5	25	± 0,5	180	
		20	± 0,5	25	± 0,5	200	
		20	± 0,5	25	± 0,5	250	
		20	± 0,5	25	± 0,5	270	

Fuente: Norma para el suministro de durmientes de madera para impregnar. ALAF 5-037.

### Requisitos especiales:

#### Rajaduras.-

No se admitirán de longitud mayor a 15 cm y no deberán ser provenientes de una acebolladura. Podrán aplicarse conectores anti-rajado a pedido o no del cliente para prevenir o reparar rajaduras en los extremos de los durmientes.

#### Atabacado.-

Se admitirá en forma limitada según se indica en la tabla 18.

Tabla 18 – Niveles de atabacado admisibles por categoría.

Restricciones a Cumplir	No se admite en ambas caras simultáneamente.
	No se admite en la cara superior en la zona del asiento del riel.
	El atabacado no puede tener una profundidad mayor de 3 cms. ni se admitirá atabacado con un ancho mayor a 5 cms.
	No se admitirá atabacado medular con un ancho mayor de 5 cms. por 3 cms. de profundidad

*Fuente: norma para el suministro de durmientes de madera para impregnar. ALAF 5-037.*

*Agujeros.-*

No se admitirán en la zona de asiento del riel .Se admitirá fuera de dicha zona, siempre que su diámetro y profundidad sean como máximo de 5 cm y 3 cm, respectivamente.

*Taladro.-*

No se admitirá en la zona de asiento del riel. Fuera de esa zona se admitirá siempre que no superen los 20 agujeros por metro lineal.

*Acebolladura.-*

Se admitirá aunque contenga la medula siempre que no produzca una grieta en alguna de sus caras de longitud mayor a 20 cm .

*Abarquillado.-*

No se admitirá

*Combado.-*

No se admitirá .

*Curvatura lateral.-*

Las flechas máximas admisibles en curvatura simple y doble, se especifican en las tablas siguientes.

Tabla 19. Flechas máximas admisibles para trocha métrica.

:Curvatura Simple	Curvatura Doble
7 cms.	3 cms.

*Fuente: norma para el suministro de durmientes de madera para impregnar. ALAF 5-037.*

Tabla 20. Flechas máximas admisibles para trocha estándar.

:Curvatura Simple	Curvatura Doble

10 cms.	4 cms.
---------	--------

Fuente: norma para el suministro de durmientes de madera para impregnar. ALAF 5-037.

Tabla 21. Flechas máximas admisibles para trocha ancha.

Curvatura Simple	Curvatura Doble
10 cms.	4 cms.

Fuente: norma para el suministro de durmientes de madera para impregnar. ALAF 5-037.

*Revirado.*- No se admitirá

*Acañonado.*-Se admitirá acañonado siempre que su profundidad no superes los 5 cms.

En caso de presentar acañonado en ambas cabezas la suma de las profundidades no superara los 5 cms.

*Grietas.*-No se admitirán grietas que lleguen a la medula.

Se admitirán otros tipos de grietas en forma limitada, mientras estas no afecten la zona de asiento del riel. Se admitirá en forma aislada si su longitud es menor de 15 cm y su profundidad menor a 4 cms.

*Nudos.*-Se admitirán nudos firmes y sanos siempre que estén fuera de la zona de asiento del riel y su diámetro mayor no exceda de 3 cms.

El mismo criterio se aplicara para agujeros de nudos si están rodeados de madera firme y sana. No se admitirán nudos agrupados que a juicio del receptor puedan afectar la resistencia de la pieza.

*Sección transversal.*-

Se toleraran secciones de forma trapezoidal siempre y cuando las dimensiones estén dentro del rango admitido.

- Los durmientes suministrados no deberán contener corteza e insectos vivos, si en la etapa de inspección se detectara indicios aun en una cantidad insignificante, los durmientes serán rechazados.

-Las anteriores características a analizar se evaluarán en colleras de 12m. Ya que la vía en estudio cuenta con 17 km se analizará 120 m de cada kilómetro, es decir 10 tramos de durmientes en cada kilómetro las cuales deberán tener los siguientes porcentajes de durmientes buenas como mínimo.

Tabla 22. Porcentaje de durmientes buenas para collera de 12m.

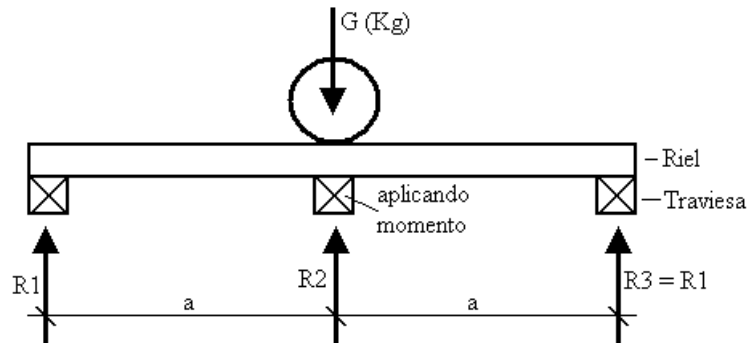
Clase de Vía	Velocidad Máxima [Km/h]	Cantidad Mínima de Durmientes Buenos [%]
1	15	30
2	30	40
3	40	50
4	50	50
5	60	60
6	70	70

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

- Así también se comprobará si la sección de las durmientes es lo suficientemente resistente para el peso en tonelaje que se transporta en esta vía férrea. Para esto se utilizarán las mundialmente conocidas y utilizadas también por el congreso mundial del Cairo de vías férreas, comprobando la sección a flexión y a corte, y finalmente calculando el número de durmientes necesarios para la collera de 12 metros.

Usaremos las siguientes formulas:

**Método de los tres momentos (Clapeyron):** Se asume que la carga esta soportada por tres cargas



**Adoptando escuadría XxY verificamos al corte y a la flexión:**

**A la flexión:**

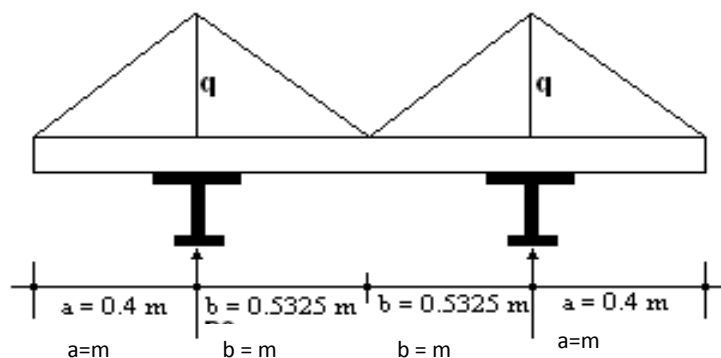
$$R_1 = R_3 = R_x = \frac{3 * G * E * I}{a^3 * c + 9 * E * I}$$

$R_1$  = Reacción que queremos encontrar.

$$M_2 = R_1 * a \quad W = \frac{I}{x} \quad \sigma_f = \frac{M_2}{W} < \sigma_{trabajo}$$

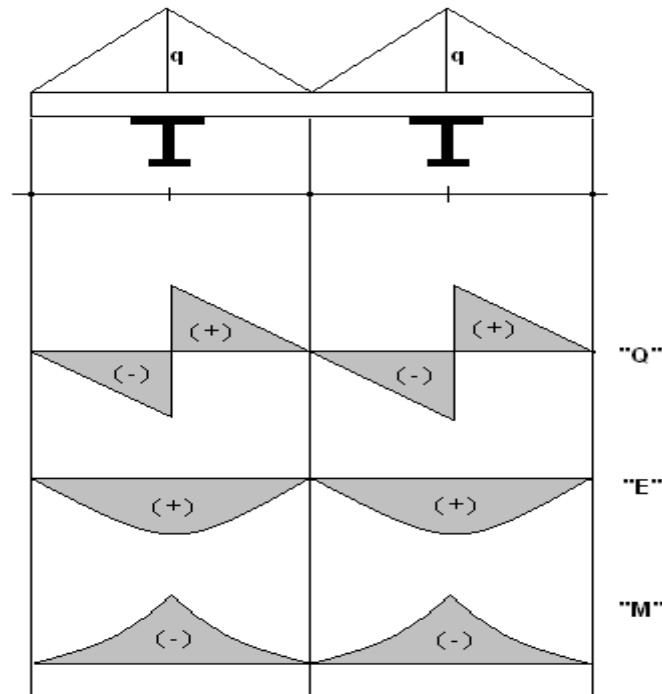
$\sigma_{\max adm} = 150 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible a la flexión)

$\tau_{\max adm} = 30 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible al corte)



$$\frac{1}{2} (a + b) * q + \frac{1}{2} (a + b) * q = 2 * R$$

$$q = \frac{2 * R_2}{0.92}$$



**Al Corte:**

$$Q_{\max} = R_2 - \frac{q * u}{2} = 1670.55 \text{ Kg}$$

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{Q_{\max}}{b * h}$$

### **-RIELES**

Para el estudio de rieles del presente proyecto se estudiara diez colleras de 12 metros de cada kilómetro, primeramente se estudiara los siguientes defectos de los rieles, desajustes juntas y demás componentes de los rieles. Según el reglamento de vías férreas Arica-La Paz, además de normas adicionales solo para evaluación de rieles.

- **DEFECTOS DE LOS RIELES**

a) Si el riel de sus vías contiene cualquiera de los defectos listados en la tabla que se presenta a continuación, debe tomar las medidas del caso, se debe determinar si la Vía

puede o no continuar en uso. Si éste determina que la vía puede continuar en uso, la operación sobre el riel defectuoso no puede permitirse hasta que:

- i) Sea reemplazado el riel; o
- ii) Se inicia la acción correctiva prescrita en las tablas siguientes:

Tabla 23. Defecto de los rieles.

Defectos	Porcentaje del área transversal de la cabeza del riel debilitada		si el defectuoso no se
Defectos	Longitud del defecto en (mm)		Sea reemplazado el riel, o se inicie la acción correctiva prescrita en la tabla
	Menor que	Mayor que	
Grieta horizontal en la cabeza		50	8 y 6
	50	101	9 y 7
	101		2
	(*)	(*)	1
Grieta vertical en al cabeza	Por el defecto		reemplaza se debe realizar la acción correctiva prescrita en la nota.
	Menor que	Mayor que	
Fisura transversal	20		2
	100	20	2
		100	1
Fisura compuesta	20		2
	100	20	2
		100	1
Fractura superficial encalladura	20		3
	100	20	4

Defecto en la soldadura		100	1 o 5 y 8
Grieta en el alma		12	8 y 6
Fisura vertical longitudinal	12	76	9 y 7
Separación cabeza riel	76		2
	*	*	1
Grieta próxima al agujero del perno		12	8 y 6
	12	38	9 y 7
	38		2
	*	*	1
Zapata quebrada		152	5
	152		1 o 5 y 9
Quebradura ordinaria			1 o 5
Riel dañado			3

(\*) desprendimiento de la cabeza del riel

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

#### NOTAS:

- (1) Asigna a una persona, para supervisar visualmente cada operación sobre el riel defectuoso.
- (2) Limitar la operación bajo autorización de una persona designada, al cual tiene al menos cinco(S) años de experiencia en las supervisión de conservaciones en líneas férreas.
- (3) Colocar eclisas apernadas sólo en los agujeros exteriores dentro de los veinte (20) días después de que se haya determinado que la vía continúe en uso en vías C, limitando la velocidad de operación sobre el riel defectuoso a 30 Kilómetros por hora hasta que se completa la dotación de pernos del eclisaje.
- (4) Colocar eclisas apernadas sólo en los agujeros exteriores dentro de los diez (10) días después de que se haya determinado que la vía continúe en uso en la vía Clase O, limitando la velocidad de operación a 20 Kilómetros por hora, previa autorización de una persona la cual tiene al menos cinco (5) años de experiencia en la supervisión de la conservación de líneas férreas, hasta que se complete la dotación de pernos del eclisaje.
- (5) Colocar eclisas y pernos.

(6) Inspeccionar el riel noventa (90) días después de que se haya determinado que la vía continúe en uso.

(7) Inspeccionar el riel treinta (30) días después de que se haya determinado que la vía continúe en uso.

(8) Limitar la velocidad de operación sobre el riel defectuoso a la velocidad de 20 kilómetros por hora.

(9) Limitar la velocidad de operación sobre el riel defectuoso a 18 Kilómetros por hora.

- **DESAJUSTE DE LOS EXTREMOS DE LOS RIELES.**

Cualquier desajuste de los rieles en las juntas no puede ser mayor que los valores establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 24. Desajuste de los rieles.

CLASE DE	En la superficie de rodado de los rieles mm	En la línea de trocha de los extremos de los rieles mm
A	8	8
B	5	5
C	3	3

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz.*

- **JUNTURAS DE RIELES**

a) Cada junta de riel, mecánica, aislada o combinada, debe ser de diseño y dimensiones al riel en el cual se coloca.

b) Si una eclisa, está agrietada, quebrada, o desgastada permitiendo el movimiento vertical de uno otro riel cuando todos los pernos están apretados, debe ser reemplazada.

c) Si una eclisa está agrietada o quebrada entre agujeros, debe ser reemplazada.

d) En el caso de eclisadas convencionales, cada riel debe estar apernado con al menos un (1) perno en cada junta para las vías Clase A, con al menos tres(3) pernos para las vías de Clase B y O.

e) En el caso de vías soldadas continuas, cada riel debe estar apernado con al menos dos (2) pernos en cada junta.

f) Cada eclisa debe ser mantenida en su posición por el apriete de los pernos rieleros, que permite la unión firme de los extremos de los rieles y el movimiento longitudinal de los rieles en la junta según la dilatación o contracción de los rieles a causa de variaciones de

temperatura. Cuando existan eclisas cuyo diseño no permite el movimiento de los rieles, no se aplicará los requisitos de este punto. Estos casos son considerados como vías de riel soldado continuo y deben satisfacer todos los requisitos para las vías soldadas continuas establecidos en esta norma.

g) Ningún riel o eclisa que haya sido cortada o perforada a soplete puede ser utilizado en las vías Clase C.

h) La separación total mínima admisible de las juntas de los rieles en 100 metros de carril depende de la temperatura de los rieles. Su valor figura en la tabla siguiente:

Temperatura de los rieles C°	< 25	21	17	13	9	5	1
-3							
Separación mínima (en mm, sobre 100 m)	0	5	9	14	19	23	28
32							

i) La separación máxima admisible depende del tipo de riel y de las fijaciones utilizadas.

