



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**ELEMENTOS QUE COMPONEN LA SUPER ESTRUCTURA DE
UNA VÍA FERREA MODERNA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
VEGA AGUIRRE**

**ASESOR:
ING. JULIO A. CHÁVEZ CÁRDENAS**

MORELIA, MICH. SEPTIEMBRE 2005



I INTRODUCCIÓN



RED FERROVIARIA NACIONAL

I.- INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XVIII se inició en Inglaterra una verdadera revolución económica y social provocada por una serie de transformaciones por el surgimiento de adelantos tecnológicos que permitieron remplazar la energía humana y animal por la fuerza motriz. El ritmo y las modalidades de la mecanización de la producción textil y minera, provocaron cambios en varias actividades en donde además de materias primas se requerían insumos de la siderúrgica, de la industria química, así como de la ingeniería de la maquinaria de vapor.

Las máquinas de vapor utilizadas inicialmente en la minería y en la industria textil, se generalizaron en las industrias manufactureras y extractiva, finalmente fueron adaptadas al transporte de personas y mercancías.

El ferrocarril constituyó una de las adaptaciones mejor logradas de la máquina de vapor, satisfizo una demanda creciente de servicios de transporte de materias primas e insumos semimanufacturados y de productos finales.

Antes del ferrocarril, el transporte de mercancías se realizaba a través de carretas movidas por tracción animal y por barcos, por lo que el ferrocarril ofrecía ventajas sin paralelo: podía transportar grandes volúmenes de carga y de pasajeros, sin importar las condiciones

climatológicas, con bajo costo de operación y en un tiempo más reducido que el de cualquier otro vehículo ya que la máquina se deslizaba sin resistencia sobre rieles de hierro.

El 13 de febrero de 1804 se hizo funcionar una máquina que por primera vez arrastró unos cuantos vagones sobre rudimentarios rieles de fierro. El 27 de septiembre de 1825 se inauguró la línea Stockton-Darlington con una máquina que arrastraba, además de algunos coches de pasajeros, una carga de minerales que debía ser embarcada en la costa. En 1829 se realiza un concurso donde triunfa la máquina *Rocket* (Fig. 1), cuya circulación a partir de 1830 marca el inicio de la era del ferrocarril. En esencia, la tecnología utilizada en la locomotora de vapor permanecería vigente durante casi cien años.

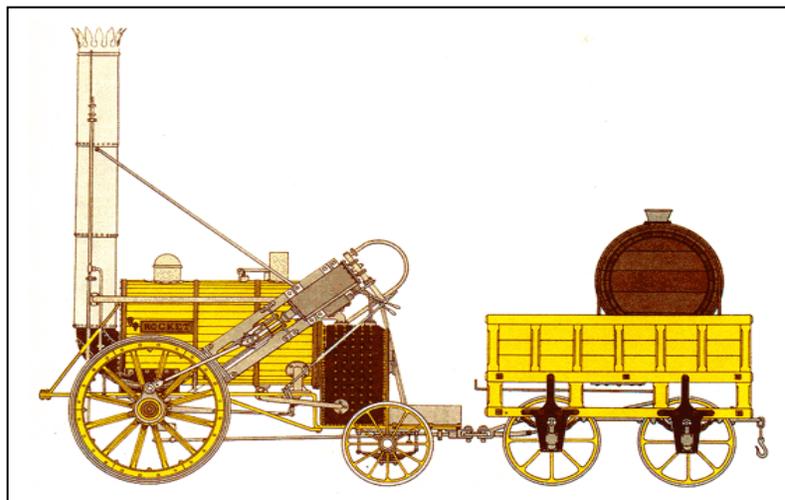


Fig. 1.- Máquina *Rocket*, que entró en funciones en 1830

El empleo de un medio de transporte más barato y eficaz hizo bajar el precio de las materias primas, permitió la movilidad de la mano de obra y la ampliación del mercado. El ferrocarril fue un elemento

clave para eliminar los obstáculos tradicionales que impedían el desarrollo de la industria y del comercio en una sociedad acostumbrada a pensar en términos regionales y limitada por un sistema fiscal paralizante. También los viajes, así como la circulación de periódicos y publicaciones extranjeras contribuyeron al cambio de mentalidad del europeo.

Estados Unidos también experimentó grandes transformaciones económicas y sociales entre 1830 y 1860. Los norteamericanos comenzaron a importar los inventos que estaban revolucionando la economía británica. El ferrocarril hizo su aparición en Estados Unidos junto con el barco de vapor, el telar mecánico y el telégrafo. En poco tiempo se convirtió en el símbolo del progreso que habían hecho posible las máquinas y las fábricas. En 1831 llegó *John Bull* (Fig. 2), la primera locomotora inglesa que operó en territorio norteamericano, dos años después quedaba concluida la línea Charleston-Hamburg que en su tiempo fue la más larga del mundo. A partir de ese momento el ferrocarril creció a un ritmo acelerado, por lo que poco antes de la Guerra Civil existía ya un sistema de líneas bien articuladas que contaba con 50,000 Km de longitud.

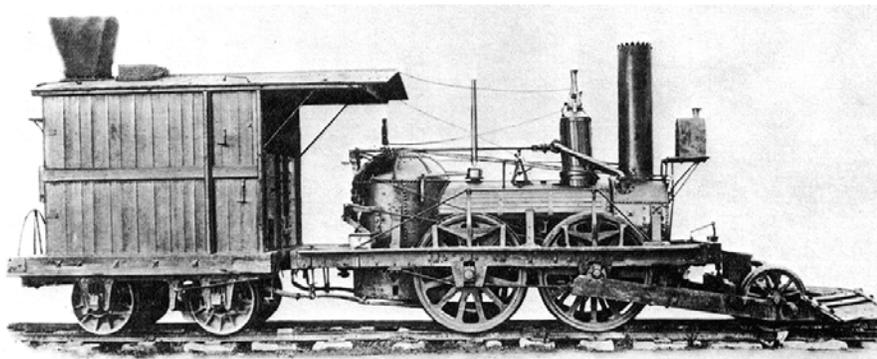


Fig. 2.- Locomotora *John Bull*, operó en 1831

Que permitían viajar entre Nueva York y San Luís, entre Boston E Illinois, o entre Filadelfia y el Estado de Missisipi, sin necesidad de transbordar. El número de kilómetros de vía construidos por los estadounidenses sólo en 1887 sobrepasó la suma que Inglaterra construyó a lo largo de medio siglo.

Así pues, entre 1830 y 1900 el ferrocarril permitió realizar el potencial de la Revolución Industrial en: Inglaterra, Francia y Alemania; en Estados Unidos fue la espina dorsal de un vertiginoso crecimiento económico.

La transformación que el ferrocarril produjo en Europa y en Estados Unidos, pronto fue conocida en México: los liberales a partir de la Independencia, comenzaron a tener conciencia de la necesidad de una verdadera integración económica y política de la nueva nación, y ésta dependía de la instalación de una red ferroviaria que unificaría regiones y provincias alejadas.

Uno de los primeros decretos que el Congreso de México expidió en 1824 autorizaba la construcción de un ferrocarril interoceánico que partiría del Istmo de Tehuantepec y daría nuevo impulso al comercio y a las importaciones. En 1837 el Estado mexicano otorgó a un rico comerciante y hacendado español (Francisco Arrillaga) una concesión para construir la línea que uniría Veracruz y la ciudad de México, planteada en términos que favorecían al Estado, ya que la compañía constructora estaba obligada después de once años, a pagar al erario

un millón de pesos destinados a mejorar los caminos aledaños, además se comprometía a terminar la obra en un plazo límite de doce años, a cobrar un precio fijo por los fletes, a construir posteriormente un ramal hasta la Ciudad de Puebla y a transportar la correspondencia gratuitamente. En compensación el Estado se comprometía a que ninguna otra empresa competiría por la explotación de la ruta México-Veracruz.

A pesar del entusiasmo que despertó esta concesión, varios factores como: el recrudecimiento del conflicto entre centralistas y federalistas, la Guerra de los Pasteles entre México y Francia y por último la muerte del propio Francisco Arrillaga, explican que dicha concesión caducara antes de que el proyecto fuese llevado a cabo.

Este primer fracaso no desalentó a los interesados en desarrollar el ferrocarril en México. Los sucesivos regímenes, centralistas o federalistas, también manifestaron la urgencia por iniciar la construcción de los caminos de fierro: entre 1837 y 1850 otorgaron cuatro concesiones bajo condiciones *sui generis*. El presidente Antonio López de Santa Anna propuso a algunos acreedores del Estado saldar sus deudas con la construcción de una línea entre Veracruz y el río San Juan, que quedaría hipotecada hasta que la deuda fuese cubierta para luego pasar a ser propiedad de la nación. Los acreedores no cumplieron con lo estipulado y el Estado tuvo que terminar la obra. Así quedaron terminados en 1850 los 13.6 Km del tramo entre Veracruz y el Molino, iniciando la circulación de carros de primera y segunda clase.

En 1853 nuevos decretos expedidos por el régimen santanista concedieron privilegio a particulares para la construcción de una línea entre Veracruz y uno de los puertos del Pacífico; sin embargo, el proyecto nunca se realizó. El incumplimiento de las empresas durante este periodo obedeció posiblemente a las rígidas condiciones impuestas por el Estado: por ejemplo la concesión que en 1855 se otorgó a la empresa Mosso Hermanos, además de no existir una subvención del gobierno, obligaba a la compañía a pagar el 10% de los rendimientos líquidos de la vía o tramo que se construyera, así como a transportar a mitad de tarifa municiones y tropas, concesión que fue comprada posteriormente por don Antonio Escandón.

En 1857 la empresa Mosso Hermanos, terminó los 6 Km de ferrovía entre la ciudad de México y la Villa de Guadalupe (Fig. 3), construida con rieles importados de Inglaterra, operándose con una locomotora originaria de Filadelfia, tramo que Ignacio Comonfort tuvo que vender a Antonio Escandón, ante la imposibilidad de que la empresa constructora cumpliera con las condiciones impuestas por Santa Anna en la concesión para construir y explotar un camino de fierro entre el Golfo y el Pacífico.