Las separaciones que implican ruptura deformación de los pernos deben ser disminuidas o regularizadas.

- **Sillas de asiento.**

En las vías donde se usen durmientes de madera, deben existir sillas de asiento bajo los rieles en al menos ocho (8) de cada diez (10) durmientes consecutivos.

- **Sujeción de Rieles**

Cada tramo de doce (12) metros debe tener un número suficiente sujeciones de las cuales, por determinación de un inspector de vía calificado por la autoridad reguladora efectivamente mantengan la trocha dentro de los límites establecidos.

- **Rieles en riel soldado continuo.**

Sólo se pueden soldar en la vía o en la planta, rieles en buen estado, exentos de defectos metalúrgicos o geométricos. Los rieles de reutilización generados para cumplir con las especificaciones precedentes pueden ser soldados con la condición de que pasen por un control ultrasónico previo.

- **Desviadores y Aparatos de Vía**

a) En los desviadores y aparatos de vía las sujeciones deben estar intactas y conservadas de manera tal que mantengan sus componentes en su lugar. Además, cada cambio,

cruzamiento y guardarriel debe ser mantenido libre de obstrucciones que puedan interferir con el paso de las ruedas del equipo rodante.

b) Los canales de cruzamientos y guardarrieles (espacio por donde pasan las pestañas de las ruedas) en los desviadores y aparatos de vía deben ser de a lo menos treinta y ocho (38) milímetros de ancho.

c) Cambios Los rieles guardagujas deben estar seguramente colocados sobre sillas de cambios, pero debe tomarse la precaución de evitar que el riel tome una inclinación respecto a la vertical. Cada aguja del cambio debe ajustarse al riel guardagujas, con el aparato de maniobra o máquina de cambio colocada en la posición correspondiente para permitir que las ruedas pasen sobre la aguja. El movimiento lateral y cambio o de éstas sobre los durmientes no debe afectar negativamente el ajuste de la aguja al riel guardagujas. Cada aguja debe ser mantenida de manera tal que el borde exterior de la llanta de la rueda no entre en contacto con el costado lateral de los rieles guardagujas. El talón de las agujas del cambio debe estar seguro y los pernos del talón deben mantenerse apretados.

Cada aparato de maniobra y barras de accionamiento del cambio debe tener sus uniones apretadas y operables sin juego excesivo. Cada barra de accionamiento y tirante del cambio deben mantenerse de manera tal que no pueda ser operada con el cerrojo colocado. Cada indicador de la posición del cambio debe estar claramente visible todo el tiempo. Las agujas desgastadas o astilladas más allá de lo admisible, deben ser reparadas o reemplazadas. Las rebabas deben ser eliminadas para asegurar el cierre y ajuste adecuado de la aguja.

d) Cruzamiento de rieles ensamblados La profundidad de los canales, medido desde el plano de rodado del cruzamiento, en vías de Clase A no puede ser menor que cuarenta y dos (42) milímetros, o menor que cuarenta y cinco (45) milímetros en las vías de clase B y C. Si la punta efectiva de un cruzamiento está astillada, quebrada o desgastada en más de dieciséis (16) milímetros hacia abajo del plano de rodado y en más de ciento cincuenta (150) milímetros atrás, la velocidad de operación sobre el cruzamiento no puede ser mayor que veinte (20) kilómetros por hora. Si la superficie de rodado de un cruzamiento fundido está desgastada hacia abajo en más de nueve (9) milímetros del contorno original, la velocidad de operación sobre el cruzamiento no puede ser mayor que 20 km/h.

f) Trocha de Guardarriel y Trocha de Guardapuntas en un Cruzamiento.

La trocha de guardarriel y de guardapuntas en un cruce deben estar dentro de los límites que se indican a continuación:

— La trocha de guardarriel, es decir, la distancia entre las líneas de guardarriel del cruce y del guardarriel, medida perpendicularmente a la vía, no puede ser menor que novecientos once (911) milímetros. — La trocha de guardapuntas, es decir, la distancia entre la línea de trocha de un cruce y la línea de guardarriel, medida perpendicularmente a la vía, no puede ser mayor que novecientos cincuenta y ocho (958) milímetros.

### **-OTROS DISPOSITIVOS DE VÍA**

- Agujas Desrieladoras

Cada aguja desrieladora debe estar claramente visible. Cuando una posición de la aguja desrieladora está con el cerrojo colocado, debe estar libre de cualquier juego excesivo que permita operarla sin remover la cerradura.

- Guardarrieles de puentes

a) El objetivo de estos guardarrieles es trabar las ruedas de los equipos que se desrielen para reducir daños mayores a las estructuras de los puentes y equipos. Están fijados en el interior de la vía. El espacio libre entre la cabeza del riel de seguridad y el del riel de la vía debe permitir que la rueda descarrilada caiga entre los dos rieles.

b) Los guardarrieles de puentes deben usarse en los siguientes casos:

- vía cuyo eje está situado a menos de 3,50 m de la pila de un puente - puentes metálicos de más de 10 m de longitud - puentes con lastre de más de 50 m de longitud. - en todos los otros casos en que la caída del vagón de un puente pueda tener Consecuencias graves en la seguridad pública.

c) En los puentes se instalarán dos guardarrieles, uno a cada lado de los rieles de la vía a una distancia, entre bordes de zapatas contiguas mínima de 0,12 m y máxima de 0,25 m. La altura de guardarriel puede ser de la misma altura del riel de la vía o ligeramente superior.

d) Los extremos de los guardarrieles de puente deben situarse a 10 m. a ambos lados del puente que se desea proteger y desviados hacia el eje de la vía en los últimos 5 m.

### **-DISEÑO DE RIELES**

Finalmente para la evaluación de rieles se comprobaba si el riel de acuerdo a su peso utilizado es suficiente para soportar las cargas transportadas por el ferrocarril.

Cando se desea diseñar una riel para una vía en proyecto es necesario definir en un principio cual será la carga que tendrá este tramo de vía.

Como para el presente proyecto se utilizara la norma chilena tomaremos también los métodos de diseño de rieles de Chile. Los cuales son:

-según formula del Profesor Shulga

Introduce como factor de dimensionamiento del carril la intensidad de tráfico T, pues es la causante del deterioro normal de las rieles por desgaste.

No considera directamente la influencia de la velocidad y la carga por eje.

$$Q = 31,046 * T^{0,203}$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

T=tráfico anual en millones toneladas brutas

-Según formula modificada del FCAB

Método usado por el departamento de vías y obras del FCAB, hace depender el peso del carril de la carga por eje y la velocidad del tráfico. Los valores obtenidos son los mas adecuados y razonables de acuerdo a la realidad de nuestras vías, siendo influenciados mayormente por el peso por eje que por las velocidades , las cuales son comparativamente bajas en nuestro continente.

$$Q = 10,7093 * (P + 0,0000386 * P * V)^{\frac{2}{3}} * 0,49605206$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

V= Velocidad máxima en km/hrs

-Proposición congreso Ferroviario de El Cairo

Hace depender el peso del riel (Q) solamente de la carga por eje (P), lo cual significa que considera solamente cargas estáticas, no tomando en cuenta el efecto dinámico de aumento de carga por velocidad.

$$Q=2,5*P$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

#### **2.6.4.- EVALUACION DE OBRAS DE ARTE**

##### **-DEFINICIONES**

- Obras de Arte Es toda obra que asegura la continuidad de una vía férrea cuando ésta encuentra un obstáculo natural o artificial, ya sea por

FRANQUEAMIENTO : Puentes, viaductos, Pasos y alcantarillas PERFORAMIENTO : Túneles La obras de defensa fluvial se considerarán igualmente obras de arte.

- Puente Construcción ferroviaria que requiere para su diseño tener en cuenta estudios hidrológicos e hidráulicos. Si no se especifica lo contrario, la palabra puente se refiere tanto a los viaductos como a los pasos.

- Viaducto Construcción ferroviaria que salva un accidente Topográfico.

- Pasos Construcciones ferroviaria que salvan otras vías, sean estas autopistas, carreteras, vías peatonales u otras vías férreas.

- Alcantarilla. Paso inferior para el escurrimiento del agua y de ancho inferior a 4 metros.

- Carga Tipo Es la carga viva que se especifica para el diseño de puentes

-Gálibo Contorno cerrado que limita las dimensiones mínimas del equipo rodante dentro de las cuales no puede existir ningún obstáculo.

-Guardarriel Perfil de acero o riel que se ubica al lado de una vía para evitar que el tren se salga de una determinada franja en caso de descarrilamiento

#### **- CLASIFICACIONES.**

-PUENTE MAYOR O PUENTE Estructura con luz igual o mayor a 10 m. o con varias luces menores, pero que sumadas resulta un largo total igual o mayor a 20 m.

-PUENTE MENOR Estructura que tiene luces de 4 a 10 m. y que sumadas resulta un largo menor a 20 m.

-ALCANTARILLAS Estructura de luces menores a 4 m y que pueden ser de diversos tipos, como marcos cerrados de hormigón armado, tubos de acero corrugado, vigas metálicas apoyadas en estribos de H.A., losas prefabricadas, etc.

#### **- REQUISITOS MINIMOS**

1.- Requisitos comunes a todas las obras de arte - Toda obra de arte será utilizada para la circulación regular de los trenes sin límites de velocidad, en un servicio regular, sin que los elementos que la componen estén sometidos a esfuerzos que sobrepasen los límites permisibles, vibraciones o desgaste de alguna de sus partes que hagan peligrar su seguridad o su servicio.

- Toda obras de arte que lleve pasarelas laterales, éstas deberán estar protegidas con barandas.
- Toda obra de arte con longitud mayor de 50 m., se proveerá de plataforma refugios a 50 m. de distancia a cada lado de la vía, colocados alternadamente. Los refugios distarán uno del otro 25 m. Entre 25 y 50 m. se dispondrá de un refugio aproximadamente en el centro del tramo.
- Está absolutamente prohibido efectuar modificaciones de las obras de arte que no tengan en cuenta lo exigido en las Normas Técnicas de Diseño, Proyecto o Calificación, según sea el caso.

## 2.- Requisitos mínimos para los puentes y alcantarillas

- Los puentes y alcantarillas serán diseñados cumpliendo lo dispuesto en la Norma Técnica vigente “Diseño de Puentes”
- No se permitirá la circulación de trenes por los puentes y alcantarillas sino cumplen las disposiciones de la carga tipo empleada en el diseño de la obra o para la cual ha sido calificada una determinada obra existente según los requisitos exigidos para una calificación normal lo que aparece indicado en la Norma Técnica Vigente “Calificación de Puentes Existentes”
- Si se requiere la circulación no frecuentes de cargas superiores para la cual fue calificado un Puente o Alcantarilla, esta sólo podrá hacerlo si cumple con los requisitos para la calificación máxima que se indica en las citadas Normas donde se establecen además las posibilidades de limitación de velocidad. El operador de transporte deberá solicitar la autorización pertinente para hacer circular cargas superiores a las indicadas.
- No se permitirá la construcción de puentes o alcantarillados o parte de ellos que no cumplan con los requisitos de gálibos que se indica en la Norma Técnica vigente “Diseño de Puentes”
- Se colocarán guardarrieles, constituidos por perfiles de acero o rieles, en los puentes, con longitudes mayores que 25 m., que soportan la vía férrea sobre durmientes de madera colocados directamente sobre las vigas.
- Los durmientes de madera colocados sobre los Puentes metálicos sin balasto, deberán cumplir las exigencias necesarias para su función, de acuerdo a un cálculo correspondiente

y al tipo de madera a emplear. En cualquier caso la madera deberá estar debidamente protegida contra la humedad y la acción de agentes internos a ella.

- En los terraplenes de acceso a los puentes y alcantarillas deberá utilizarse balasto de roca triturada o de grava, en una longitud no menor de 100 m a cada extremo.
- A la entrada de los puentes sin balasto deberá asegurarse el anclaje total de la vía a fin de evitar el desplazamiento longitudinal y lateral de la misma.
- Todas las partes de la superestructura, las superficies visibles de las alcantarillas, al igual que las superficies interiores de las estructuras huecas de los puentes, serán accesibles con seguridad para su inspección y mantenimiento. Para esto es preciso prever registros, escaleras y dispositivos que permitan examinar y trabajar fuera del gálibo.
- En cada extremo del puente o alcantarilla con una altura de terraplén mayor que 5.0 m, se hará una escalera permanente en los taludes.
- Todas las estructuras de los puentes serán conectadas a tierra para evitar posibles riesgos de formación de arcos voltaicos. La conexión se realizará en ambos extremos del puente y deberá tener un valor menor que 25 ohms.
- Se permite la colocación en los puentes nuevos o los ya construidos de las líneas eléctricas de alto voltaje siempre que cumplan con las normas reconocidas por la autoridad reguladora que avalen la seguridad de la obra en su conjunto.
- Se permite la colocación en el puente de tuberías o conductos de vapor o agua caliente abastecimiento de aguas y colectores de agua de lluvia, siempre que se justifiquen adecuadamente.

Ya que en el tramo de estudio solo se encuentran las obras de arte de puentes y alcantarillas solo se adjuntan las especificaciones para estas siendo muy superficiales.

### **2.6.5.- INSPECCIONES**

#### **a).-Inspecciones de las vías**

Esta parte describe los requisitos del modo y la frecuencia de inspección de las vías para detectar desviaciones respecto de los estándares prescritos en esta norma.

- a).- Todas las vías deben ser inspeccionadas por una persona designada según los requisitos prescritos.

b).- Cada inspección de la vía debe ser hecha a pie o en vehículo sobre la vía, a una velocidad que le permita a la persona que hace la inspección, inspeccionar visualmente la estructura de la vía según se indica en esta norma. Sin embargo, pueden ser utilizados instrumentos de inspección, ya sea mecánicos, eléctricos o de otro tipo, para completar la inspección visual.

c).- Cada inspección de la vía debe realizarse según se indica en la siguiente tabla:

Tabla 26. Frecuencia de inspección.

VÍA CLASE	A-B	C
Frecuencia mínima de inspección	1 vez al mes	2 veces al mes

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 27. Inspección de la vía.

Clase de Vía	Frecuencia Mínima de Inspección	Notas
1, 2	1 vez cada 2 meses	(1)
3, 4	1 vez por mes	(2)
5, 6	2 veces por mes	(3)

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

Al menos una inspección de cada tres debe hacerse a pie:

- Si la persona que hace la inspección encuentra alguna desviación respecto de los requisitos de esta norma, inmediatamente debe iniciar la acción correctiva.

d).- Inspecciones de los Cambios y Cruzamientos y aparatos de vía. La frecuencia y modalidad son las mismas que para la inspecciones de la vía a ambos lados de ellos.

e).- Inspecciones de los rieles

- Además de los requisitos de inspección de líneas, se deben examinar los defectos internos de todos los rieles del riel soldado continuo o no soldado: Sin embargo, en caso que existan rieles nuevos, si antes de la instalación o seis (6) meses después de ella, se inspeccionaron ultrasónicamente en toda su longitud y todos los defectos fueron eliminados, el próximo examen continuo de detección de defectos internos no necesita ser realizado antes de tres (3) años a contar de la inspección.

- El equipo de inspección debe ser capaz de detectar los defectos de los extremos de los rieles y en el área encerrada por ellas.
- Cada defecto de riel debe ser destacado con una marca altamente visible en ambos lados del alma y de la zapata.

f).-Inspecciones Especiales.

En casos de incendios, inundaciones, tormentas severas, u otros eventos pueda dañar la estructura de la vía, se debe hacer una inspección especial de la línea involucrada, tan pronto como sea posible, después de la ocurrencia del evento.

Para el análisis de la inspección se entrevistara a los encargados de la vía férrea en estudio y a los pobladores de la zona para verificar si se realizan las debidas inspecciones para la seguridad de la vía.

**CAPITULO III:**  
**EVALUACION DE ESTADO EN LA VIA**  
**FÉRREA YACUIBA-EL PALMAR**

## EVALUACION DE ESTADO EN LA VÍA FÉRREA YACUIBA- EL PALMAR

### 3.1.-EVALUACION DEL DISEÑO GEOMETRICO

#### 3.1.1.-CLASIFICACION DE LA VÍA FÉRREA

##### 1. CLASES DE VÍAS SEGÚN VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

Las velocidades operacionales máximas definidas para cada tipo o clase de vía, son las siguientes:

Tabla 28. Clasificación de la vía férrea.

Vías que reúnen todos los requisitos establecidos en esta norma	Velocidad máxima admisible de operación para trenes de carga (Km/h)	Velocidad máxima admisible de operación para trenes de pasajeros (Km/h)
Clase A	20	30
Clase B	40	50
Clase C	65	100

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 29. Clase de vía.

CLASE DE VÍA Por Velocidad	Velocidad Máxima Tren de Carga o Mixto [Km/h]	Velocidad Máxima Tren de Pasajeros [Km/h]
1	15	20
2	30	40
3	40	50
4	50	60
5	60	70
6	70	70

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

-La vía ferroviaria Yacuiba-El Palmar está clasificada como clase de vía B según la tabla 28 clasificación de la vía férrea según el reglamento de vías férreas ferrocarril Arica-La Paz, cumpliendo con las velocidades de diseño, no sobrepasándolas.

- Según la tabla 29 de la norma de clasificación para vías de trocha 1000mm la clase de vía es 4, operando con regularidad a una velocidad de 30 km/h con carga y 45 km/h con pasajeros, cumpliendo según su clasificación con lo requerido en las velocidades.

## 2.- CLASES DE VÍA SEGÚN PESOS POR EJE ADMISIBLES

De acuerdo a la capacidad estructural de que dispongan los distintos tramos de vía del ferrocarril, éstos se encuadrarán en las siguientes categorías base:

Tabla 30. Clase de vía según peso por eje.

<b>CLASE DE VÍA Según Peso por Eje</b>	<b>Peso por Eje [Ton]</b>
A	Menor o igual a 15
<b>B</b>	<b>Mayor que 15 y hasta 18</b>
C	Mayor que 18 y hasta 20
D	Mayor que 20

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

- El peso admisible estará correlacionado con las velocidades de operación, de tal modo que la clasificación final de la vía tendrá ambas componentes.

La vía en estudio está clasificada según su peso por eje en clase B teniendo un peso de 16 toneladas por eje.

Además la vía es también una vía principal:

*Vías Principales: Son todas aquellas líneas de conexión directa entre estaciones (plena vía), las líneas principales de pasada por estaciones y además las vías segunda, tercera, desvíos de escape y cruzamiento y toda otra vía que se vincule directamente con la operación y seguridad de la vía principal, según la forma de las estaciones típicas. Para otras configuraciones y casos particulares, será determinado en cada caso por el Departamento de Vía y Obras. FUENTE: NORMA DE CLASIFICACIÓN Y SEGURIDAD PARA VÍAS DE TROCHA 1000 MM. ET 03*

### **3.1.2.- TROCHA NOMINAL**

La trocha se define como la distancia horizontal medida entre los lados interiores de los rieles a 16 [mm] bajo la superficie de rodado.

Tabla 31. Ancho de trocha.

Clase Vía	La trocha debe ser a lo menos de (mm)	La trocha no debe ser mayor de (mm)
A	991	1.034
<b>B</b>	<b>991</b>	<b>1.029</b>
C	991	1.029

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

-Ya que la vía es clase B y nuestra trocha es de 1010mm verificamos que la vía está dentro de los parámetros establecidos en el reglamento de vías férreas ferrocarril Arica-La Paz.

La trocha nominal de este ferrocarril es de 1010 [mm], según los radios de curvatura establecidos verificamos si cumple la trocha nominal de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 32. Trocha según radio de curva.

Radio de Curva [m]	Trocha Nominal o Patrón [mm]
Rectas y curvas con $R > 601$	1000
<b>251 a 600</b>	<b>1010</b>
171 a 250	1015
131 a 170	1020
101 a 130	1025
091 a 100	1030
076 a 090	1035

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

La vía en estudio cuenta con las siguientes curvas:

Tabla 33. Progresiva de la vía en estudio.

PROGRESIVA		RADIO MTS	TROCHA MM
INICIAL	FINAL		
0	7+859		

7+859	13+246	500	1010
13+246	13+525		
13+525	15+332	1000	1010
15+332	15+837		
17+837	17+800	1000	1010
17+800	18+269		
18+269	19+013	1000	1010
19+013	20+117		

FUENTE: ELABORACION EMPRESA FERROVIARIA ORIENTAL

Tabla 34. Radios calculados.

PROGRESIVA		RADIO MTS	TROCHA MM
INICIAL	FINAL		
0	3+306		
3+306	3+435	500	1010
3+435	9+504		
9+504	9+816	1000	1010
9+816	12+301		
12+301	12+584	1000	1010
12+584	14+674		
14+674	14+728	1000	1010
14+728	15+964		

FUENTE: ELABORACION PROPIA

La vía cuenta con una trocha de 1010 mm en todo el recorrido teniendo valores de los radios de 500 m y 1000m, cumple en cada una de las curvas.

Se verificó realizando el diseño geométrico comparando nuestras curvas horizontales con las curvas que elaboró la Empresa Ferrovial Oriental

### **3.1.3.- TRAZADO**

a) Curvatura Vertical:

La curvatura vertical se define como el radio de curvatura R V de la vía medido en el plano vertical que conecta dos tramos de vía de diferente gradiente. Los valore nominales para la curvatura vertical son:

Tabla 35. Curvatura vertical.

Velocidad [Km/h]	Curvatura Vertical R V [m]
------------------	----------------------------

>100	2000 hasta 4000
Entre 61 y 100	1650
Entre 5 y 60	500 en crestas y 300 en valles
< 5	RV=0 y talud 1:250 (deflexión vertical)

FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03

Tabla 36. Curvas verticales calculadas.

PROGRESIVA		RADIO MTS	TROCHA MM
INICIAL	FINAL		
0+120	0+410	300	
0+865	1+365	500	1010
1+685	1+925	300	
2+635	3+135	500	1010
3+195	3+695	500	
4+372	4+672	300	1010
5+005	5+705	700	
5+881	6+131	300	1010
6+160	6+713	550	
7+150	7+710	550	1010
7+739	8+039	300	
8+565	8+865	300	1010
8+870	9+170	300	
9+280	9+580	300	1010
10+765	11+265	500	
11+380	11+880	500	1010
12+669	13+169	500	
13+669	14+169	500	1010

FUENTE: ELABORACION EMPRESA FERROVIARIA ORIENTAL

Se calculó mediante el diseño geométrico de la vía las curvas verticales y se tiene como resultado radios verticales de 300 m que están en el rango que debería tener la vía ya que se cuenta con terrenos prácticamente planos.

#### b) Curvatura Horizontal:

La curvatura horizontal puede ser definida en términos del radio de la curva R, o la curvatura 1/R en términos del ángulo (en grados) subtendido en el desarrollo de una curva de 100 pies (30,48 m.) de longitud.

La relación entre el ángulo  $\alpha$  y R es:

$$R = 30,48 \left( \frac{180}{\alpha\pi} \right)$$

Los límites nominales recomendados en este ferrocarril para curvas horizontales son:

**o Radio mínimo en líneas principales 100 metros**

- o Radio mínimo en líneas de patio y acopio: 80 metros
- o Radio mínimo recomendado de diseño para línea principal: 180 metros
- o Radio mínimo recomendado de diseño para ramales: 120 metros
- o Radio mínimo en triángulos de inversión y curvas de reversa: 80 metros

Limitaciones adicionales se pueden introducir de acuerdo a las indicaciones del área técnica responsable de la vía.

La combinación de curvatura horizontal y peralte o supe relevación invariablemente implica una restricción en la velocidad máxima sobre una curva. La relación entre el radio de curva, el peralte y la velocidad está dada en el punto c) siguiente.

-Las curvas de la vía en estudio ya mencionadas en la tabla 33 y 34 cumplen con las limitaciones de la norma ya que su radio horizontal mínimo es de 500 m siendo el normativo 100 m para vías principales.

-Así también según el reglamento de vías férreas ferrocarril Arica-La Paz el radio no debe ser menor a los siguientes valores:

Tabla 37. Radio de curvatura.

Clase de vía	A -B	C
Radio limite en m	180	30

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

La vía cumple con los requisitos de curvatura horizontal teniendo como mínimo un radio de 500m.

c) Peralte (Nivelación Transversal).

La vía en curvas se debe construir con peralte (riel externo más alto que el interno) para contrarrestar los efectos de la aceleración centrífuga. No obstante ello, el peralte debe moverse dentro de rangos apropiados de modo de no ser excesivo ni tampoco ser insuficiente. Existen abundantes estudios para determinar los peraltes más adecuados en

relación a las velocidades más frecuentes de circulación según la curvatura y teniendo en cuenta la seguridad por las aceleraciones no compensadas.

La expresión para determinar el peralte necesario para una cierta velocidad dada es la siguiente:

$$h = \frac{a * v^2}{g * R}$$

Donde

h = Peralte

a = Distancia entre ejes de los rieles

v = Velocidad

g = Aceleración de gravedad

R = Radio de la curva

De modo simple, la ecuación considerada se puede aplicar a la trocha nominal de este ferrocarril, considerando los anchos típicos de cabeza de riel que van entre 58,74 y 61,45 [mm], y el sobre ancho en curvas que llega hasta 45 [mm]

Donde

$$h = c * \frac{v^2}{R}$$

-Así también el peralte no podrá ser mayor a 100mm , y la rampa del peralte debe variar uniformemente durante toda la curvatura de la vía férrea.

Al entrar el tren en la curva por la inercia, trata de sacar al vehículo fuera de la vía lo que provoca un impacto en el carril exterior con las pestañas de las ruedas, a esta fuerza se le denomina fuerza centrífuga y su valor es igual a:

$$I = \frac{mV^2}{R}$$

Donde:

m. – masa del vehículo en Kg

v. – velocidad en m/seg<sup>2</sup>

R. – radio de la curva en m

Como:

$$m = \frac{P}{g}$$

Donde:

P. – peso del equipo en Kg.

g. – aceleración gravitacional en m/seg<sup>2</sup>

$$I = \frac{Pv^2}{gR}$$

Si el carril se colocara en un mismo nivel, la resultante de la fuerza centrífuga y del peso se inclinaría hacia la parte externa de la curva, recargando este carril.