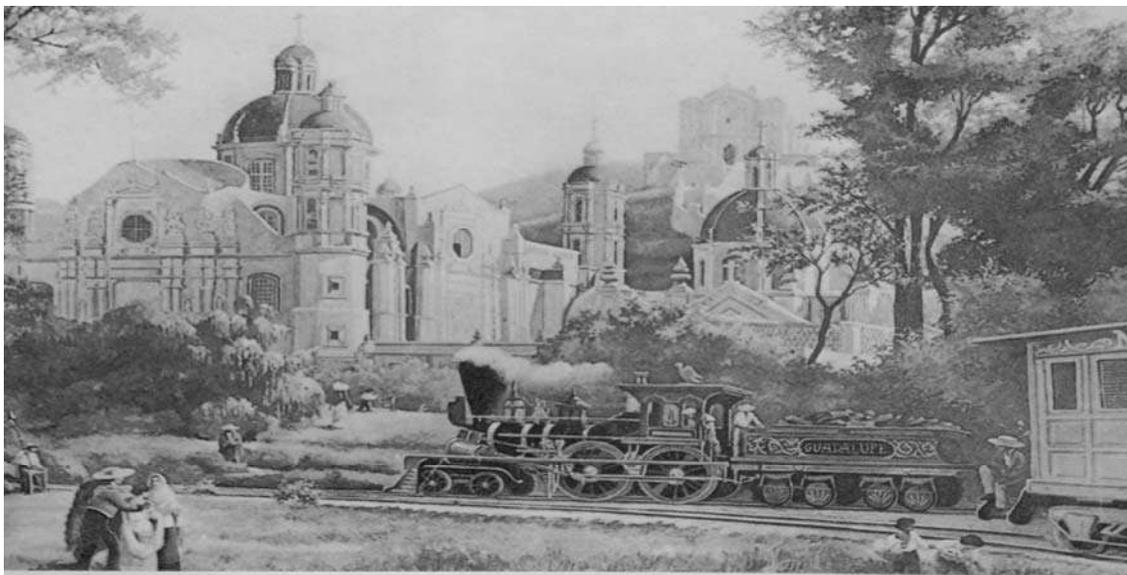


Fig. 3.- Ferrovía entre la Cd. De México y la Villa de Guadalupe (1857)

Estas experiencias hicieron que en adelante los gobiernos cambiaran la política en materia de concesiones y comenzaran a ofrecer subsidios para la construcción de las líneas más importantes.

El primero en obtener uno, por varios millones de pesos, fue Antonio Escandón para terminar la línea México-Veracruz. El subsidio estaba sujeto al cumplimiento de algunas condiciones: terminar la obra en el periodo establecido, no hipotecar el privilegio sin aprobación oficial y no vender la empresa al capital extranjero. El proyecto se interrumpió en el momento en que el Estado no pudo pagar la suma ofrecida al concesionario: la Guerra de Reforma había estallado.

La familia Escandón negoció un nuevo convenio con Juárez, que tampoco pudo ponerse en práctica por las guerras de Intervención y del Imperio. Sin embargo, la ocupación parcial del estado de Veracruz

por tropas francesas y la necesidad que éstas tenían de un medio de transporte para llegar a Puebla, dio lugar a un entendimiento entre los invasores y Escandón; así, en 1863 se logró completar el camino hasta Paso del Macho.

Durante el régimen de Maximiliano, la concesión otorgada a Escandón pasó a manos de una empresa inglesa, la Compañía Limitada del Ferrocarril Imperial Mexicano, que obtuvo un subsidio por parte del Estado. Esta compañía realizó la construcción del tramo de 139 Km, México-Apizaco, tramo que todavía pudo inaugurar Maximiliano.

Después de la caída del Imperio, tanto Escandón como la Compañía Limitada del Ferrocarril Imperial Mexicano perdieron provisionalmente sus derechos sobre la construcción de la línea México-Veracruz. En uso de sus facultades, Juárez expidió un decreto que indultaba, de la pena de caducidad en que había incurrido a la que pasaría a llamarse Compañía Limitada del Ferrocarril Mexicano.

En su empeño por ver terminada la obra, el gobierno otorgó a la empresa muchas más ventajas que antes (por ejemplo, la línea sería propiedad perpetua de la Compañía), lo cual suscitó una fuerte polémica en el Congreso y en la prensa.

Finalmente el compromiso adquirido por la Compañía Limitada del Ferrocarril Mexicano permaneció vigente después de que se

realizaran modificaciones importantes en el convenio, como por ejemplo la renuncia al privilegio perpetuo así como a la preferencia para construir ramales, a cambio de lo anterior el gobierno no daría subvenciones para construir otro ferrocarril entre México y Veracruz durante sesenta y cinco años. La construcción del ferrocarril se reinició sobre estas nuevas bases.

En septiembre de 1869 se inauguró el tramo de Apizaco a Puebla y poco después se abrieron las líneas de Veracruz a Atoyac y de Atoyac a Fortín, quedando pendientes el camino entre Orizaba y Boca del Monte así como la vía entre este punto y Maltrata. Esta tardanza se explica por los obstáculos que la geografía de la región oponía al trazado de líneas. A lo largo de 40 km debía salvarse una altura de 1178 metros; el terreno era accidentado y con pendiente, el ferrocarril tendría que desarrollar en vez de avanzar en línea recta, por último debía atravesar la barranca de Metlac (Fig. 4). Salvados estos obstáculos, la Compañía Limitada del Ferrocarril Mexicano en diciembre de 1872, notificó al Ministerio de Fomento que la obra había sido concluida.



Fig. 4.- Puente en la barranca Metlac

El 1º de enero de 1873, el presidente Sebastián Lerdo de Tejada (Benito Juárez había muerto en 1872) acompañado de una comitiva oficial y de un nutrido grupo de periodistas inauguró el Ferrocarril Mexicano saliendo en el primer tren a las 5 de la mañana para recorrer los 423.7 Km entre México y Veracruz. Durante el recorrido, en todas las estaciones salieron a recibir al presidente las autoridades locales, los destacamentos militares y toda la población civil. Los invitados y periodistas que realizaron el viaje inaugural, daban testimonio de la técnica empleada en la nueva obra de infraestructura con la que contaba el país. En este año empezaron a circular las 28 locomotoras *Fairlie* (Fig. 5) y 377 vagones para el transporte de carga y de pasajeros que la Compañía Limitada del Ferrocarril Mexicano había importado de Europa y Estados Unidos.

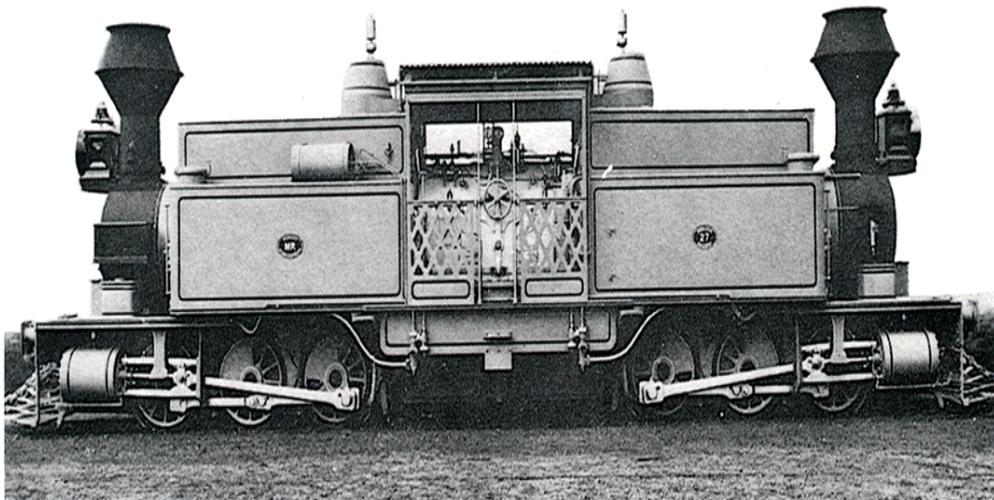


Fig. 5.- Locomotora *Fairlie* (1873)

En un primer momento el Ferrocarril Mexicano no pudo satisfacer, con esta infraestructura la demanda abrumadora de servicios de transporte. Las expectativas puestas en la línea México-Veracruz hicieron que los comerciantes del puerto almacenaran grandes volúmenes de mercancías de importación, que esperaban ser trasladadas a la ciudad de México en cuanto se inaugurara el ferrocarril. Parte de estas mercancías tendría que llegar a México en la forma tradicional transportadas en carretas o en mula, como era la costumbre desde la llegada de los españoles en el siglo XVI.

Sin embargo, el innegable adelanto que implicó la terminación del Ferrocarril Mexicano, se manifestó en el aumento de tráfico de mercancías gracias al bajo costo de los fletes, al tiempo de recorrido (dieciséis horas en tren, tres días y medio en diligencia) y en el incremento de las importaciones. Antes de la inauguración de la línea México-Veracruz circulaban por los viejos caminos un promedio anual de 35 mil toneladas de productos, mientras que en la década de los setenta esta cifra ascendió a 79 mil toneladas.

Durante el mandato de Porfirio Díaz se inició un programa de reconstrucción de las líneas que habían sido dañadas por la revolución de Tuxtepec, que lo había llevado al poder, al mismo tiempo que obligaba a las empresas a cumplir con los términos de los compromisos adquiridos en el pasado. El desorden que reinó en

materia de concesiones durante la República Restaurada llevó a los porfiristas a discutir acaloradamente la conveniencia de aplicar una política diferente con el fin de promover el desarrollo ferroviario.

Con base en esta discusión, el entonces ministro de Fomento, Vicente Riva Palacio, puso en práctica una nueva estrategia. En primer lugar, decidió que la construcción de una línea corta entre Tehuacán y La Esperanza corriera por cuenta del Estado; por otra parte, entre 1876 y 1880 otorgó veintiocho concesiones a los gobiernos de los estados; de ellas cuatro caducaron, doce no fueron utilizadas, y en otras ocho fueron construidos 226 Km de líneas de vía angosta donde circulaban carros movidos por tracción animal. Las obras fueron realizadas por compañías locales que construyeron los siguientes tramos: Celaya-León, Ometusco-Tulancingo, México-Cuautla, San Luís-Tampico, Zacatecas-Guadalupe, Alvarado-Veracruz, Puebla-Izúcar y Mérida-Peto. Simultáneamente, Matías Romero propuso sin éxito alguno, liquidar “la deuda inglesa” mediante la construcción de un ferrocarril de 1000 Km que uniera el pacífico con la ciudad de México.

Además de poner en práctica estas medidas, Riva Palacio otorgó concesiones a compañías extranjeras que sentaron las bases de proyectos ambiciosos, como la construcción de los ferrocarriles Interoceánico e Internacional hacia la frontera norte. En 1880 el Congreso aprobó las propuestas de tres compañías norteamericanas; el Ferrocarril Central Mexicano trazaría la línea entre México y Paso del Norte; la Constructora Nacional Mexicana tendría las líneas

México-Nuevo Laredo y México-Manzanillo; finalmente, el Ferrocarril de Sonora comunicaría Guaymas con Paso del Norte. Estas concesiones gozarían de un subsidio gubernamental y estarían en vigencia durante 99 años, momento a partir del cual las líneas pasarían a ser propiedad de la nación.