Para equilibrar la influencia de la fuerza centrífuga se eleva el carril exterior y de esta forma como se expresó anteriormente también se equilibran las cargas en ambos carriles. Debido a la inclinación del equipo surge una componente del peso dirigida hacia el interior de la vía denominada fuerza centrípeta, que es igual a:

$$T = \frac{Ph}{S_1}$$

Donde:

P. – peso del equipo en Kg

h. – peralto o elevación del carril exterior sobre el interior en mm

S<sub>1</sub>. – distancia entre ejes de carriles en mm

Igualando I y T podemos hallar el valor de h

$$I = T; \quad \frac{Pv^2}{gR} = \frac{Ph}{S_1}$$

$$h = \frac{S_1 v^2}{gR} = \frac{1500v^2}{9.81R}$$

Convirtiendo la velocidad de m/seg a Kph, tendremos:

$$h = \frac{1500V^2}{9.81(3.6)^2 R} = 11.8 \frac{V^2}{R}$$

Como todos los trenes no tienen las mismas condiciones ni circulan a igual velocidad, se utiliza una velocidad media.

Teniendo los criterios anteriores calculamos los peraltes de las respectivas curvas de la vía.

Así también se muestra la tabla con los peraltes calculados por la Empresa Ferroviaria Oriental.

Los valores de peraltes de la vía en estudio calculados son:

Tabla 38. Peraltes de la vía en estudio.

PROGRESIVA		PERALTE MM	TROCHA
INICIAL	FINAL	PRACTICO	MM
0	239		
239	+821	16	1010
+821	2+718		
2+718	2+988	8	1010
2+988	7+805		
7+805	7+859	8	1010
7+859	13+246		
13+246	13+525	8	1010
13+525	16+332		
16+332	16+837	8	1010
16+837	17+800		

FUENTE: EMPRESA FERROVIARIA ORIENTAL

Tabla 39. Peraltes calculados.

PROGRESIVA		PERALTE	TROCHA
INICIAL	FINAL	MM	MM
0	+494		
+494	+514	37,76	1010
+514	2+691		
2+691	2+871	18,88	1010
2+871	7+761		
7+761	7+958	18,88	1010
7+958	13+219		
13+219	13+436	18,88	1010
13+436	16+333		
16+333	16+575	18,88	1010
16+575	17+671		

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Los peraltes de la vía en estudio son el menores de lo que deberían ser, debido a esto se toma precauciones en curva como ser la reducción de velocidad.

Los peraltes no cumplen con el teórico, aun así cumplen con las restricciones de la norma chilena de no sobrepasar los 100mm de peralte. Debido a que la vía cuenta con más de 50 años este peralte se fue asentando y se debería realizar mantenimientos para este caso.

#### - Defectos geométricos de la vía

##### a) Perfil longitudinal

Se analizó en los planos topográficos los defectos del perfil esperando los resultados de la siguiente tabla de acuerdo a la clase de vía que se tenga.

Tabla 40. Defecto de perfil longitudinal.

Concepto	Clase de vía		
	A	B	C
Defecto máximo del perfil longitudinal en mm, medido sobre una base de 10 mts.	15	13	12

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 41. Medición de Defecto de perfil longitudinal.

Progresiva	Defecto en mm
3+000	3
5+000	4
7+000	6
9+000	4
12+000	7
15+000	4
16+000	9,5
18+000	3
19+000	5

*FUENTE: ELABORACION PROPIA*

Se analizó el perfil longitudinal en los puntos más críticos de la vía, teniendo como resultado un máximo de 10mm del defecto, cumpliendo con lo establecido.

b) Alabeo medido. Valor máximo que no se puede sobrepasar

Tabla 42. Alabeo.

Concepto	Clase de la vía		
	A	B	C
Defecto máximo del alabeo en mm	20	18	1

*Fuente: Reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz*

Tabla 43. Medición de Alabeo.

Progresiva	Defecto en mm
3+000	5
5+000	7
7+000	3
9+000	6
12+000	5
15+000	10
16+000	6
18+000	12
19+000	4

*FUENTE: ELABORACION PROPIA*

Analizando en planos topográficos y en el lugar de la vía, las secciones transversales más críticas cuentan con un alabeo hasta de 12 mm en los lugares más críticos, pero estos lugares son relativamente pocos, siendo una cifra aceptable ya que normalmente no llega el alabeo a los 10 mm.

Figura 21. Medición de alabeo.



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

Figura 22. Medición de alabeo con nivel.



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

### **3.2.-EVALUACION DEL BALASTO**

A menos que la superestructura de la vía sea estructuralmente soportada de otra manera, toda la vía debe estar apoyada en el balasto (sea éste común o chancado), con características suficientes para:

- Transmitir y distribuir la carga de la vía y del equipo rodante hacia la plataforma.
- Sostener la vía confinada lateralmente, longitudinalmente y verticalmente bajo las cargas dinámicas impuestas por el paso del equipo rodante y las tensiones de origen térmico originadas en los rieles.
- Proveer un drenaje adecuado a la vía en los lugares en que geográficamente y por incidencia de lluvias o aguas superficiales sea necesario.
- Mantener una adecuada geometría de la vía, en términos de nivel transversal, nivel longitudinal y alineación.

#### **CASO DE LASTRE COMÚN O SUELOS:**

Teniendo presente, los pesos por eje que circulen por la vía férrea y considerando que la dotación de durmientes actual existente no se modifica en lo sustancial.

Tabla 44. Circulación con Equipo mayoritariamente de 15 Ton/Eje.

<b>Clase de Vía</b>	<b>Velocidad Máxima [Km/h]</b>	<b>Capacidad Soporte Mínima Lastre C.B.R. [%]</b>
1	15	30
2	30	35
3	40	40
4	50	45
5	60	50
6	70	60

*FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03*

-Se realizó para la evaluación del balasto y para verificar que la capacidad de soporte sea el necesario para la vía, ensayos de granulometría y límites para la clasificación de suelos, ensayo de compactación para calcular la humedad óptima y finalmente ensayos de C.B.R., los cuales se encuentran adjuntos en el anexo 1.

El suelo de la muestra se lo tomo cada medio kilómetro a lo largo de la vía en estudio realizando calicatas, desechando los primeros 40 cm de la superficie y sustrayendo entonces el suelo. Ya que se encontraron siete clases de suelos a lo largo de la vía se realizó de cada uno de ellos el estudio de compactación y C.B.R..

Se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 45. Resultados de C.B.R.

Suelo	Resultado del C.B.R.
A 6	9,98
A 7 6	2,705
A 4	10,938

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

-Se llega al resultado de la evaluación del balasto de la vía, que el suelo no es suficientemente resistente para lo que se necesita ya que los valores de C.B.R. están por debajo de lo esperado por la norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000mm. El balasto no fue modificado por otro suelo más resistente para su uso, solo fue compactado, siendo insuficiente para resistir de forma segura el peso de la infraestructura, locomotora y cargas.

### **3.3.- EVALUACION DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO**

#### **-DURMIENTES**

Los durmientes del ferrocarril en estudio son básicamente de madera natural, siendo las más usadas el quebracho colorado, soto y quebracho blanco, siendo materiales aceptados por la sociedad reguladora, permitiendo que el riel sea fijado con seguridad a éstos.

Se analizó colleras de 12 metros las cuales debían cumplir ciertos requisitos ya mencionados en el punto 2.6.3.

Los resultados se encuentran detallados en el anexo 2. A continuación se muestra un resumen de lo obtenido en cada kilómetro y en el tramo en general.

Tabla 46. Porcentaje de durmientes en buen estado por kilómetro.

Progresiva	% de durmientes en buen estado
3+000	58,89
4+000	72,77
5+000	71,66
6+000	66,66
7+000	73,33
8+000	69,99
9+000	73,88
10+000	70,55
11+000	68,88
12+000	69,99
13+000	66,66
14+000	74,99
15+000	68,33
16+000	70,55
17+000	66,66
18+000	72,22
19+000	67,22
20+000	72,77

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

De acuerdo con los anteriores resultados se llegó a los resultados de que nuestro tramo en estudio cuenta con un porcentaje de durmientes en buen estado del 69, 77 %

Las cantidades mínimas de durmientes buenos por collera o tramo son los siguientes dados por la norma para contar con una vía aceptable:

Tabla 47. Cantidades mínimas de durmientes.

Clase de Vía	Velocidad Máxima [Km/h]	Cantidad Mínima de Durmientes Buenos [%]
1	15	30
2	30	40
3	40	50
4	50	50
5	60	60
6	70	70

FUENTE: Norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000 mm. et 03

Entonces concluimos, ya que nuestra vía es clase 4, que la vía cuenta con el porcentaje de durmientes en buen estado necesarios para la buena circulación en la vía y alineación de la misma.

Pero también ya que al ser un balasto de suelo común, el método constructivo de la vía nos dice que las durmientes deben ir enterradas en el suelo, y esta consideración no es cumplida en la vía en su mayoría, teniendo al descubierto un poco más del 73 % de las durmientes en la vía.

### COMPROBACION DE SECCION

-Según la tabla 17 del capítulo dos *Dimensiones y tolerancias para trochas angostas (métricas y similares)* tenemos los siguientes resultados:

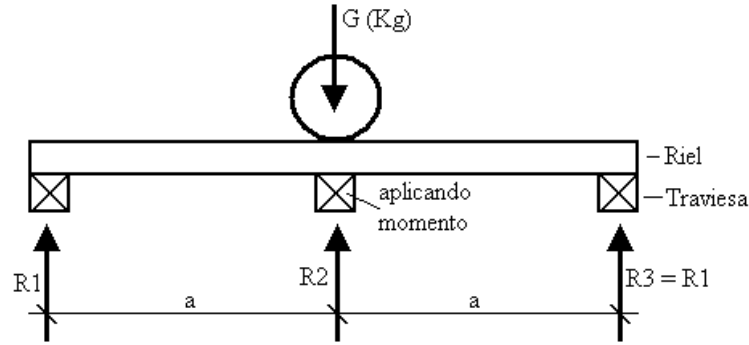
Tabla 48. Dimensiones de durmientes.

Tipo de durmiente	Dimensión permitida	Dimensiones reales
Durmiente común	16*22	20*25
Durmiente en cambio	16*22	20*25
Durmiente en puente	17*25	25*25

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

Para una categoría única todos los tipos de durmientes están dentro de los parámetros según la norma para el suministro de durmientes de madera.

-Comprobación de la sección por el método de los tres momentos (Clapeyron)



Adoptando escuadría XxY verificamos al corte y a la flexión:

A la flexión:

$$R_1 = R_3 = R_x = \frac{3 * G * E * I}{a^3 * c + 9 * E * I}$$

$R_1$  = Reacción que queremos encontrar.

$$R_1 = R_3 = R_x = \frac{3 * 10000 * 2 * 10^6 * 1098.9}{63^3 * 5 + 9 * 2 * 10^6 * 1098.9} = 3333.1227 \text{ Kg}$$

$$M_2 = R_1 * a \quad W = \frac{I}{x} \quad \sigma_f = \frac{M_2}{W} < \sigma_{trabajo}$$

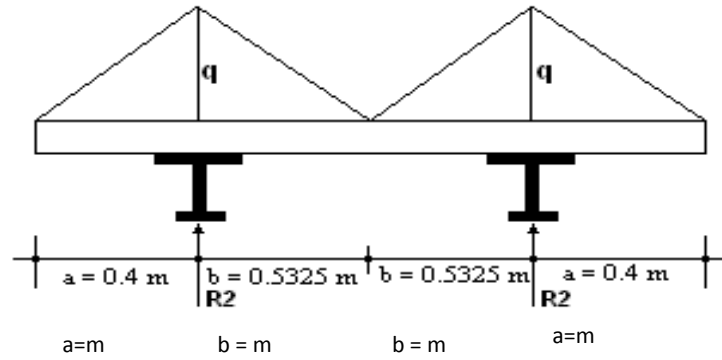
$$M_2 = 3333.1227 * 63 = 20998.6727 \text{ Kg} * m$$

$$W = \frac{1098.9}{6.02} = 182.54 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_f = \frac{20998.6727}{182.54} = 115.036 < \sigma_{trabajo} \quad \text{CUMPLE}$$

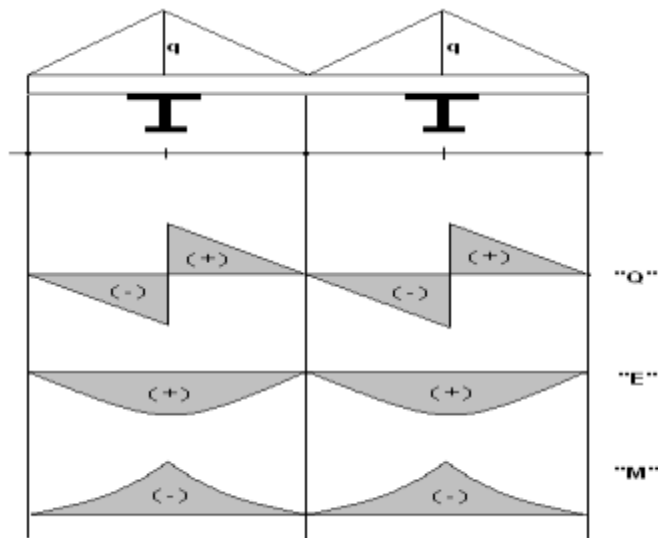
$\sigma_{\max \text{ adm}} = 150 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible a la flexión)

$\tau_{\max \text{ adm}} = 30 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible al corte)



$$\frac{1}{2}(a+b) * q + \frac{1}{2}(a+b) * q = 2 * R$$

$$q = \frac{2 * R_2}{0.845} = 7889.048$$



**Al Corte:**

$$Q_{\max} = R_2 - \frac{q * u}{2} = 1522.586 \text{ Kg}$$

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{Q_{\max}}{b * h} = 4.567$$

$$4.567 \text{ Kg/cm}^2 < 30 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK!}$$

Por lo que se comprueba la escuadría **25x20**

La escuadría de 25\*20 cm de la vía cumple la comprobación a flexión y a corte.

En cada collera de 12 m se tienen 18 durmientes, siendo lo aceptable ya que las durmientes mínimas para una clase de vía B es de 13 durmientes.

### **3.4.- EVALUACION DE RIELES**

Para la evaluación de rieles primeramente según la tabla 23 del capítulo II, se analizó los defectos de rieles, se tomó como muestra diez colleras de rieles de cada kilómetro, teniendo como resultado los siguientes datos:

Tabla 49. Porcentaje de durmientes en buen estado por kilómetro.

Progresiva	% de rieles en mal estado
3+000	20
4+000	30
5+000	20
6+000	20
7+000	20
8+000	30
9+000	20
10+000	30
11+000	20
12+000	30
13+000	20
14+000	20
15+000	30
16+000	20
17+000	30
18+000	20
19+000	20
20+000	10

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

Según la tabla anterior, se muestra cuanto es el porcentaje de rieles que se debe cambiar o reparar según los términos especificados en el capítulo dos, la vía férrea no debería funcionar con la existencia de defectos, no siendo permisible ninguno. En general se encontró un 22,63 % de defecto de rieles en la vía .

-Sillas de asiento: Deberían existir por lo menos en ocho de cada diez durmientes sillas de asiento bajo estas, pero en la vía se encontró dos en cada collera.

-Soldaduras: Las rieles en la vía son soldadas cuando existen desajustes, desprendimientos o grietas, sin pasar por un control ultrasónico previo.

### **-COMPROBACION DEL DISEÑO DE RIEL**

-según formula del Profesor Shulga

$$Q = 31,046 * T^{0,203}$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

T=trafico anual en millones toneladas brutas

Q= 21,40 kg/ml

-Según formula modificada del FCAB.

$$Q = 10,7093 * (P + 0,0000386 * P * V)^{\frac{2}{3}} * 0,49605206$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

V= Velocidad máxima en km/hrs

Q= 33,77 kg/ml

-Proposición congreso Ferroviario de El Cairo

$$Q=2,5*P$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

Q= 40 kg/ml

El peso del riel de la vía férrea en estudio es de 37,20 kg/ml, superior al necesario calculado por dos de los anteriores métodos, entonces se dice que los rieles cumplen con lo que se requiere. También se toma en cuenta que los rieles deberían estar sobredimensionados debido a la falta de balasto tratando de compensar la flexibilidad de la vía. También tomar en cuenta el crecimiento de este transporte, transportando cada vez mayor número de cargas y con más peso.

### **3.5.- EVALUACION DE OBRAS DE ARTE**

Para la evaluación de las obras de arte, se verifica los requisitos mínimos que nos pide la norma, no se las evalúa a detalle ya que las normas no nos especifican acerca de estas obras.

Se tienen tres tipos de obras de arte, alcantarillas, puentes y paso abierto.

De las cuales se verifico los siguientes requisitos mínimos:

*Tabla 50. Obras de arte.*

Progresiva	Obra de arte	Dimensiones /Forma	Circulación de cargas superiores	% durmientes en buen estado	Balasto de grava 100m	Movimiento de la obra al paso del tren
3+645	Alcantarilla	Cajón	No	68,42	No	No
3+975	Alcantarilla	Cajón	No	73,68	No	No
4+010	Alcantarilla	Cajón	No	63,15	No	No
6+900	Puente metálico TAB INF	2,5*4,5m	No	68,42	No	Si
8+600	Alcantarilla	Tubo 7,4m- φ0,8m	No	73,68	No	No
9+000	Puente provisorio Castillos	3,00*1,00m	No	68,42	No	Si
11+400	Alcantarilla	Tubo 6,5m- φ0,6m	No	73,68	No	No
13+723	Alcantarilla	Tubo 7,00m- φ1m	No	78,94	No	No
15+200	Puente provisorio Castillos	6,00*1,30m	No	78,94	No	No
15+500	Puente provisorio Castillos	10,00*1,2m	No	68,42	No	Si

16+250	Alcantarilla	Tubo 6,8m- φ1m	No	68,42	No	No
16+300	Paso abierto c/Castillos	11*2,30m	Si	--	No	No
16+350	Puente	11,40*1,5m	No	73,68	No	No
19+130	Alcantarilla	Tubo 8,4m- φ0,8m	No	78,94	No	No
19+357	Puente metálico TAB SUP	16,8*1,90m	No	84,21	No	Si

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

Según lo obtenido en la anterior tabla podemos concluir que hace falta cambiar las durmientes en ciertas obras, y colocar balasto de grava triturada para que la vía férrea no tenga movimiento al pasar por estas obras ya que los puentes no estarían bien anclados.

*Tabla 51. Comprobación de sección de alcantarillas.*

<b>N°</b>	<b>FORMA</b>	<b>PROG.</b>	<b>CAUDAL (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>SECCION CALCULADA M<sup>2</sup></b>	<b>SECCION REAL M<sup>2</sup></b>	<b>LONGITUD M</b>
Alcantarilla 1	Cajón	4+010	0,233	0,6*1,00	1,0*1,5	-
Alcantarilla 2	Tubo	8+600	0,35	0,20 m	0,8 M	7,6
Alcantarilla 3	Tubo	11+400	0,2043	0,15	0,6	6,5
Alcantarilla 4	Tubo	13+700	0,2822	0,30	1	7
Alcantarilla 6	Tubo	19+130	8,896	0,035	0,30	8,4

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

*Tabla 52. Comprobación de sección de puentes.*

<b>N°</b>	<b>FORMA</b>	<b>PROG.</b>	<b>CAUDAL (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>SECCION CALCULADA M<sup>2</sup></b>	<b>SECCION REAL M<sup>2</sup></b>
Puente Metálico 1	Cuadrado	6+900	0,1855	1,00*0,3	2,5*4,5
Puente Provisorio 2	Rectangular	9+000	0,275	0,3*1,0	1*3
Puente Provisorio 3	Rectangular	15+200	0,0038	0,5*0,5	6*1,3
Puente Provisorio 4	Rectangular	15+500	1,525	1*1,3	10*1,2
Puente 5	Rectangular	16+350	0,0654	0,5*1,5	11,4*1,15
Puente Metálico 6	Rectangular	19+357	8,9	2,6*3	16,8*8,9

*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

### **3.6.- INSPECCIONES**

Se realizan inspecciones de la vía en estudio una vez cada dos meses y no así una vez al mes , recorriéndola en una camioneta adaptada a las rieles , parando en los lugares que se considere crítico. No se realizan inspecciones netamente a pie, como nos dice la norma que se debería realizar.

**CAPITULO IV:**  
**PLANTEAMIENTO DE MEJORAS A LA VIA**  
**FÉRREA YACUIBA-EL PALMAR**

## PLANTEAMIENTO DE MEJORAS A LA VIA FERREA YACUIBA –EL PALMAR

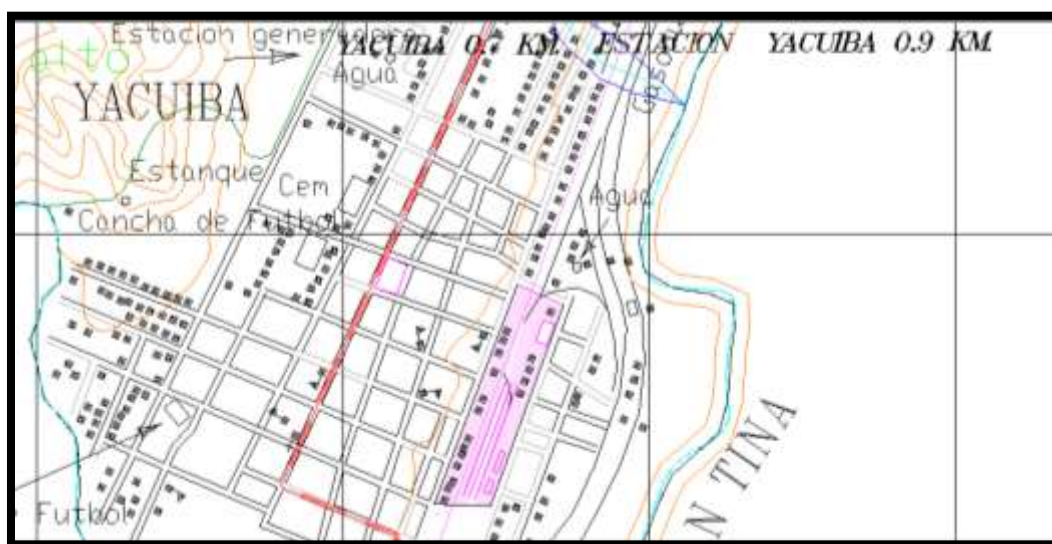
### 4.1.-JUSTIFICACION DE LAS MEJORAS

#### **-DISEÑO GEOMETRICO**

-La actual estación de la ciudad de Yacuiba se encuentra a tres cuadras de la plaza principal de la ciudad, donde hace 50 años solía ser las afueras de la ciudad hoy en día se encuentra densamente poblada por esta zona, teniendo mucho comercios, edificios, casas, etc.

Entonces la ruta del ferrocarril pasa por la ciudad, por lugares donde se encuentran habitados, afuera de escuelas, propiedades, a cercanía de campamentos, pero el mayor problema son los primeros tres kilómetros que contamina acústicamente a la ciudad y es un peligro para los niños que salen de sus clases que caminan por la vía, como así también para pobladores que caminan hasta sus hogares por medio d la vía.

Figura 23. Ubicación de actual estación Yacuiba.



*FUENTE: Global mapper.*

-Debido al rápido crecimiento de la población de Yacuiba las vías férreas quedan en medio de la población, perjudicando a la urbanización de la ciudad, y quitando valor a las construcciones cerca de esta.

Figura 24. Paso de la vía férrea por afueras de un hipódromo.



*FUENTE: Elaboración propia.*

Figura 25. Casas a menos de 20 metros de la vía férrea km6.



*FUENTE: Elaboración propia.*

## **-SUPERESTRUCTURA**

-Una vía férrea de este tipo de clase de vía debe contar con balasto por las cargas que transmite, para así poderlas distribuir hacia la plataforma, también para proveer un drenaje a la vía para que las incidencias de la lluvia no dañen a la estructura. Y la razón más importante es para mantener la geometría de la vía.

La vía en estudio no cuenta con balasto, por esta razón los peraltes han ido disminuyendo y asentándose con el pasar de los años.

-En la vía en estudio existen tramos en los que las durmientes están en muy mal estado y que necesitan ser cambiado, no es aceptable que dos durmientes seguidas tengan fallas o que por la clase de vía el 50% de la vía debería estar en buen estado pero en ciertos tramos críticos no se obtiene bajos valores, haciendo susceptible a la vía en estos tramos.

Figura 26. Tramo progresiva 6+000



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 27. Tramo progresiva 6+000



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 28. Tramo progresiva 8+000.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 29. Tramo progresiva 11+000 durmientes destruidas.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 30. Tramo progresiva 13+000 durmientes.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 31. Tramo progresiva 17+000 durmientes no enterradas.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 32. Tramo progresiva 19+000 durmientes con curvatura vertical.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

-Las rieles de la vía en general se encuentran en buen estado, pero en algunos tramos se encuentran oxidadas o con alguna otra falla, y necesitan ser remplazadas, además para una buena sujeción de las rieles hacia las durmientes se necesitan sillas de asiento que agarren firmemente a estas para que las rieles no se doblen cuando los trenes transiten con mucho peso.

Figura 33. Tramo progresiva 10+000 rieles levantados.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

Figura 34. Tramo progresiva 17+000 rieles oxidados.



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.*

### **- DRENAJE**

Las obras de arte de la vía en estudio cumplen con su sección, pero son pocas alcantarillas y puentes, ya que al medir la vía 16 km se necesitaría por lo mínimo 30 alcantarillas, debido a esto la vía podría contar con problemas en épocas de lluvia.

Las obras de drenaje deben ser limpiadas de la vegetación y de otros factores con regularidad ya que de estas depende la buena circulación de las aguas y que aguas abajo no existan inundaciones.

Además también es importante para la alineación de la vía que las durmientes estén en buen estado, ya que estas son más propensas a la pudrición provocada por la humedad.

Una propuesta para las obras de arte como puentes y alcantarillas es poner en estas obras durmientes de concreto para que sean más duraderas y no sea necesario estar cambiando con regularidad las durmientes debido a la humedad.

Figura 35. Problemas de drenaje en el 2011 en el kilómetro 17.



FUENTE: RED FERROVIARIA ORIENTAL

Figura 36. Puente provisorio Castillo prog. 9+000. Durmientes desniveladas.



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

Figura 37. Tapado de la vía en Villamontes.



*FUENTE: ELABORACION RED FERROVIARIA ORIENTAL.*

Figura 38. Alcantarilla cajón con falta de durmientes.



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

### **-SEÑALIZACIÓN**

En distintos lugares del tramo de la vía férrea Yacuiba- El Palmar no se divisa las señalizaciones que van dirigidas al maquinista, que le informa de alguna proximidad y por lo tanto la reducción de velocidades, debido al amplio crecimiento de la vegetación que tapa los letreros y choca con las locomotoras al paso de estas.

Así también no se encuentra señalización de kilometraje en cada kilómetro, y tampoco señalización de curvas con sus numeraciones desde el punto de origen.

La vía debería contar con señalización para peatones en proximidades de puentes y alcantarillas para que los habitantes no circulen por estos.

Figura 39. Señalización tapada.