El hecho de que la construcción de las troncales más importantes del país estuviera en manos del capital estadounidense suscitó una ola de protestas en la prensa y en el Congreso. Se argumentaba qué, a diferencia de México, Estados Unidos estaba en pleno auge industrial y que los ferrocarriles mexicanos servirían fundamentalmente para ampliar sus mercados y abastecerse fácilmente de materias primas. Por otra parte, la opinión pública veía con desconfianza el aumento de las inversiones estadounidenses en la minería y la agricultura que posiblemente seguirían al desarrollo ferroviario. Esto no interrumpió el naciente proceso: en la década de los ochenta, Estados Unidos terminó varias líneas hasta la frontera mexicana, lo cual aceleró la construcción de vías férreas entre México y la frontera norte en el mismo periodo. En 1881 la compañía del Ferrocarril Central Mexicano comunicó México y San Juan del Río, en el mismo año el Ferrocarril de Sonora terminó el tramo entre Guaymas Y Hermosillo, que poco después se extendió hasta Nogales, en 1882 ya era posible viajar entre México y Lagos, y desde Paso del Norte hasta Chihuahua; así mismo, la compañía Constructora Nacional Mexicana concluyó las líneas México-Toluca, Laredo-Monterrey y Manzanillo-Armería.

En 1883 la Constructora Nacional Mexicana inauguró los tramos Toluca-Acámbaro-Celaya-San Miguel de Allende y Monterrey-Saltillo.

En 1884 el Ferrocarril Central Mexicano, finalmente terminó los 1,970 Km que separan a México de la frontera norte, por Querétaro, Irapuato, León, Aguascalientes, Zacatecas, Torreón, Jiménez y Chihuahua. Ya era posible viajar entre México y Chicago por medio del Central que conectaba con las líneas Atchinson, Topeka y Santa Fe, Hannibal y San José, y la de Chicago, Burlington y Quincy.

Sin embargo estos proyectos se realizaron sin que existiera una política adecuada que guiara el trazado de rutas, ni un criterio que normara el ancho de las vías. Por ejemplo, la Compañía Nacional Constructora adoptó el escantillón angosto, y terminó 1,164 Km de tramos dispersos que no podían integrarse en un sistema. De los 4,658 Km construidos durante la administración de Manuel González, 2,834 fueron de vía ancha y 1,824 de vía angosta, algunas de las cuales eran para tracción animal (Fig. 6).



Fig. 6.- Carga y descarga de flete en Vías de patio, plataformas de tracción animal

Si bien González heredó las condiciones bajo las cuales su antecesor negoció las concesiones, su intención personal fue siempre la de obtener ventajas para el país por encima de los intereses privados. Logró que las concesiones otorgadas a las compañías del Ferrocarril Internacional, para trazar una línea más entre México y la frontera norte y del Ferrocarril Meridional Mexicano, para construir una línea entre Antón Lizardo y Puerto Ángel, no recibieran subsidio por parte del Estado mexicano y obtuvo de otras compañías la realización de obras de infraestructura. A lo anterior hay que añadir que al terminar su administración, los ferrocarriles Central, Mexicano, Sonora, Tehuantepec, Progreso, Tehuacán e Internacional formaban ya la espina dorsal del sistema que Porfirio Díaz desarrollaría en los años siguientes.

El gobierno de Díaz en su segundo periodo estuvo marcado por otros logros importantes, impulsó el crecimiento ferroviario mediante la reducción del gasto público, el aumento de los impuestos y la negociación de la deuda pública que impedía el acceso al capital europeo. La conjunción de estos factores explica que para 1890, Díaz hubiera logrado terminar las troncales más importantes del país. Esto es, las líneas que unían la ciudad de México con tres puntos estratégicos de la frontera norte: Nuevo Laredo (Nacional Mexicano), Paso del Norte (Central Mexicano) y Piedras Negras (Internacional Mexicano). El sistema del Ferrocarril Interoceánico se completó en 1891 y comenzó a competir con el Mexicano por el tráfico entre México y Veracruz.

Los ferrocarriles yucatecos habían sido construidos por capitalistas locales interesados en exportar el producto de las prósperas haciendas henequeneras, el sistema ferroviario peninsular se había extendido hasta integrarse con otras líneas. Asimismo, varias ciudades importantes en el centro del país quedaron comunicadas: San Luís y Tampico, Guadalajara e Irapuato, Manzanillo y Colima, San Blas y Tepic, Matamoros y Monterrey, Puebla y Oaxaca. Finalmente, en 1894 el primer tren del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec recorrió los 310 Km de Coatzacoalcos a Salina Cruz. Para el año de 1895 se llegó a un total de 11,890 Km de vía.

La ley de 1899 estableció un conjunto de principios en materia de subvenciones. Ningún financiamiento podría otorgarse fuera del presupuesto asignado a la construcción de ferrocarriles; la subvención

no se pagaría en efectivo sino con bonos de la deuda pública; los pagos se harían por secciones correspondientes a 100 Km como mínimo. No obstante entre 1898 y 1910 las compañías que gozaban de una concesión anterior a la Ley de 1899 o que habían aceptado realizar el proyecto sin subsidio después de su promulgación, construyeron 7,108 Km de vías férreas. El ferrocarril de Pachuca a Tampico, el de Tlacotepec a Huajuapán de León, el de Coahuila al Pacífico, el de Nacozari, el Oriental Mexicano, los Ferrocarriles Unidos de Yucatán, así como algunas ampliaciones del Internacional, del Central y del Nacional, fueron terminados durante esta época.

El 29 de Febrero de 1908 se firmó el convenio definitivo entre el gobierno federal y las firmas extranjeras representantes de accionistas y acreedores de las líneas fusionadas. El convenio hacía hincapié en la “transferencia de todas las propiedades pertenecientes a las compañías actuales organizadas en el extranjero a favor de una compañía nacional constituida en la República Mexicana y administrada por una junta directiva domiciliada en la ciudad de México”. Así nacieron los **Ferrocarriles Nacionales de México**, cuyo principal accionista era el Estado.

El capital social de **Ferrocarriles Nacionales de México** ascendía a 460 millones de pesos en los cuales quedaban incluidos: el capital de las compañías que se habían fusionado (Ferrocarril Central Mexicano, Constructora Nacional Mexicana y otras pequeñas compañías locales), la deuda de dichas compañías que se convertía

en acciones de la nueva empresa (Fig. 7) y finalmente las acciones expedidas por el gobierno después de la fusión.



Fig. 7.- Acción de los Ferrocarriles Nacionales de México, impresa en papel moneda (1909)

De los 460 millones del capital social, el Estado era poseedor de 230 millones, y por lo tanto el accionista mayoritario. El resto de los accionistas eran extranjeros y residían casi en su totalidad en Nueva York.

Fue así como el Estado adquirió el control de las principales líneas del país 8,343 Km y con ello, la posibilidad de definir una política de construcción y de explotación ferroviaria. No obstante, la deuda contraída al garantizar el pago de los títulos emitidos por la empresa nacional (F.N. de M.), pesaría largamente sobre las finzas

públicas. En efecto, para no desalentar la inversión extranjera, que paso de 110 millones de pesos en 1884 a 3400 millones de pesos en 1909, el régimen porfirista sobrevaluó la masa de títulos del Ferrocarril Central Mexicano y gravó a la nueva compañía (F.N. de M.) con una deuda consolidada. El estallido revolucionario echaría por tierra la esperanza de que las utilidades brutas de los **Ferrocarriles Nacionales de México** sirvieran para cubrir esta deuda.

La formación de esta empresa ferroviaria nacional tuvo efectos positivos para los empleados de las líneas, que desde años atrás habían luchado por la “mexicanización” a través de sus organizaciones gremiales, manifestando su descontento por el trato injusto que las compañías extranjeras daban a los mexicanos y por un sistema que favorecía a los empleados estadounidenses que por principio ocupaban los puestos mas importantes. Protestaban también por el uso del idioma inglés, cuyo dominio era un requisito indispensable para desempeñar cualquier puesto.

El 17 de julio de 1909 se inicia el proceso de “mexicanización” de los ferrocarriles con el relevo de un centenar de despachadores estadounidenses que se había declarado en huelga, por telegrafistas copiadores mexicanos que habían sido capacitados en las escuelas establecidas por la empresa, proceso que duro cinco años ya que los maquinistas, conductores, jefes de trenes, superintendentes de división, maestros mecánicos y oficinistas extranjeros abandonaron sus cargos en los Ferrocarriles Nacionales de México, después de

haber fracasado el movimiento a través del cual trataron de evitar que los mexicanos ocuparan estos cargos.

La expansión ferrocarrilera durante el porfiriato, transformó la estructura productiva del país. Gracias a esta expansión, las regiones más pobladas y más ricas quedaron comunicadas entre sí y además enlazadas con las zonas mineras, los principales puertos (Fig. 8) y las fronteras. Esto permitió que México se convirtiera en un país exportador de oro, plata, café, maderas finas y henequén.



Fig. 8.- Puerto de Tampico (1909)

Las regiones que fueron atravesadas por los caminos de fierro pasaron de una economía de autoconsumo a una economía mercantil, los mercados locales se vincularon con la economía nacional, y ésta

con el mercado exterior. El ferrocarril hizo prosperar ciudades como Aguascalientes, Guadalajara, Toluca, Chihuahua, Saltillo y Torreón.

Al celebrarse las fiestas del centenario de la Independencia de México, en 1910, el país contaba con 18,724 Km de vías férreas bajo jurisdicción federal, por las que circulaban ya regularmente máquinas de vapor (Fig. 9).

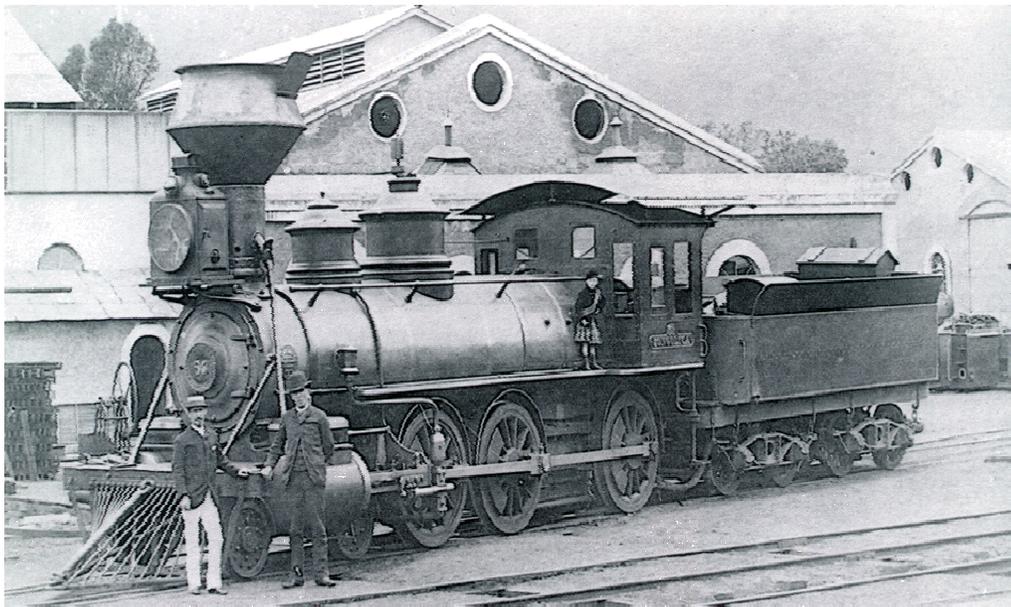


Fig. 9.- Locomotora de vapor de (1910)

Si se incluyen las líneas que se fusionaron en la compañía Ferrocarriles Nacionales de México y las líneas que quedaron en manos privadas, la nación disponía de 19,280 Km de vías férreas. Las consecuencias de la revolución de 1910, fueron la destrucción de las líneas así como de máquinas y de vagones que fueron utilizados para trasladar las tropas y la artillería. Paradójicamente, así como en el

siglo XIX el ferrocarril representó el progreso y la modernización, a partir de la Revolución mexicana el ferrocarril simbolizó el conflicto, convirtiéndose en un poderoso medio de control político y en arma estratégica para todos los bandos.

El dominio de las vías y de las instalaciones permitía emprender ofensivas o retiradas; su destrucción, frenar el avance del enemigo, razón por la que el uso militar de los trenes se generalizó.

En el año de 1917, con Felipe Pescador como director de los Ferrocarriles Constitucionalistas, da inicio la obra de reconstrucción del ferrocarril, la mayor parte de los puentes, estaciones, rieles, y durmientes instalados durante el porfiriato quedaron inservibles y el 40% de las locomotoras y de los carros estaban fuera de servicio por que habían sido dañados durante las hostilidades. Los talleres nacionales establecidos en México, Piedras Negras, Aguascalientes y Monterrey repararon y dieron mantenimiento a una buena parte del equipo rodante. Poco a poco, la situación de los ferrocarriles volvió a la normalidad. Las irregularidades causadas por los militares que desconocían los reglamentos de trenes desaparecieron y el personal especializado volvía a ocupar sus puestos. Bajo la dirección de Felipe Pescador fueron terminados los ramales de Cañitas a Durango, de Llano Grande a Ciénega de los Caballos y al Salto. En junio de 1919, se unificaron bajo una misma administración todos los ferrocarriles manejados por el gobierno.

Una vez que la lucha armada hubo terminado, el Estado fue el principal interesado en continuar impulsando la reconstrucción ferroviaria. Al morir Venustiano Carranza en 1920, el proyecto fue asumido por Álvaro Obregón como propio. Además de reparar las vías, las instalaciones y el equipo rodante, el esfuerzo de Obregón estuvo dirigido a saldar la deuda ferrocarrilera. La acumulación de las obligaciones vencidas y no pagadas había hecho crecer esta deuda de manera alarmante para 1922 ya ascendía a 133 millones de dólares, lo que representaba el 31% de la deuda externa y la presión de los acreedores tanto europeos, como estadounidenses no dejaba de hacerse sentir, éstos estaban conscientes de que México necesitaba pagar para obtener nuevos créditos internacionales, sin los cuales sería imposible continuar la rehabilitación ferroviaria que había sido emprendida. Al comenzar los años treinta el ferrocarril seguía siendo la espina dorsal del sistema de transporte en México y contaba con una extensión de 23,345 Km de vías.

Al tomar posesión como presidente Cárdenas en 1934, la situación de los Ferrocarriles Nacionales era crítica. Además de que las utilidades de la empresa eran muy inferiores a los gastos que tenía que sufragar, a partir de la gran depresión las inversiones estadounidenses en ferrocarriles habían sido suspendidas. En estas circunstancias, Cárdenas consideró que la única manera de salvar a la empresa de la ruina era que el Estado participara directamente en su administración. Tres fueron los argumentos utilizados para justificar las medidas que adoptaría con este propósito. Primero, el transporte ferroviario era una institución de servicio público, que debía ser

manejada de acuerdo con los intereses nacionales. Segundo, la explotación y la construcción de vías férreas tenían que obedecer a un proyecto global. Finalmente, la deuda contraída por la empresa a lo largo de varias décadas debería ser saldada, a riesgo de que el equipo ferroviario pasara a manos de los acreedores.

Los bienes de los Ferrocarriles Nacionales de México fueron expropiados por causa de utilidad pública el 23 de Junio de 1937.

Cárdenas fundó la compañía constructora Líneas Férreas de México, S.A., que quedó encargada de la administración de las líneas del antiguo Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, de Veracruz a Alvarado y de San Juan Evangelista al Juile, así como la construcción de nuevas líneas entre Mazatlán y Durango, entre Uruapan y un punto del Río Balsas con una extensión hasta el Pacífico; entre Oaxaca y el Pacífico, finalmente, entre Jesús Carranza y Campeche para entroncar con los Ferrocarriles Unidos de Yucatán.

Para 1942 el gobierno estadounidense envió una Misión Norteamericana de Ferrocarriles a México, cuyo propósito fue apoyar al gobierno mexicano en el esfuerzo de reconstrucción ferroviaria, para Estados Unidos era de vital importancia que México contara con un sistema más eficiente, al menos durante los años de la segunda guerra mundial. En efecto, durante la guerra México exporto a Estados Unidos grandes cantidades de materias primas provenientes de toda América Latina. Entre 1940 y 1945 los Ferrocarriles Nacionales y el Interoceánico realizaron el 85% del servicio de transporte hacia el

norte (Fig. 10), más de 12 millones de toneladas anuales, en la última década de los treinta se transportaron 7 millones de toneladas anuales.



Fig. 10.- Durante la Guerra, los ferrocarriles movieron la carga

La Misión enviada por Estados Unidos, no realizó obras de infraestructura duraderas su propósito era poner en servicio las líneas que unían las dos fronteras y de esta manera en la línea México-Nuevo Laredo se cambiaron rieles y durmientes, se reforzaron algunos puentes y se instaló nuevo balasto.

Por esos mismo años el gobierno mexicano realizó obras de mayor envergadura: la línea Caltzontzin-Apatzingán (126 Km) quedó casi terminada en 1942, se avanzó en la construcción de las líneas Sonora-Baja California (inaugurada en abril de 1948) y del Ferrocarril del Sureste (inaugurado en mayo de 1950).

Al terminar la segunda guerra mundial, la administración de Ávila Camacho reconoció la urgencia de que el Estado impulsara la

reconstrucción y modernización ferroviaria, cuyo equipo rodante e instalaciones estaban seriamente dañados por falta de mantenimiento y por el uso intensivo a que se les había sometido durante la guerra.

Una de las primeras medidas adoptadas para mejorar el estado de la empresa, fue un aumento de tarifas, muchas de las cuales estaban vigentes desde 1925.

En el año de 1947 la Administración de Ferrocarriles Nacionales de México, obtuvo un préstamo del extranjero con la finalidad de sanear sus finanzas y además atacar problemas inmediatos de rehabilitación, así como también realizar el cambio de vía angosta a vía ancha en el Ferrocarril Interoceánico y del Mexicano del sur; reforzar los terraplenes y puentes, renovar los durmiente y remplazar el balasto en las principales líneas del norte y del sureste; renovar los rieles por otros de mayor peso, en estas líneas a fin de hacer posible el uso de las máquinas diesel que habían sido adquiridas en 1946 (Fig. 11), y que ya se utilizaban con gran éxito en Europa y en los Estados Unidos.

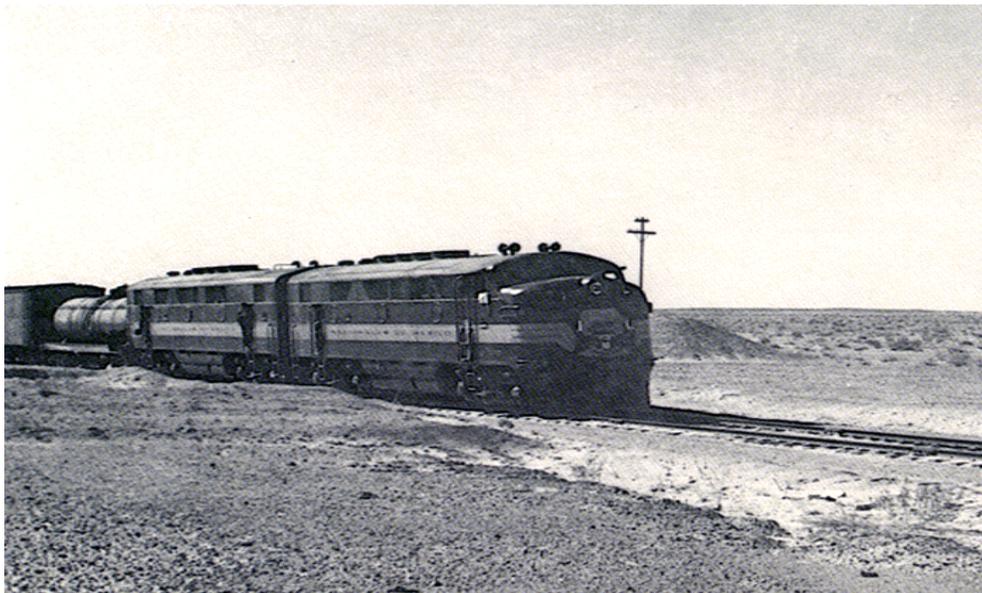


Fig. 11.- Maquinas diesel adquiridas en 1946

Entre 1947 y 1961, fueron realizados tres proyectos ferroviarios que contribuyeron a la integración geográfica del país. Se terminaron las líneas que unirían los dos extremos del territorio: los ferrocarriles Sonora-Baja California y del Sureste, además se iniciaron las obras de las líneas México-Tuxpan y Durango-Mazatlán. Finalmente en 1961 fue inaugurado el Ferrocarril Chihuahua al Pacífico (938 Km).

Hacia 1964, México contaba con 23,619 Km. de vías férreas administradas por diez empresas (Fig. 12).

EMPRESA	KILOMETROS
Nacionales de México	16,859
Ferrocarril del Pacífico	2,573
Chihuahua al Pacífico	1,665
Ferrocarril del Sureste	815
Unidos de Yucatán	674
Sonora-Baja California	601
Coahuila y Zacatecas	186
Ferrocarril de Nacozari	134

Tijuana y Tecate	77
Occidental de México	35
SUMA	23,619

Fig. 12.- Líneas férreas administradas por empresas privadas (1964)

A partir de la década de los sesenta, fue alcanzándose la completa nacionalización del sistema ferroviario. En 1965, el Ferrocarril de Nacozari comenzó a ser administrado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y una vez construido el ramal Naco-Agua Prieta, en 1968 la línea Nacozari pasó a manos del Ferrocarril del Pacífico. Ese mismo año, los Ferrocarriles Nacionales de México tomaron posesión de la ferrovía Coahuila y Zacatecas; asimismo se fusionaron el Ferrocarril del Sureste y los Unidos de Yucatán en una misma empresa. En 1970, el Occidental de México fue integrado al sistema de los Nacionales de México, y el Estado adquirió la línea Tijuana-Tecate para incorporarla al Ferrocarril Sonora-Baja California.