*FUENTE: Elaboración propia.*

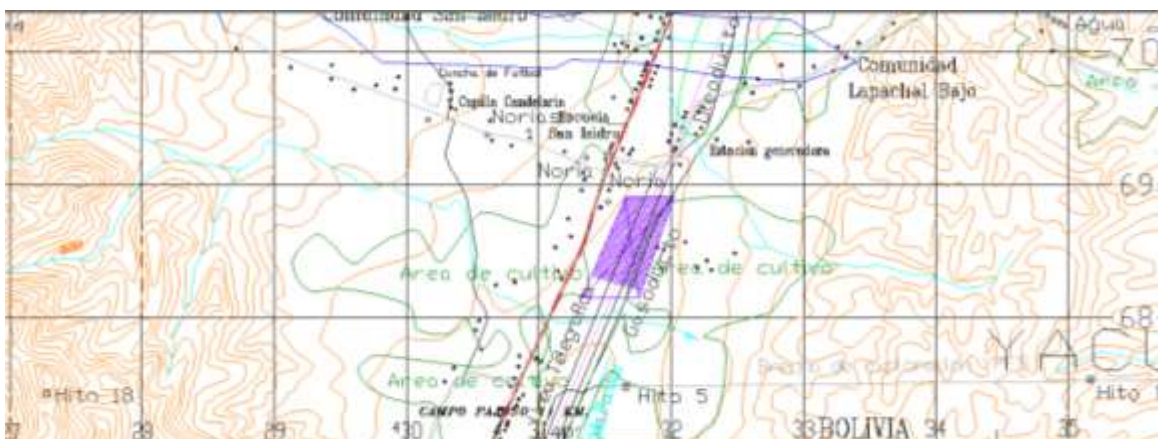
## **4.2.-PROPUESTA DE MEJORAS**

### **4.2.1.-ALTERNATIVA 1**

#### **-READEACUACION DE PUNTO DE INICIO**

Para solucionar el problema de la contaminación acústica en medio de la ciudad modificando el alineamiento proponemos un traslado de estación de la ciudad de Yacuiba, a tres kilómetros de la actual estación para así que la vía trascurra por una ruta mejor pero ya no pasando por hogares y recintos escolares. Sino transcurriendo por afuera de la ciudad de Yacuiba para mejorar la urbanización de la ciudad e incrementar los precios de terrenos.

Figura 40. Readecuación de punto de inicio.



FUENTE: Elaboración propia.

### **-MODIFICACION DEL TRAZADO**

Para dar solución al problema, que la actual zona de la vía está siendo urbanizada, y además cruza por cercanías de lagunas y propiedades, se propone un nuevo trazo que circule por el lado este de la actual vía donde no afecta a la población y queda alejado de los hogares de las comunidades. Se adjuntan al final del proyecto los planos del nuevo trazo sugerido. Que constara de dos piernas de rieles una interior de la actual vía y una exterior que podrá llevar más carga por eje a una velocidad mejor que la actual.

### **-MODIFICACION DEL TRAZADO EN PLANTA**

Se obtuvieron los siguientes radios de los cálculos que cumplen con los requisitos de las normas.

Tabla 53. Radios calculados para la sugerencia de trazado.

PROGRESIVA		RADIO MTS	TROCHA MM
INICIAL	FINAL		
0	8+902		
8+902	8+986	500	1010/1676
8+986	12+512		
12+512	12+599	500	1010/1676
12+599	15+292		
15+292	15+436	500	1010/1676
15+136	15+940		

FUENTE: ELABORACION PROPIA

### **-MODIFICACION DEL TRAZADO EN PERFIL**

Se obtuvieron los siguientes radios verticales de los cálculos que cumplen con los requisitos de las normas.

Tabla 54. CV calculadas para la sugerencia de trazado.

<b>PROGRESIVA</b>		<b>RADIO MTS</b>	<b>TROCHA MM</b>
<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>		
0	2+280		
2+280	2+830	550	1010/1676
2+830	4+300		
4+300	4+850	550	1010/1676
4+850	6+970		
6+970	7+270	300	1010/1676
7+270	8+906		
8+906	9+456	550	1010/1676
9+456	10+949		
10+949	11+249	300	1010/1676
11+249	12+164		
12+164	12+714	550	1010/1676
12+714	13+232		
13+232	13+532	550	1010/1676
13+532	15+940		

FUENTE: ELABORACION PROPIA

### **- REPOSICION DEL BALASTO**

**-Balasto:** Ya que el balasto es importante para garantizar la estabilidad de la vía, transmite las presiones de las durmientes a un área más amplia, y asegura la elasticidad necesaria al carril.

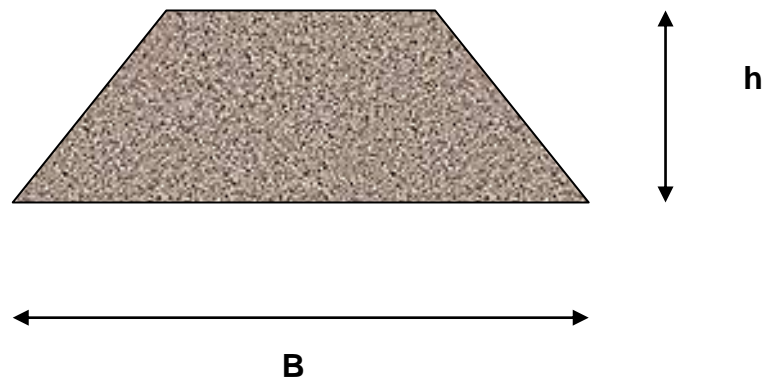
La grava utilizada como balasto será de cantera (natural).

Debe tener partículas entre 3 y 60 mm, en no menos de la mitad de su peso total, deberá tener no menos del 20% y no más del 50% de partículas de arena, no menos del 50% de granos de cuarzo, las partículas menores de 0.1 mm que estén en su composición no deben exceder el 6%, incluyendo en este volumen las arcillosas (dimensión menor de 0.005 mm)

en no menos del 1% del peso. Las partículas entre 60 y 100 mm, se permiten sólo en un 5% del volumen total.

Capa de sub balasto. Se coloca debajo de la sub rasante (nivel de la explanada), una capa de 30 cm denominada sub balasto. Esta capa se construye con arena con el fin de economizar piedra y para la prevención de la penetración de la piedra en la explanada y la elevación por sifonamiento de las capas superiores de la explanada debido a la penetración de la piedra y la unión de ésta con el aguas formando los llamados baches zapateados.

Calculo de la dimensión del balasto:



$$\alpha = 45^\circ$$

$h = 40\text{cm.}$  Adoptamos.

$$B = b + 2 * h$$

$b = \text{largo del durmiente} = 190\text{cm.}$

$$B = 190 + 2 * 40$$

$$\mathbf{B = 270\text{cm.}}$$

La piedra chancada admite  $8 \text{ Kg/cm}^2$  provocando un asentamiento de  $0.20 \text{ cm.}$

$$\boxed{c = P/h}$$

Donde:

$c = \text{Coeficiente de elasticidad del balasto}$

$P$  = Fuerza que está actuando en Kg en un área unitaria

$h$  = Hundimiento provocado por  $P$

$$c = \frac{8}{0.20} 40 \text{ Kg} / \text{cm}^3$$

$$c = 40 \text{ Kg/cm}^3$$

**grava gruesa**

**CANTIDAD DE BALASTO: en 1km**

Volumen de balasto sin considerar durmientes =  $(2,70+1,9)*0.4*1000/2 = 1026\text{m}^3$

Volumen de durmiente =  $(1.90*0.25*0.20)*159 = 15,105 \text{ m}^3$

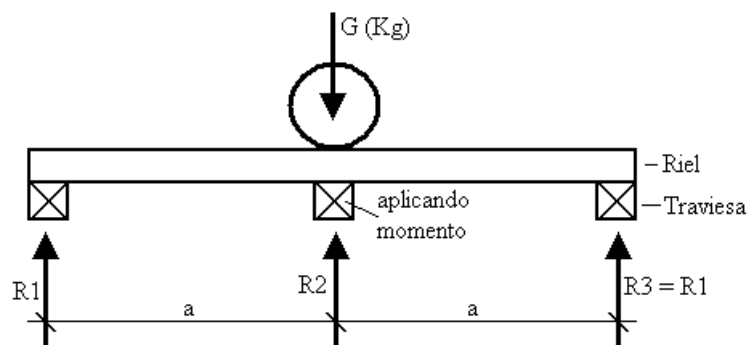
Volumen de balasto =  $1026 - (0.70*15,105) = 1015,4265 \text{ m}^3$

**Volumen de balastro = 1015,4265 m<sup>3</sup>**

### **- CAMBIO Y TRATAMIENTO DE DURMIENTES**

Para que la vía férrea pueda transportar más cargas por eje se sugiere aumentar la sección de durmientes a 25\*25 cm, así la vía podrá transportar mayor carga.

-Comprobación de la sección por el método de los tres momentos (Clapeyron)



Adoptando escuadría XxY verificamos al corte y a la flexión:

A la flexión:

$$R_1 = R_3 = R_x = \frac{3 * G * E * I}{a^3 * c + 9 * E * I}$$

$R_1$  = Reacción que queremos encontrar.

$$R_1 = R_3 = R_x = \frac{3 * 20000 * 2 * 10^6 * 32552,0833}{60^3 * 5 + 9 * 2 * 10^6 * 32552,0833} = 6666,6543 \text{ Kg}$$

$$M_2 = R_1 * a \quad W = \frac{I}{x} \quad \sigma_f = \frac{M_2}{W} < \sigma_{trabajo}$$

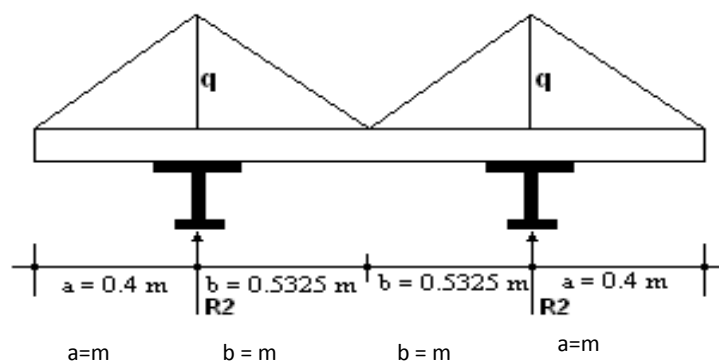
$$M_2 = 6666,6543 * 60 = 399999,2627 \text{ Kg} * m$$

$$W = \frac{32552,0833}{12,5} = 2712,676 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_f = \frac{399999,2627}{2712,676} = 147 < \sigma_{trabajo} \quad \text{CUMPLE}$$

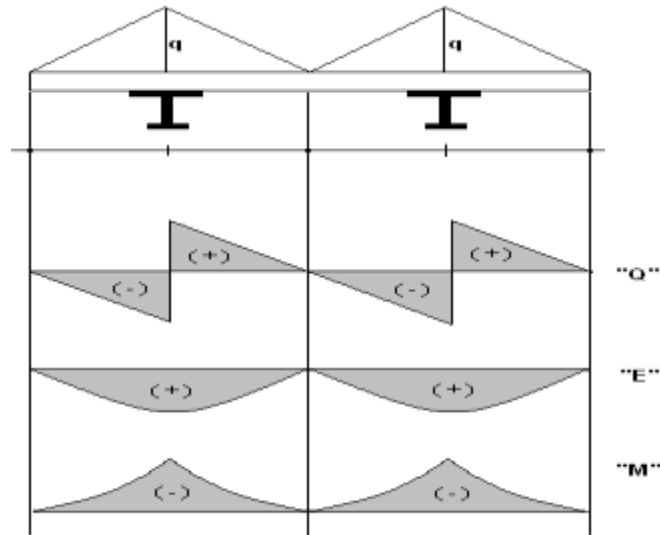
$\sigma_{\text{max adm}} = 150 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible a la flexión)

$\tau_{\text{max adm}} = 30 \text{ Kg/cm}^2$  (Esfuerzo máximo admisible al corte)



$$\frac{1}{2} (a + b) * q + \frac{1}{2} (a + b) * q = 2 * R$$

$$q = \frac{2 * R_2}{0.845} = 15779,0634$$



**Al Corte:**

$$Q_{\max} = R_2 - \frac{q * u}{2} = 3037,47 \text{ Kg}$$

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{Q_{\max}}{b * h} = 7,2899$$

$$7,2899 \text{ Kg/cm}^2 < 30 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK!}$$

**Por lo que se comprueba la escuadría 25x25**

La escuadría de 25\*25 cm de la vía cumple la comprobación a flexión y a corte.

Las durmientes estarán separadas cada 60cm, por lo tanto cada collera de 12m tendrá 20 durmientes.

Si no se desea cambiar la sección de las durmientes se debe realizar los siguientes tratamientos de impregnación para prolongar la vida de las durmientes y evitar daños graves en estas.

-Especificaciones de durmientes:

Los durmientes de madera tendrán como origen los siguientes tipos de árboles; otro diferente deberá contar con la aprobación de la Comisión Técnica , en ningún caso una de más baja calidad.

- De roble
- De coigue
- De ulmo
- De tineo

Los durmientes tendrán forma y dimensiones simétricas con relación al eje longitudinal.

#### TRATAMIENTO DE IMPREGNACION

Secado Previo

Secado natural:

El secado natural se realizara en canchadas de almacenamiento, al aire libre.

El contenido de humedad que deberán alcanzar los durmientes, previo al tratamiento será del 25 al 28 %. a 3.5 cm. de profundidad del durmiente en cualquiera de sus caras. El contenido de humedad deberá ser medido con xilohigrómetro con electrodos aislados de tal suerte de tomar la lectura exclusivamente a la profundidad deseada, en el punto medio de la madera impregnada.

La humedad se puede controlar mediante los pesos de los durmientes, sumando al peso anhidro el peso de los porcentajes de humedad, comprobando mediante balanza el peso del durmiente antes de la impregnación.

Descripción de los procesos de impregnación:

El tratamiento de impregnación deberá cumplir con las condiciones que se describen a continuación:

El contenido de humedad que deberán alcanzar los durmientes, previo al tratamiento será menor del 28 %.