A pesar de los esfuerzos realizados al nacionalizar, rehabilitar y modernizar el sistema ferroviario, en las décadas de los sesenta y los setenta, viejos problemas seguían obstaculizando el desarrollo de este medio de transporte tan importante para el país. Los ferrocarriles fueron descuidados paulatinamente, de tal manera que al iniciarse los años ochentas, su estado llegó a un punto crítico. Era pues, más obvia la imposibilidad de que los ferrocarriles crecieran eficientemente si no se cambiaban de manera radical las tendencias del pasado y se

revisaba su función como empresa y como servicio público. Fue por ello que en el contexto del Plan Nacional de Desarrollo y con el propósito de consolidar al ferrocarril como la columna vertebral de un sistema de transporte moderno e integrado, en la administración de Miguel de la Madrid Hurtado (1982-1988), se elaboró un plan de trabajo que se llamo: “**Programa de Modernización del Sistema Ferroviario Nacional**” y que fue iniciado en 1983.

Este Programa tiene como objetivo de servicio: incrementar la participación del ferrocarril en el mercado nacional del transporte, estar presente en el mercado de los movimientos de gran volumen para los que el ferrocarril es técnica y económicamente más apto (Fig. 13), ofrecer nuevos servicios de pasajeros y buscar la participación activa del ferrocarril en el transporte multimodal. Al mismo tiempo pone especial atención en la recuperación del tráfico de productos que se han desviado al auto transporte y además plantea una reestructuración a fondo del sistema.



Fig. 13.- Transporte de grandes volúmenes de minerales, cemento, granos, partes automotrices, etc.

Una nueva responsabilidad que deben asumir los ferrocarriles es el transporte suburbano de pasajeros en las grandes ciudades, para resolver los graves problemas de vialidad y transporte masivo diario de personas y constituirse así en instrumento de orientación del desarrollo urbano y mejor uso del suelo.

Como empresa pública: el Programa considera que Ferrocarriles, debe ser un importante instrumento para reforzar la vida económica del país, para lograr lo anterior fija como meta la búsqueda de la autosuficiencia financiera, para ello es indispensable una administración racional de los recursos transferidos por el Estado, un incremento en la productividad y la actualización de las tarifas de tal modo que sean consistentes con los gastos de operación.

En materia de Infraestructura: se debe intensificar la conservación y rehabilitación de la vía y de los puentes, durante muchos años estos trabajos estuvieron por debajo de las necesidades reales, provocando con esto la destrucción e inhabilitación de una parte de las líneas férreas.

La típica vía clavada sobre durmiente de madera debe ser sustituida en su totalidad por vía elástica, con riel de alto calibre, soldado continuo, sobre durmientes de concreto y sujeción elástica, si queremos desarrollar más altas velocidades y operar con seguridad equipo moderno de mayor peso por eje.

Terminar la construcción de obras nuevas que están en proceso, como son: La doble vía México-Querétaro electrificada (Fig. 14), Ferrocarril Mexicano tramo Los Reyes-Ciudad Mendoza (78 Km) relocalización para mejorar la pendiente de 4.6% a 2.5% y la curvatura de 11° a 6°, la nueva vía corta Guadalajara-Monterrey tramos Guadalajara-Encarnación (200 Km), Salinas-Laguna Seca (125 Km) y libramiento de Monterrey (60 Km), la troncal Veracruz-Tampico (400 Km), rectificación Texistepec-Almagres (22 Km), rectificación Ajuno-Caltzontzin (46 Km).

En los trabajos de patios y terminales Concluir el de Lázaro Cárdenas, el de marina en Coatzacoalcos, el de Lechería, el de Ahorcado y el de Ciudad Guzmán.

En los accesos a puertos industriales, se requiere, terminar el de Altamira (34 Km) y el de Lázaro Cárdenas (12 Km)



Fig. 14.- Doble vía Electrificada México-Querétaro (247 Km)

En el mediano plazo, deberá proseguirse la construcción de obras nuevas para mejorar o dotar de accesos ferroviarios a zonas de desarrollo prioritario. Entre otras, la vía corta de México a Tampico, la línea costera del golfo Durango-Mazatlán, Matamoros-Ciudad Victoria, doble vía Querétaro-Irapuato-Guadalajara, doble vía a San Luís Potosí y a Veracruz, así como la de Saltillo a Monterrey.

Analizar la factibilidad técnica y económica de continuar electrificando el sistema, modernizar o construir un sistema de nuevas

terminales para la clasificación de carros, que permita una mejor operación y distribución de unidades vacías.

En el área de telecomunicaciones: una señalización adecuada incrementa no solo la capacidad de tráfico de la red sino, lo que resulta más importante, aumentan la seguridad. Actualmente en 900 Km se cuenta con el sistema de control de tráfico centralizado (CTC); en el resto de las líneas se opera con el sistema de órdenes de tren. En este programa esta contemplado terminar la señalización ya iniciada entre Irapuato y Guadalajara, entre San Luís Potosí y Saltillo. Además se ha programado realizar la señalización de México a Veracruz, y de Córdoba a Coahuila de Zaragoza y se pondrá en funcionamiento el sistema de señales de la doble vía electrificada de la ruta México-Querétaro-Irapuato (Fig. 15).

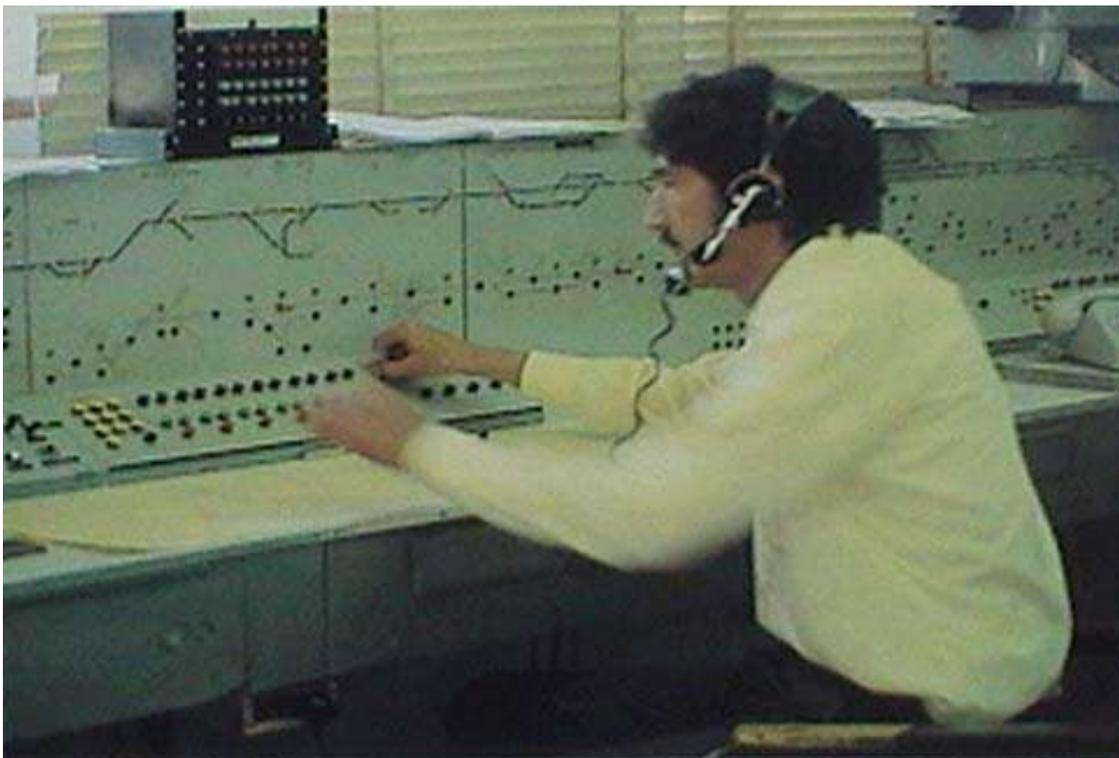


Fig. 15.- Sistema de control de tráfico centralizado (CTC)

La introducción de procedimientos más modernos de telecomunicaciones permite implantar nuevos sistemas de control de operaciones en tiempo real y hará factible la utilización del teleproceso que se podrá aplicar a un sin número de actividades.

Es indispensable la extensión del “sistema de control de tráfico centralizado (CTC)” a toda la red ferroviaria (Fig. 16).

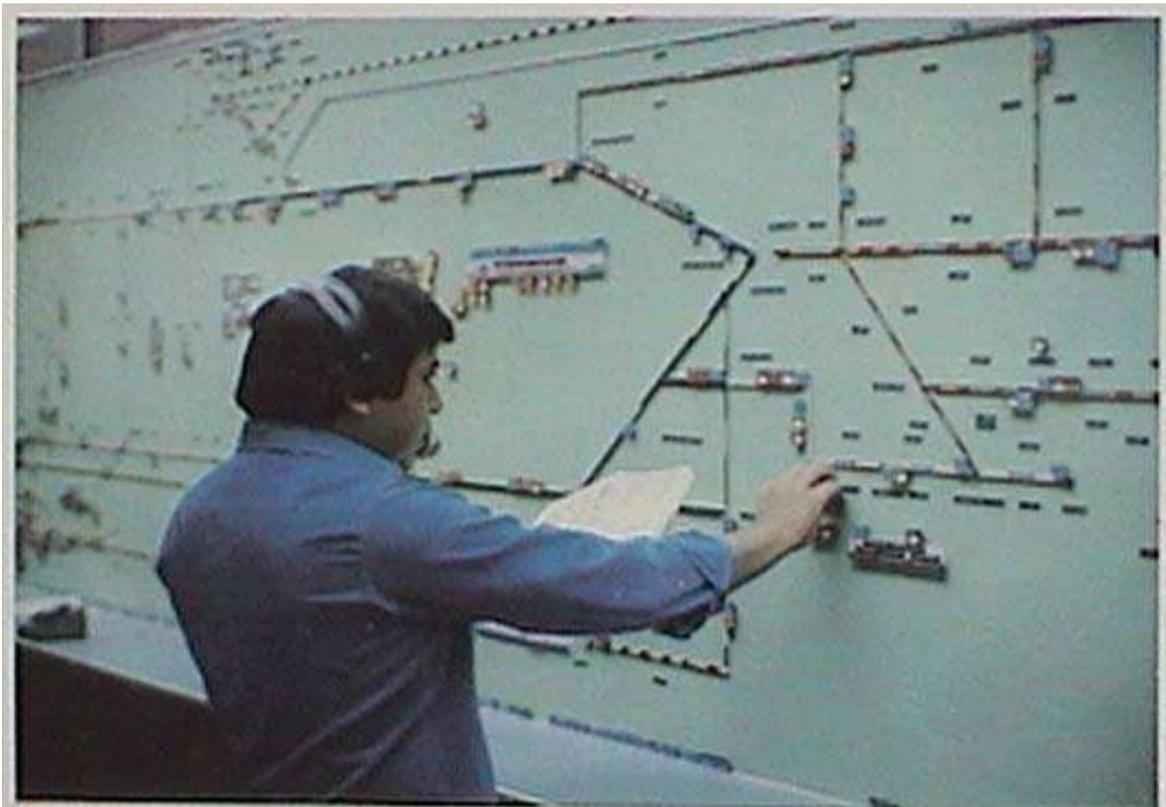


Fig. 16.- Puesto de control de tráfico centralizado

Ferrocarriles no podrá dar un buen servicio si no cuenta con un buen sistema de comunicación como son: señalamientos eficientes,

telecomunicaciones y microondas perfeccionados, radio en las locomotoras, estaciones y centros de trabajo.

Fuerza tractiva y equipo de arrastre: el programa contempla realizar cambios en los procedimientos y la organización, implantación de mejores controles de calidad, capacitación de oficiales y operarios, así como realizar inversiones en maquinaria, obras civiles y electromecánicas de los talleres.

Uno de los obstáculos principales en la disponibilidad de la fuerza tractiva es el elevado número de unidades internadas en los talleres, ocasionando fuertes requerimientos de materiales, mano de obra calificada, componentes y refacciones. Cíclicamente este fenómeno se agrava en la medida que se recurre a la inevitable sobreutilización de las unidades disponibles, (Fig. 17).



Fig. 17.- Locomotoras en un taller de San Luís Potosí

Para resolver este problema es necesaria la reparación de 152 locomotoras y la rehabilitación de 275, que hacen un total de 427 locomotoras en taller (24% de toda la fuerza tractiva), así como también es urgente, la rehabilitación de 50 motores diesel (Fig. 18).



Fig. 18.- Locomotoras en un taller de Aguascalientes

Tomando en cuenta las 39 locomotoras eléctricas adquiridas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que entrarán en funcionamiento en la vía electrificada México-Querétaro en 1988, se estima que no se requerirá fuerza tractiva nueva en lo que resta de la década, (Fig. 19)



Fig. 19.- Locomotora General Eléctric, clase E60C, 6000 HP

Las locomotoras eléctricas son de 6 ejes, de 6,000 HP de potencia nominal, motores de tracción tipo serie de corriente continua, alimentados por medio de convertidores estáticos que lleva la locomotora, con dispositivos para mejorar el factor de potencia y para conversión a freno dinámico.

El Programa de Modernización Del Sistema Ferroviario Nacional se inició en noviembre de 1983, contemplando los siguientes objetivos generales: Modernizar la comercialización, ampliar las alternativas de servicios y mejorar la atención a los usuarios, reducir los tiempos de traslado e incrementar la seguridad de la operación; optimizar el uso de la infraestructura y del equipo disponible e incrementar la productividad del personal mediante su mejor capacitación, avanzar en el saneamiento financiero adecuando la estructura tarifaria y la estructura contable y presupuestal.

Entre los principales avances logrados figura la nueva Ley Orgánica de los Ferrocarriles Nacionales de México, publicada en

1984 y la cancelación de las concesiones del Ferrocarril de Chihuahua al Pacífico y del Ferrocarril Sonora-Baja California, así como de la empresa Servicio de Coches Dormitorios y Conexos, S.A. de C.V. cuyos activos, propiedades y servicios se traspasaron a Ferrocarriles Nacionales de México, en noviembre de 1986, conformando así un solo organismo ferroviario.

Ferrocarriles Nacionales de México constituye una empresa estratégica del estado mexicano, posee una organización y legislación propia, es autónoma en la toma de sus decisiones dentro del marco de la normatividad que le rige, tiene patrimonio propio y esta presidida por un Consejo de Administración del cual es titular el Secretario de Comunicaciones y transportes.

Para incrementar la productividad del personal, se reorganizaron y compactaron las diferentes categorías que integran las cinco ramas de actividad contenidas en el contrato colectivo de trabajo, que significaron mejorías económicas para los trabajadores, independientemente de las revisiones bianuales del Contrato y de los salarios, con lo que se recuperó el poder adquisitivo de las remuneraciones del gremio ferrocarrilero. Adicionalmente se intensificó la capacitación y se implantó un sistema para captar profesionistas jóvenes, especialmente Ingenieros.

Entre 1986 y 1987 se logra poner en servicio los nuevos trenes de pasajeros, denominados Estrella: el Regiomontano, el nuevo

Constitucionalista, el Tapatío, el Purépecha, el Expreso del Mar, el Jarocho, el nuevo Chihuahua al Pacífico y el Oaxaqueño, (Fig. 20).



Fig. 20.- Tren de pasajeros de alta calidad y confiabilidad (Chihuahua-Pacífico)

En el transporte de carga, se le esta dando especial atención al desarrollo del transporte multimodal, a través del uso de contenedores y equipo de doble estiba, asegurando un servicio integrado y económico. En 1989 se logra por primera vez la circulación en el país de trenes con contenedores en doble estiba, (Fig. 21) entre Altamira y Monterrey. Este mismo año también se logra un aumento de casi el 27% en las tarifas de carga.



Fig. 21.- Terminal multimodal en Monterrey

Con respecto al transporte suburbano de pasajeros en las grandes ciudades, se logra dar inicio con el proyecto de la ciudad de México, por ser ésta la de mayor densidad poblacional, con 18 millones de habitantes aproximadamente y la tendencia de llegar a 24 millones en el año 2000.

Algunos de los recorridos analizados por Ferrocarriles Nacionales de México y que son factibles de ser ligados con el sistema de transporte colectivo del Distrito Federal, en los sitios cuya densidad de población lo amerita, son: Al norponiente Azcapotzalco-Tlalnepantla-Cuautitlán, al noreste La Villa-Xalostoc-Ecatepec-Tepexpan-Teotihuacán, al oriente Teotihuacán-Texcoco-Chimul-Chimalhuacán-Los Reyes-Tenango-Amecameca, al norte Lechería-Tultitlán-Tecamác-Teotihuacán.

En una primera etapa, el tren suburbano Azcapotzalco-Tlalnepantla-Cuautitlán es el primero que se pondrá en servicio, por ser ésta una de las zonas del área metropolitana más densamente pobladas y con una aguda problemática de transporte suburbano. Este tren cubrirá un trayecto de 20 kilómetros a partir de la estación del metro “El Rosario” en la delegación de Azcapotzalco y tendrá dos estaciones intermedias en la cabecera municipal de Tlalnepantla y en San Rafael y llegará hasta Cuautitlán Edo. De México.

La infraestructura que se utilizará se compone de la línea “NA” y la línea “A” de Ferrocarriles Nacionales de México, el tramo a utilizar de la línea “NA” se rehabilitará, dado que se trata de una vía clásica (riel de 85 lbs/yda, con planchuela y clavado a durmiente de madera)

En este proyecto colaboran: el Departamento del Distrito Federal, el gobierno del Estado de México y los gobiernos municipales de Tlalnepantla, Teoloyucan y Cuautitlán. Se estima que el servicio se iniciará a mediados de 1990, después de concluir las adecuaciones necesarias para las maniobras especiales de este tren.

En el área de Infraestructura los avances logrados son los siguientes: En conservación y rehabilitación de vías se llega a 9,115 Kilómetros con riel soldado continuo, sobre durmiente de concreto y sujeción elástica (34% del total), se pretende modernizar los Kilómetros faltantes en el periodo 1989-1994, utilizando maquinaria especializada (Fig. 22).



Fig. 22.- Rehabilitación de vía, cambio de durmiente, riel y sujeción

En la construcción de obras nuevas: Línea férrea México-Querétaro (245 Km) se logró un avance del 85% es decir se encuentran concluidos y operando con máquinas diesel, en doble vía 200 Km en el tramo Huehuetoca-Querétaro (Fig. 23), continúa en proceso la obra civil correspondiente al tramo Buenavista-Teoloyucan que presenta un avance del 27%. Con respecto a la electrificación de esta obra tan importante, se alcanza un avance del 45% y no es hasta el año de 1994 que se logra poner en operación parcialmente, la doble vía electrificada a Querétaro, de las 39 locomotoras eléctricas solo se utilizan 16 máquinas.



Fig. 23.- Tren de carga con locomotora diesel, doble vía México-Querétaro

Ferrocarril Mexicano (línea: México-Veracruz) tramo: Los Reyes-Ciudad Mendoza de 78 Kilómetros se logra terminar y poner en operación no solo este tramo, sino también la continuación hasta Córdoba en el año de 1985, y posteriormente en 1993 se llega hasta Paso del Macho, quedando esta rectificación de la siguiente manera: **Los Reyes-Ciudad Mendoza-Córdoba-Paso del Macho**, con una longitud total de 138 Kilómetros rectificadas, con el objeto de mejorar sustancialmente la pendiente, grado de curvatura y la superestructura de la vía, del antiguo Ferrocarril Mexicano inaugurado en el año de 1873, (logros, 120 años después). Para realizar la construcción de estos 138 Kilómetros se aplicó tecnología de punta, tanto en el área de proyectos, como en los procedimientos constructivos utilizados.

Una de las líneas más importante para los Ferrocarriles es precisamente, México-Veracruz, ya que es la vía de comunicación que

une el centro con el sureste del país y permite el intercambio de productos con otras naciones, a través del Puerto de Veracruz.

Los retos naturales a vencer en esta ruta, son la orografía que se presenta en la zona montañosa de la sierra madre oriental y el eje volcánico del país, que involucra al volcán más alto de todo el territorio nacional, Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5,747 m.s.n.m.), lo anterior nos da una idea clara de los obstáculos encontrados en esta obra de Ingeniería, para lograr comunicar dos regiones: la vertiente del altiplano y la vertiente del golfo, ubicadas a 2,000 metros de altura una en relación con la otra (Fig. 24).