El tratamiento de impregnación deberá ser realizado a presión en autoclave, por uno de los procesos que se describen a continuación:

a) Proceso Bethel:

Este proceso se aplica solamente a perseverantes hidrosolubles (único indicado para el tratamiento de durmientes con sales CCA)

1. Vacío inicial. La madera dentro del autoclave debe ser sometida hasta alcanzar por lo menos un vacío de 600mm de Hg, durante un período de 30 minutos.
2. Llenado. El autoclave debe ser llenado con el preservador sin pérdida del vacío alcanzado.

3. Periodo de presión. Cuando el autoclave está totalmente inundado con la solución preservadora la madera debe ser sometida a una presión que no debe ser mayor que 1.4 Mpa (14 kgf/cm<sup>2</sup>) y no debe ser menor que 0.8 Mpa (8 kgf/cm<sup>2</sup>) La presión debe mantenerse hasta alcanzar la retención requerida y nunca por un período menor que 1h.

4. Vacío final. Luego del período de presión la autoclave debe ser vaciada del preservador y aplicarse un vacío final que no debe ser mayor de 80 Kpa (600 mmHg).

Productos de impregnación:

La solución preservativa a utilizar en el tratamiento de impregnación deberá ser una de las que se describen a continuación y cumplir con los valores límites que se establecen:

CCA (Cromo – Cobre – Arsénico)

La solución preservativa de CCA deberá estar compuesta por productos cuya pureza esta por encima del 95 %, de base anhidra.

La composición de la mezcla deberá estar de acuerdo a los valores siguientes:

- a) Cromo, hexavalente, calculado como CrO<sub>3</sub> – 47,5%
- b) Cobre, calculado como CuO – 18,5%
- c) Arsénico, calculado como As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 34,0%

### **-RIELES**

Si se desea que la vía férrea cargue más peso por eje se deberá aumentar la sección del riel, para así que la vía sea más resistente, y no corra riesgos de doblaje de rieles.

DISEÑO DE RIEL:

-según formula del Profesor Shulga

$$Q = 31,046 * T^{0,203}$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

T=tráfico anual en millones toneladas brutas

$$Q= 26,4 \text{ kg/ml}$$

-Según formula modificada del FCAB.

$$Q = 10,7093 * (P + 0,0000386 * P * V)^{\frac{2}{3}} * 0,49605206$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

V= Velocidad máxima en km/hrs

$$Q= 39,2426 \text{ kg/ml}$$

-Proposición congreso Ferroviario de El Cairo

$$Q=2,5*P$$

Q= Peso del riel en kgs/ml

P= Peso por eje en toneladas

$$Q= 50 \text{ kg/ml}$$

El peso del riel de la vía férrea en estudio es de 37,20 kg/ml, ya que se propone aumentar las velocidades y pesos por eje aumenta el peso. De acuerdo al tráfico anual que se espera para la vía es tres veces más del que se tiene ahora, es decir 450000 tn todo el año.

Se tomará un peso del riel de siendo el promedio de los tres resultados anteriores 38,55 kg/ml, el superior inmediato de acuerdo a las tablas es el perfil A.R.A-A, con un peso nominal por metro de 44,64 kg/ml y un peso teórico de 44,60 kg/ml, con dimensiones de altura 142,90 mm, base 130,20 mm, cabeza 65,10 mm, altura 14,30 mm, altura de la cabeza 37,30 mm, asentamiento de las eclisas 80,20 mm, ángulo de la cabeza 4, ángulo de la base 4, área 56,04 cm<sup>2</sup>, % del área en la cabeza 36,30, % de área en el alma 24.

También se colocara sillas de asiento para la correcta sujeción de la durmiente y riel, en cada durmiente, colocados en cada extremo de las durmientes, y los rieles deberán contar con tratamientos para evitar daños por la humedad, sobre todo los rieles que cruzan por alcantarillas y puentes.

### **- HORARIOS E ITINERARIOS**

La locomotora sale con pasajeros y cargas una vez a la semana, los jueves a las 5:30 pm y está de regreso los miércoles por la tarde.

Encuestando a los usuarios del ferrocarril, nos muestran sus desconformidades, ya que el precio es accesible, muchas personas utilizan este medio, pero en varias ocasiones se quedan sin boleto, o tienen que programar su viaje para un horario y día limitado. Esto es debido a que la red oriental cuenta con una locomotora, y todo el largo recorrido que debe realizar tiene retorno en una semana.

Para esta propuesta de mejora de la ruta se contará con dos locomotoras que puedan contar con el recorrido. Una que realice el recorrido completo y otra que pueda realizar dos recorridos a Santa Cruz dos veces a la semana pasando por los subtramos y estaciones, el primer recorrido se lo realizara el día jueves como se lo realiza con normalidad con la primera locomotora pero llevando carga, la segunda saldrá el día domingo a las 6:00 pm , para llegar a Santa Cruz el lunes en la madrugada solo con pasajeros.

### **- TIPO DE UNIDADES**

Las locomotoras que se utilizan en la red ferroviaria oriental son locomotoras U-10 de los años 1955, U-12 de los años 1958, U-20 de los años 1966.

Pero la locomotora que viaja de Santa Cruz a Yacuiba es una mixta, es decir transporta a la misma vez pasajeros y carga, esto limita las velocidades. La locomotora que viaja por Santa Cruz hacia las provincias son ferrobuses para pasajeros y expreso oriental para carga. Se propone implementar ferrobuses que solo transporten pasajeros para así contar con mayor velocidad. Y otra locomotora que solo lleve carga.

Una segunda propuesta es ir modernizando la vía con otra locomotora que jale mas carga por eje y a la vez pueda hacerlo en menor tiempo que el actual.

La locomotora General Electric C-22 7i, se propone esta máquina pensando en la economía y características, de origen Brasileiro del año 1999 , con una potencia de 2200 HP, con una velocidad máxima de 102 km/hr, con una longitud de 18,100 m.

Figura 41. Locomotora General Electric C-227i.



*FUENTE: Federico Mejide. Hobbies FA.*

### **- SEÑALIZACION**

Estandarización de la señalización:

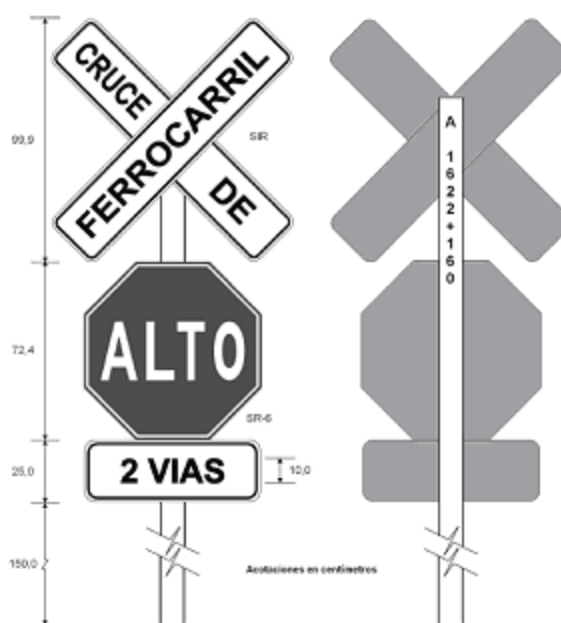
La señalización de la vía férrea está compuesta por todos los sistemas destinados a lograr y obtener que el movimiento de trenes se efectúe en condiciones de seguridad y sin accidentes, por lo que es necesario estandarizar las señales.

Sentido de marcha:

Para Vía Única.- La señalización considerada en este punto está referida al lado derecho de la vía, correspondiente a la posición del maquinista.

Para Vía Doble.- La señalización considerada en este capítulo está referida al sentido de marcha oficial de los trenes por el lado derecho. En caso que la organización Ferroviaria tenga un sentido de marcha izquierdo, la señalización estará ubicada al lado izquierdo de la vía, es decir el que corresponde al maquinista.

Figura 42. Señalización para vía férrea.



*FUENTE: NORMA NOM-034-SCT-2011 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE VIALIDADES URBANAS.*

Señales del kilometraje en la vía principal:

Cada kilómetro de la vía férrea principal debe ser señalado mediante un letrero instalado al lado derecho de ella, en el que esté marcada claramente la distancia referida al punto de origen denominado kilómetro cero.

Señales del kilometraje en ramales:

Cada kilómetro de un ramal debe ser señalado mediante un letrero instalado al lado derecho de la vía férrea, en el que esté marcada claramente la distancia referida al punto de origen, o kilómetro cero, ubicado en la vía férrea principal de la que se deriva.

Señales de numeración de curvas:

Las curvas de la vía férrea principal y de los ramales deben estar numeradas correlativamente a partir del punto de origen, o kilómetro cero, empleándose hitos de características uniformes.

Señales de velocidad:

En los tramos en que el paso de los trenes deba hacerse permanentemente con restricción de velocidad y en aquellos que por razones de seguridad tengan que reducir la velocidad por temporadas, al principio del tramo en que se limita la velocidad se colocará un letrero de advertencia al costado de la vía del lado que corresponda al maquinista de acuerdo al sentido del tránsito del tren, de modo que pueda ser divisado desde ambos lados de la locomotora y desde una distancia no menor de 200 m. Si por curvas u otros obstáculos no pudiera ser avistado desde esa distancia, se ampliará el tramo de precaución con restricción de velocidad de manera que se pueda cumplir con la condición establecida. El letrero llevará una inscripción indicando la velocidad máxima permisible en el tramo.

Señales para dos velocidades máximas en el mismo tramo:

Cuando en una misma vía circulen trenes autorizados a alcanzar diferentes velocidades máximas, las señales mencionadas anteriormente deben indicar cada una de las velocidades máximas permitidas.

Señales al final de un tramo con velocidad restringida:

Al finalizar un tramo con velocidad restringida, se debe colocar al costado de la vía del lado que corresponda al maquinista, según el tránsito del tren, un letrero con las inscripciones indicativas de la velocidad máxima permitida en adelante.

El tren incrementará su velocidad cuando el último vagón o coche haya pasado dicho letrero.

Señales de aproximación:

En los lugares en que el tren deba advertir de su presencia, mediante el sonido de pito o de otra señal audible, por la proximidad de un puente, de un túnel, de una estación, de un zig-zag o de un cruce a nivel se deben colocar letreros a una distancia no menor de 200 m. antes del lugar que motiva la advertencia y del lado de la vía que corresponda al maquinista, según el sentido del tránsito del tren. Los

letreros deben llevar la inscripción "PITO" y una de las siguientes letras, según sea el caso: P (Puente), T (Túnel), E (Estación), V (zig-zag), X (Cruce a nivel).

El toque del pito, durante el tránsito por centros urbanos, no requiere de letreros, y puede ser efectuado cuando el personal del tren lo estime necesario por razones de seguridad de la operación ferroviaria.

Señales para peatones:

En los extremos de los puentes y túneles se debe colocar letreros, indicando la prohibición de circulación de peatones.

Señalización para paso a nivel:

El paso a nivel es una intersección de una vía de tránsito carretero no diferenciada en altimetría con una vía de ferrocarril, lo cual exige que debe estar debidamente señalizado para que no se produzcan accidentes. Este tipo de cruces cuenta por lo general con barreras ferroviarias para impedir el paso del tránsito vehicular cuando está pasando el tren. Ya que la vía en estudio presenta un Axt bajo (producto del número de circulación de automóviles y el número de trenes que cruzan el paso a nivel), solo es necesario señalización con letreros, luminosa y acústica.

Figura 43. Señalización para cruce.

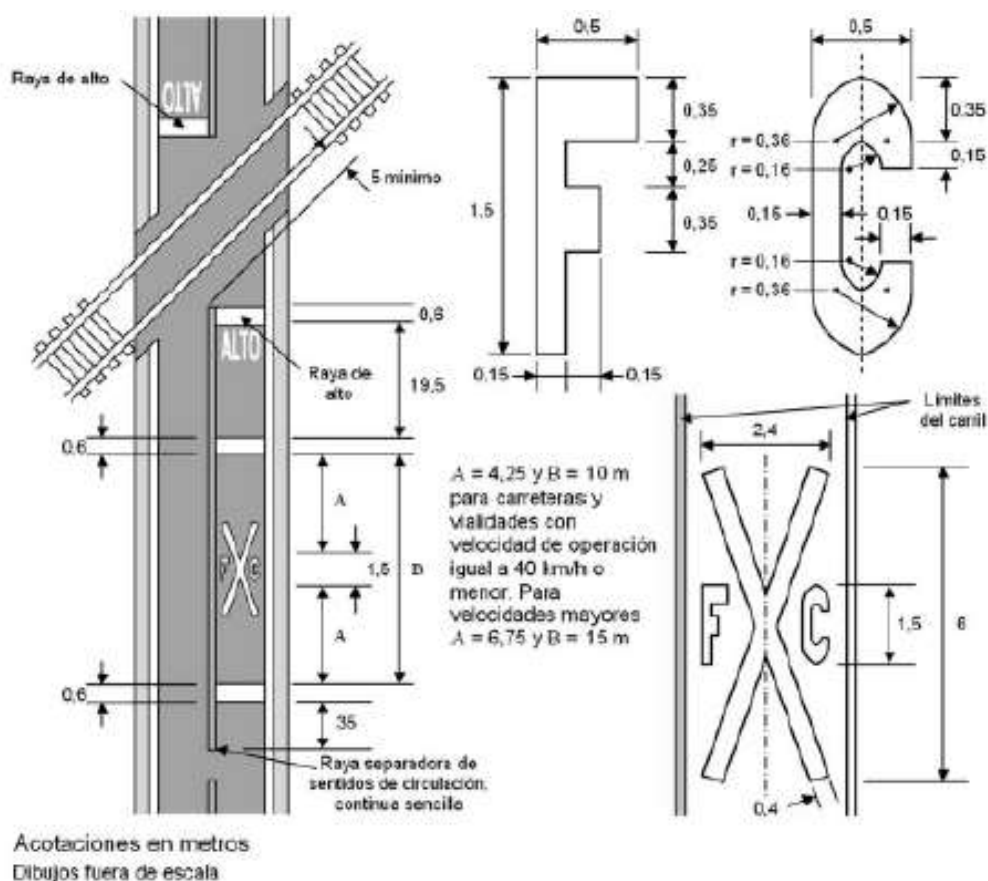


FUENTE: <http://www.fotolog.flocomotora.com>

Así también se debe colocar marcas para cruces de ferrocarril, son rayas, símbolos y letras que se usan para advertir la proximidad de un cruce a nivel con una vía férrea. Deben ser blanco reflejante y consisten en una X con las letras F y C una a cada lado de la misma complementada con rayas perpendiculares a la trayectoria de los vehículos. El FXC se coloca en cada carril antes del cruce y las rayas perpendiculares cruzando todos los carriles que tengan tránsito en el mismo sentido.