Fig. 24.- Panorámica del valle de Acultzingo, Ver. (Lugar Donde se desarrolla la obra)

El proyecto contemplo la construcción de treinta y tres túneles con una longitud total de 9.4 Km, cincuenta y dos estructuras (puentes, viaductos, pasos superiores y pasos inferiores) con una longitud total de 3.6 Km, en donde destacan por su magnitud las siguientes obras: Túnel La Jarochita con 3 Km de longitud, inicia en el Km 31+340 que son los límites del Estado de Puebla y termina en el Km 34+340, ya en el Estado de Veracruz, para su realización se excavaron 170,000 m³ de tierra y roca, y además se colocaron 45,000 m³ de concreto armado en su revestimiento definitivo (Fig. 25).



Fig. 25.- Túnel ferroviario más largo de América Latina, "La Jarochita"

Túnel Aguascalientes con 635 m de longitud, esta obra se distingue por su ubicación topográfica, dentro de una curva compuesta que da un giro de más de 180° iniciando en el Km 43+060 y terminando en el Km 43+695, el procedimiento constructivo utilizado

fue el de excavación a sección completa, con ademe provisional a base de marcos metálicos fabricados con viguetas IPR, de 4" x 6" a cada 50 cm anclados al terreno con varilla de ½" y revestimiento definitivo de concreto armado (Fig. 26).

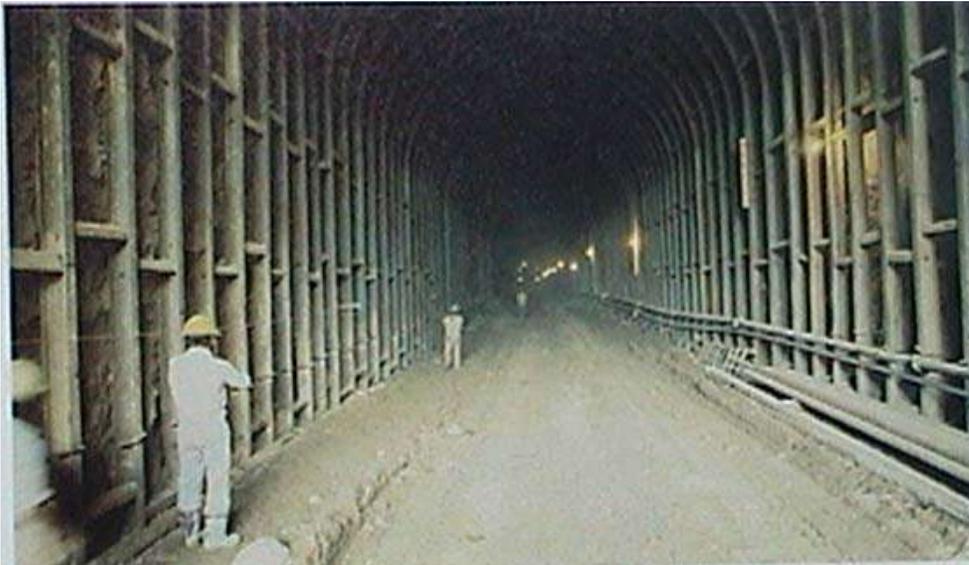


Fig. 26.- Túnel "Aguascalientes" segundo mas largo de la obra

Túnel Nuevo León con 222 m de longitud, esta obra igual que la anterior, destaca por ser el segundo túnel ubicado topográficamente, dentro de la misma curva compuesta, que da un giro de más de 180° e inicia en el Km 43+802 y termina en el Km 44+024, su trayectoria es totalmente en curva (Fig. 27).

Túnel
Nuevo León

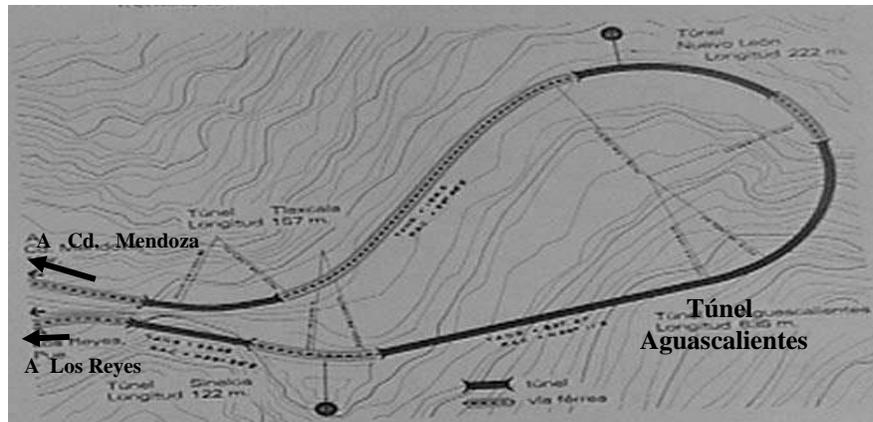


Fig. 27.- Túneles "Aguascalientes" y "Nuevo León" ubicados en curva compuesta

Puente Metlac con 430 m de longitud, esta estructura es relevante, tanto por sus monumentales dimensiones como por su participación en la sustancial mejora del trazo geométrico de la vía, la barranca de Metlac representó un obstáculo para el tráfico de los ferrocarriles, desde que la línea fue inaugurada hace ya más de un siglo. La subestructura, fabricada en concreto armado presforzado, consta de dos estribos y cinco pilas de sección hueca y rectangular, de dimensiones variables según su altura, menor en el remate superior formado por un cabezal sólido en forma de "U". Debido a la considerable altura de las pilas la mayor mide 131 m y a su sección cambiante, fue necesario utilizar una cimbra metálica trepante y ajustable que permitiera una rápida y segura ejecución. La superestructura también de concreto armado presforzado, tiene una sección transversal tipo cajón, de 7 m de peralte por 10 m de ancho, lo que permitió alojar doble vía. El procedimiento constructivo utilizado con excelentes resultados, fue el de doble voladizo, (Fig. 28).



Fig. 28.- Puente Metlac, Km 99+334 (paralelo al puente carretero)

El último gran obstáculo que presenta la región es la zona montañosa de Atoyac y el cruce de los ríos “Atoyac” y “Chiquihuite” con una profundidad considerable en sus respectivas cañadas.

Después de analizar las diferentes alternativas, para salvar este último obstáculo, los proyectistas se preocuparon por encontrar la mejor solución estructural, utilizando técnicas avanzadas y eficientes, tomando en cuenta los recursos económicos tanto de construcción como de mantenimiento en un futuro. La solución idónea encontrada en este caso, fue la de construir una serie de estructuras continuas que acumulan una longitud total de 800 m entre el Km 133+080 y el Km 133+880 y que son: El túnel Atoyac, Viaducto Túnel Pensil y el Viaducto Atoyac-Chiquihuite.

Túnel Atoyac con 160 m de longitud y con una sección, tanto en curva como en tangente, de 10.5 m de ancho por 9 m de altura, lo que

permitió la colocación de una vía doble y lo convierte en caso único del tramo (Fig. 29).

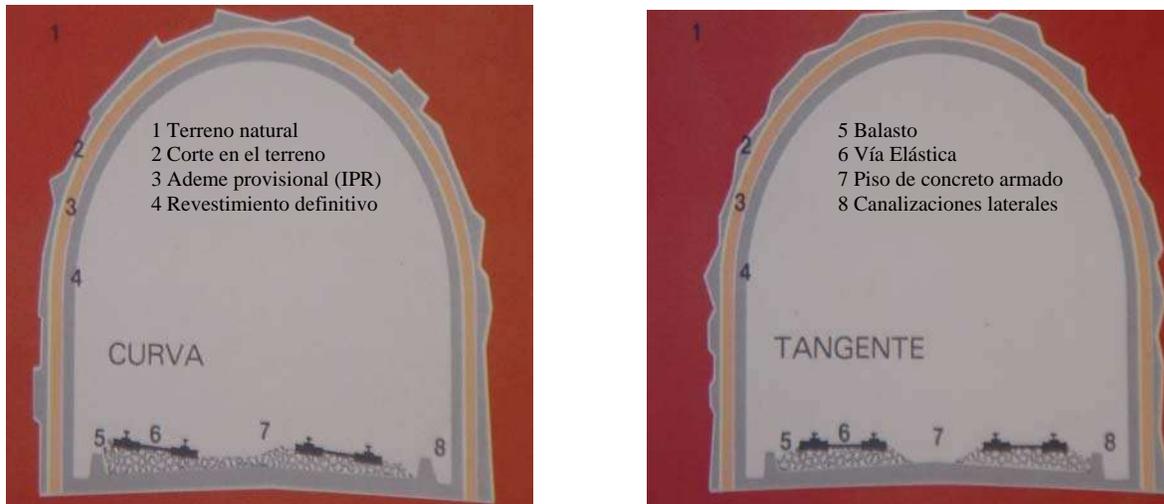


Fig. 29.- Túnel Atoyac, revestimiento de concreto armado, en muros y bóveda 60 Cm, en piso 40 Cm

El procedimiento constructivo utilizado, fue el de media sección, esto es, en dos etapas: primero se perforo la galería y en segundo término se excavo el banqueo (Fig. 30). Procedimiento seleccionado debido a la composición arcillosa del terreno y la presencia de agua subterránea razón por la que también, fue necesario construir un muro de contención de 85 m de largo por 9 m de altura, en el lado derecho del portal de entrada, para protección del personal y equipos, tanto en la etapa de construcción, como en la operación del túnel.



Fig. 30.- Túnel Atoyac, extracción de material producto del banqueo

Viaducto-Túnel Pensil continuación del túnel Atoyac con una longitud de 140 m y con una sección, de 10.5 m de ancho por 9 m de altura, también para doble vía.

El procedimiento constructivo utilizado fue toda una obra de Ingeniería, ya que es el primero que se construye en voladizo en Latinoamérica, después de realizar el corte en la ladera, con un talud mínimo en el lado derecho (casi vertical), para dañar lo menos posible el entorno, se procedió a la construcción de los cuchillos (mensulas) de concreto armado, los cuales fueron anclados a la montaña, sobre estos se colaron las traveses de concreto presforzado que reciben la losa del Viaducto (Fig. 31).



Fig. 31.- Viaducto-Túnel pensil, terminación del viaducto (en curva)

Posteriormente se construye el Túnel cuyo objetivo principal es proteger y dar seguridad al tráfico de trenes, los arcos tienen la finalidad de quitarle peso a la estructura ya que de ese lado el viaducto esta trabajando en voladizo. Además los caídos que se presenten no golpearan directamente la estructura gracias al arroyo colocado, material filtrante en la parte inferior para permitir el drenaje de aguas pluviales y tierras en la parte superior, en caso de que en esta zona se acumule demasiado material producto de deslaves, este rodara hacia la cañada.

Estructura mixta (Viaducto-Túnel), que por su novedoso diseño en 1996 se hizo acreedor al Premio Brunel (Fig. 32).



Fig. 32.- Viaducto Túnel Pensil, una obra de Ingeniería, inaugurada en 1993

Viaducto Atoyac-Chiquihuite con 500 m de longitud, para doble vía continuación del Viaducto-Túnel Pensil, esta obra es excepcional no solo por sus grandes dimensiones, sino también por lo novedoso del procedimiento constructivo utilizado.