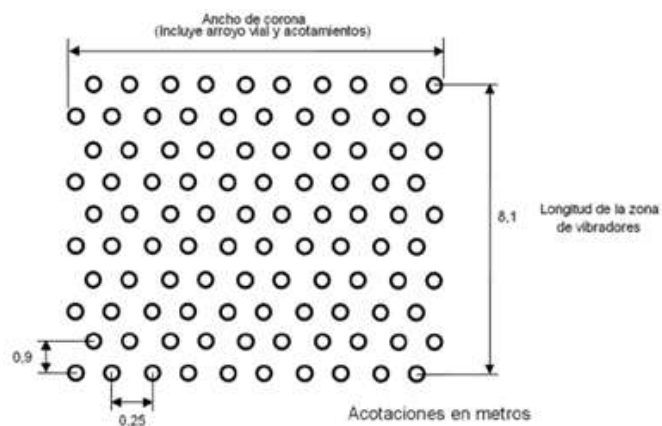
Para controlar la velocidad de los vehículos y hacer que se detengan antes de la vía férrea se colocara vibradores.

Figura 44. Señalización horizontal para paso a nivel.



FUENTE: NORMA NOM-034-SCT-2011 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE VIALIDADES URBANAS.

Figura 45. Vibradores para paso a nivel.



*FUENTE: NORMA NOM-034-SCT-2011 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE VIALIDADES URBANAS.*

Figura 46. Señalización del Paso abierto prog. 16+300



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

Figura 47. Paso abierto prog. 16+300.



*FUENTE: ELABORACION PROPIA.*

#### **4.2.2.-ALTERNATIVA 2**

Si no existe el presupuesto suficiente para realizar una ruta nueva, se debe reparar la estructura para que estas no tengan puntos débiles.

##### **-Rieles**

La evaluación nos muestra unos porcentajes del 10 al 30% del mal estado de rieles, estos deberán ser cambiados para evitar un descarrilamiento del tren.

##### **-Durmientes**

En el tramo en estudio se tiene un 69% de durmientes en buen estado, es decir un 31 % de durmientes en mal estado, los que se deberá cambiar contando con un tratamiento de cerosota para que estas durmientes que están en lugares más críticos no estén muy afectados por la humedad de la zona.

##### **-Balasto**

Ya que no se cuenta con un presupuesto suficiente, se pondrá balasto solo en las cercanías de las obras de arte, alcantarillas y puentes, cien metros antes y después de la obra, para así dar estabilidad a la vía.

##### **-Señalización**

Se mejorara la señalización para dar más seguridad a la vía. Una limpieza de la vegetación en cercanías de la vía dará una buena vista de los letreros al maquinista. Así también se instalara letreros a 200 metros de las curvas horizontales, de los puentes y alcantarillas para alertar al maquinista, también a la entrada de los puentes letreros de advertencia a personas para que tomen precauciones.

##### **-Drenaje**

Las obras de drenaje serán más estables al contar con balasto a sus cercanías, así también se remplazaran las durmientes dañadas con unas nuevas que tendrán tratamientos con cerosota para la humedad evitando la pudrición.

##### **-Itinerarios**

Para que la vía sea más rentable se debe aumentar las salidas del tren, una salida los jueves con carga y pasajeros como se lo realiza con normalidad y otra salida el día viernes con pasajeros para que pueda ir a mejor velocidad.

**4.3.-PRESUPUESTO DE ALTERNATIVAS****PRESUPUESTO GENERAL DE LA ALTERNATIVA 1**

N°	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	PRECIO PARCIAL
1	<b>TRABAJOS PREVIOS</b>				
1.1	Instalación de faenas	glb	1,00	7.302,82	7302,82
1.2	movilización y desmovilización	glb	1	6.813,84	6813,84
1.3	Replanteo de camino	km	15,93	817,03	13015,2879
1.4	Desbroce y limpieza	ha	7,97	538,35	4290,6495
2	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.1	Excavación con maquinaria en terreno común	m3	24253,25	16,96	411335,12
2.2	Conformación de terraplén sin prov. De material	m3	27213,5	13,07	355680,445
2.3	Conformación de terraplén con prov. De material	m3	27213,5	55,48	1509804,98
3	<b>SUPERESTRUCTURA</b>				
3.1	Colocado de balasto	m3	14663,88	125,7	1843249,716
3.2	Colocado de durmientes	ml	15939	683,45	10893509,55
3.3	Colocado de rieles	ml	15939	1.427,53	22753400,67
4	<b>OBRAS DE ARTE</b>				
4.1	Puentes	pza	6	42000	252000
4.3	alcantarillas	pza	6	20000	120000
5	<b>SEÑALIZACION</b>				
5.1	colocado de letreros	pza	62	150	9300
6	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>				
6.1	Letreros de obras	pza	1	708,23	708,23
6.2	Medidas de mitigación ambiental	glb	1	100000	100000
7	<b>TRENES</b>				
7.1	Locomotoras	pza	2	600000	1200000
7.2	Vagón de carga	pza	20	125000	2500000
7.3	Vagón de pasajeros	pza	3	125000	375000
				<b>TOTAL (Bs)</b>	<b>42.355.411,31</b>
<b>COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA (Bs)</b>					<b>42.355.411,3</b>

**PRESUPUESTO GENERAL DE LA ALTERNATIVA 2**

N°	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	PRECIO PARCIAL
1	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
1.1	Excavación con maquinaria en terreno común	m3	2064	16,96	35005,44
2	<b>SUPERESTRUCTURA</b>				
2.1	Colocado de balasto en cercanía de obras de arte	m3	2064	125,7	259444,8
2.2	Cambio de durmientes en mal estado	ml	7919	683,45	5412240,55
2.3	Cambio de rieles en mal estado	ml	602,41	1.427,53	859958,3473
3	<b>SEÑALIZACION</b>				
3.1	Colocado de letreros	pza	50	150	7500
4	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>				
4.1	Limpieza de la vía	ha	3,2	538,35	1722,72
4.2	Limpieza en obras de arte	ha	0,0218	538,35	11,73603
4.3	movilización y desmovilización	glb	1	6813,84	6813,84
				<b>TOTAL (Bs)</b>	<b>6.582.697,43</b>
	<b>COSTO TOTAL DE INFRAESTRUCTURA (Bs)</b>				<b>6.582.697,4</b>

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1.- CONCLUSIONES**

Realizando la evaluación de la actual vía férrea Yacuiba – Villamontes, específicamente el tramo Yacuiba- El Palmar, con sus respectivos análisis de cada estructura se llegó a las siguientes conclusiones:

- La vía férrea que transita de Yacuiba – Santa Cruz es de clase B según el reglamento de vías férreas ferrocarril Arica – La Paz. Y de clase 4 según la norma de clasificación y seguridad para vías de trocha 1000mm ET 03. Ya que la vía transita con regularidad con una velocidad de 30 km/hr para carga y 45 km/hr para pasajeros. También según esta última norma se clasifica en clase B ya que transporta 16 tn por eje.
- La trocha nominal cumple con lo requerido por la norma EFE chilena, teniendo una trocha de 1010 mm. Y no teniendo radios horizontales menores a 251 m.
- El trazado vertical cumple no teniendo curvas verticales menores a 300m en valles y 525m en crestas. El trazado horizontal cumple con lo requerido por las normas, no siendo menores a 100m y a 180m.
- Los peraltes en la vía fueron calculados con las fórmulas para ferrocarriles y se obtuvieron valores mayores a los que se tiene en la vía, a pesar de esta falta de peralte la norma solo especifica que no pueden ser mayores a 100mm, por esta razón decimos que si cumplieron.
- El defecto máximo del perfil longitudinal también fue medido en los lugares que se consideró más críticos sobre una base de 10m y se obtuvieron valores que no sobrepasan lo dicho por la norma, el defecto máximo encontrado fue de 10mm y el permisible es de 13mm, por lo que cumple.
- Se midió el alabeo de la vía del perfil transversal con un nivel para vías férreas y se encontró un valor máximo de 12mm en una sección, siendo el aceptable 18mm cumple con lo requerido por la norma.
- El balasto fue analizado realizando calicatas cada medio kilómetro, el valor de C.B.R. esperado para un lastre común como es nuestro caso es de 45%, pero no se llegó a esto ya que nuestro valor máximo alcanzado es de 10,93%, la vía no cumple con el valor esperado por las normas.

- Las durmientes o traviesas de la vía fueron evaluadas tomando una muestra de diez colleras por cada kilómetro de la vía, con los parámetros que nos brindan las normas, el menor porcentaje de durmientes en buen estado fue de 58,89/ en la progresiva 3+000, y un porcentaje más elevado el de la progresiva 14+00 con un valor de 74,99%, el promedio de todas las muestras de cada kilómetro es de 69,77 % de durmientes en buen estado , siendo el 50% lo mínimo esperado por la norma cumple con lo requerido. También se realizó la comprobación de la sección de las durmientes a flexión y a corte por el método de Clapeyron y comprobamos que la escuadría de 25\*20 cm cumple y trabaja bien. Por ultimo para las durmientes comprobamos el número de durmientes, según la norma cada collera de 12 metros debe tener como mínimo trece durmientes y se tiene en la vía 18 por collera.
- Se analizó los defectos de los rieles, tomando como muestra diez colleras de cada kilómetro y se obtuvo como máximo un 30% de rieles en mal estado y como mínimo un 10%, la norma nos dice que para los rieles no es permisible ningún defecto y en nuestra vía tenemos un 22,63% en mal estado, no cumpliendo. A su vez los rieles deberían contar con sillas de asiento en ocho cada diez durmientes, pero la vía tiene dos sillas de asiento en cada collera, y clavos improvisados en alguna durmiente. Se comprobó también el peso del riel por tres métodos cumpliendo el peso en dos de tres métodos, los rieles cumplen con el peso requerido pero no así con el porcentaje de rieles en mal estado.
- Finalmente se evaluaron las obras de arte, la vía al ser terraplén en su mayoría no cuenta con cunetas. Así que evaluamos las alcantarillas y los puentes, comprobamos las secciones de estas obras. El número de alcantarilla es deficiente al ser muy pocas, ya que una vía debe contar con una alcantarilla cada medio kilómetro. También se realizó el análisis mínimo que nos piden las normas. No transcurren cargas mayores a lo que se debe por las obras de arte, pero en el paso abierto que queda a menos de 30 m de un campamento de yacimientos se pasa con cargas superiores a lo que está calculada la vía. Los porcentajes de durmientes en buen estado son superiores a 60%, el más bajo es de la alcantarilla cajón de la progresiva 4+010, que tiene falta de durmientes, y afectadas por la humedad. Las obras de arte no cuentan con balasto de grava cien metros antes y cien metros después de estas, como especifica la norma que

deberían tener. Existe movimiento cuando se viaja en el tren al pasar por los puentes, más que todo por los puentes metálicos y los puentes provisorios más largos.

## **5.2.-RECOMENDACIONES**

Se dan las siguientes recomendaciones para mejora de la vía férrea en estudio:

- Ya que la vía férrea contamina acústicamente a Yacuiba se recomienda tomar en cuenta la readecuación de la estación, planteada en el capítulo cuatro del presente estudio.
- Si se requiere una modernización completa de la vía, se presentó una propuesta de trazado de la vía, la cual permitirá contar con una vía más rápida y que transporte mayores cargas por eje.
- Se recomienda colocar balasto a la vía, ya que es muy importante para que la vía conserve su geometría.
- Las durmientes que se encuentran en mal estado se deben cambiar, y las durmientes que están en lugares húmedos y pasen por alcantarillas y puentes deberán contar con un tratamiento previo para evitar moho, pudrición y taladro por la humedad.
- La vía no debería funcionar con rieles en mal estado, se recomienda cambiar estos inmediatamente para prevenir descarrilamiento. Así también para una mayor sujeción colocar sillas de asiento en cada durmiente, una a cada extremo.
- Para un mayor uso de la vía, y para una mayor ganancia de la empresa, el ferrocarril debería funcionar con mayor regularidad aumentando las salidas los fines de semana así como los usuarios requieren. Para esto se recomienda contar con una locomotora nueva, que pueda viajar con mayor velocidad, y soportar más carga.
- La vía férrea en estudio requiere nueva señalización de kilometraje ya que no cuenta en cada kilómetro con esta clase de señal. A no menos de 200 m de una obra de arte como puente y alcantarilla debe haber una señalización que indique esto y limite la velocidad, así también el maquinista debe realizar una señal audible para que las personas puedan tener en cuenta que se aproxima el tren. La señalización para el paso abierto deberá ser horizontal y verticalmente, colocando señal con pintura en el pavimento, y letreros de restricción de velocidad.
- Se recomienda implementar mas alcantarillas en la vía para evitar bordes y daños en la vía.