La subestructura se compone de nueve pilas y dos estribos, estos últimos están anclados por cables de acero ahogados en barrenos de 20 a 40 m de profundidad, postensados mediante el uso de gatos hidráulicos, lo anterior debido a la inestabilidad del terreno. Las pilas son de sección rectangular, huecas, con muros cuyos espesores varían de los 69 cm en su base, a los 40 cm en el remate con el cabezal y una altura máxima de 66 m.

La superestructura esta constituida por 29 dovelas (cajones) de concreto armado, de 4 m de peralte por 17.33 m de longitud, con excepción de la primera y la última que miden 15 m de largo. Estas

dovelas fueron fabricadas en el patio, implementado específicamente para este fin, ubicado atrás del estribo número 11 (Fig. 33).



Fig. 33.- Viaducto Atoyac-Chiquihuite, empuje de las primeras dovelas ancladas a la nariz metálica

El procedimiento constructivo aplicado fue el siguiente: en la subestructura se utilizó el de colado continuo por medio de una cimbra trepante, avanzando en tramos de 2.50 m cada vez y en la superestructura el sistema de lanzado-empujado, el primer paso en este procedimiento consistió en armar la nariz metálica, en seguida se colocó la cimbra permanente sobre la cual se colocaron las dovelas que están formadas por una losa inferior y otra superior, unidas por dos elementos verticales de concreto, denominados alma, posteriormente se colocaron la losa inferior y la mitad del alma de la primera dovela y se anclaron a la nariz, para después proceder a realizar el primer empuje que permitió desalojar el patio de fabricación a fin de colocar el resto de

la primer dovela y la mitad inferior de la segunda; esta acción se repite consecutivamente hasta completar la totalidad de la superestructura.

El sistema lanzado-empujado permitió prescindir de obras falsas (Fig. 34). Esto desde luego se traduce en la reducción de tiempos y costos de ejecución.



Fig. 34.- Viaducto Atoyac-Chiquihuite, primer cuerpo terminado al 100% (una vía)

La vía representa la culminación de todo el proceso constructivo que, en su momento requirió del esfuerzo y participación coordinada de proyectistas, supervisores, técnicos, operadores y peones. Su presencia determina el fin de la etapa de construcción de cortes, obras de drenaje, terraplenes, túneles y estructuras mayores; para dar inicio a la etapa final que le da razón de ser a la obra y que es la vía, de las condiciones en que se encuentre dependerán, en buena medida, la velocidad, la eficiencia y la seguridad de la operación de los

ferrocarriles que la transiten. De ahí la importancia que tiene su proceso constructivo.

La superestructura de la vía está formada por rieles continuos de 115 lbs/yda, durmiente de concreto del tipo biblock, para la vía principal y durmiente de madera creosotada para las vías auxiliares, la sujeción es tipo elástica, balasto con tamaño máximo de 2½” producto de material triturado de los bancos tesoyuca (Fig. 35) y tecamalucan.



Fig. 35.- Banco tezoyuca, carga de balasto a góndola balastera

Las nuevas condiciones de la vía, principalmente las características de pendiente, curvatura y superestructura, logradas con esta rectificación del tramo: **Los Reyes-Ciudad Mendoza-Córdoba-Paso del Macho**, de la línea México-Veracruz, permitieron elevar la velocidad comercial de los trenes, al mismo tiempo que incrementan la capacidad de carga (Fig. 36).

La construcción de obras complementarias en patios y estaciones, evitaran realizar el elevado número de maniobras que hoy

se ejecutan por falta de instalaciones adecuadas. Estas acciones están encaminadas a equilibrar la operación de este medio de transporte, a fin de que sea capaz de satisfacer la demanda que le corresponde dentro del **Sistema Integral de Transporte** (Fig. 37).

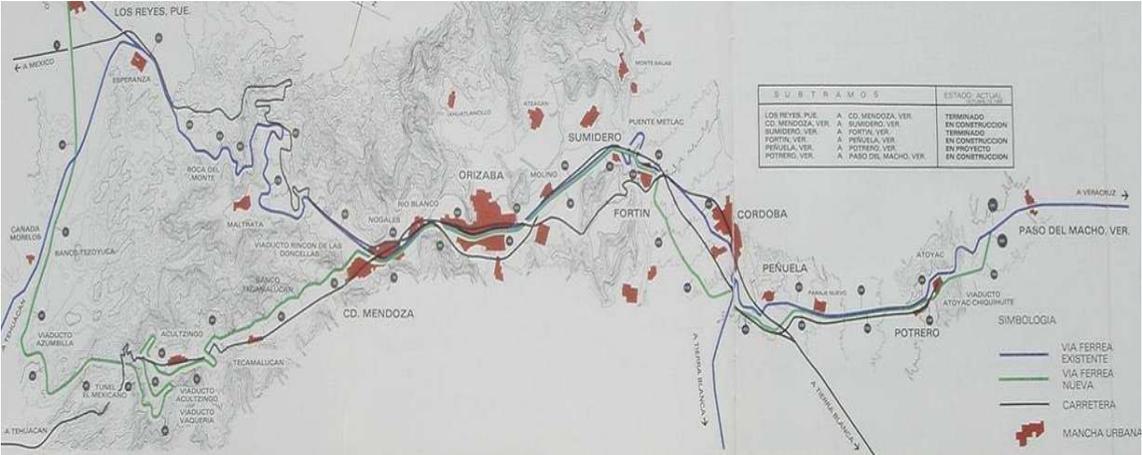


Fig. 36.- Planta general del tramo: Los Reyes-Ciudad Mendoza-Córdoba-Paso del Macho



Fig. 37.- Maniobras de carga de carros de ferrocarril, en el Puerto de Veracruz

Adicionalmente se logra concluir y poner en operación las siguientes rectificaciones: tramos Jimba-Tigres-Angostura-Juanita, Texistepec-Almagres-Medias Aguas, Saltillo-Monterrey, Libramiento Monterrey, Pinto-Bocas, Sayula-Ciudad Guzmán, Ajuno-Caltzontzin y Salinas-Laguna Seca.

En lo que respecta a los accesos ferroviarios a puertos industriales se concluyen: el de Altamira y Lázaro Cárdenas, así como también los patios de Marina en Coatzacoalcos, Lechería, Ahorcado, Ciudad Guzmán y las terminales, central en el Valle de México, Monterrey, Guadalajara y Coatzacoalcos.

Es así como en 1993 el sistema ferroviario mexicano contaba con 26,280 Km de vía, de los cuales aproximadamente 20,300 Km corresponden a vías principales, 4,503 Km a vías secundarias y 1,477 Km son vías particulares (Fig. 38). Todo el sistema tiene vía de 1.435 m de escantillón (vía ancha).

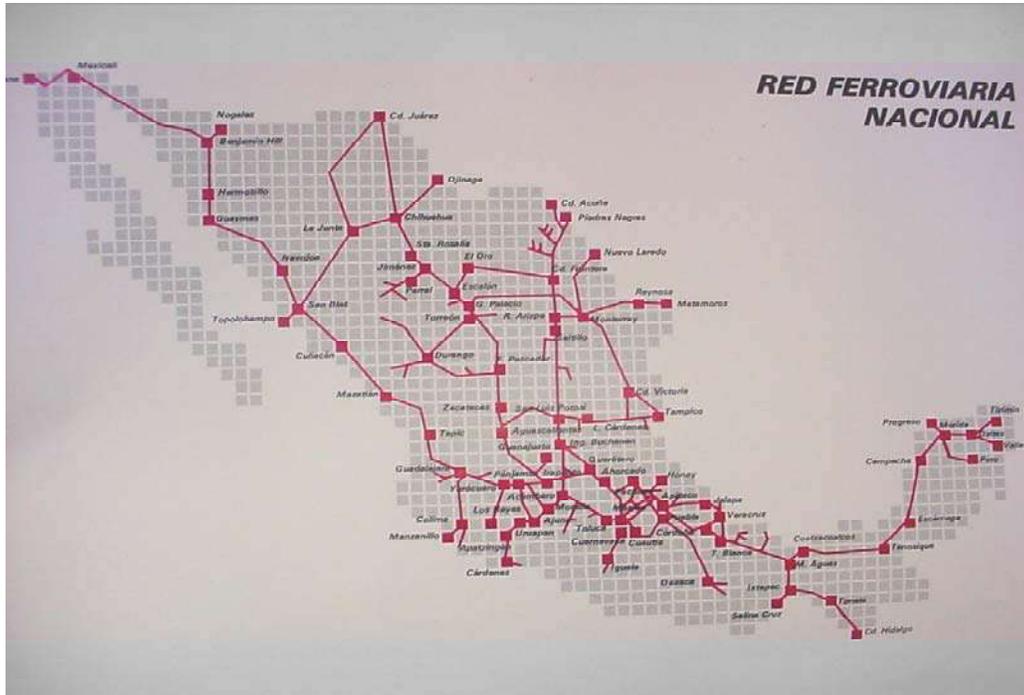


Fig. 38.- Red ferroviaria Nacional

En el área de telecomunicaciones se logra la señalización de 1500 Km de vía, con el sistema de control de tráfico centralizado (CTC) y un avance del 80% en la instalación de un moderno sistema de comunicaciones.

Fuerza tractiva y equipo de arrastre, en este aspecto se adjudicaron contratos a compañías particulares para la conservación de locomotoras, equipo de carga y coches de pasajeros, que incluyó el arrendamiento de talleres y la mayor parte de los trabajos de mantenimiento. Las existencias en 1993 eran las siguientes: 1,520 locomotoras, con una antigüedad promedio de 14 años, la flota del equipo de carga era de 46,000 unidades en diferentes tipos y 1,400 coches de pasajeros y similares.

En el área comercial Ferrocarriles Nacionales de México elaboro un programa de modernización definitiva y radical, llamado **“Programa de Cambio Estructural 1992-1994”** que tiene como finalidad cambiar la fisonomía de Ferrocarriles, brindar un mejor servicio al cliente, elevar calidad y seguridad, incrementar operaciones con tarifas flexibles, consolidar movimientos de carga con el tráfico multimodal y emprender nuevas estrategias de comercialización, acorde a las nuevas necesidades del país. También busca fortalecer las relaciones con el sector privado nacional y de otros países, establecer convenios para operar con los ferrocarriles extranjeros conectantes, así como aplicar novedosas tecnologías y apoyos logísticos.

Ferrocarriles Nacionales de México para llevar a cabo este programa instrumento acciones precisas como son:

- Tarifas integradas con los ferrocarriles conectantes de Estados Unidos y Canadá
- Tráfico más fluido y eficiente
- Ágil transporte masivo de carga
- Trenes unitarios de alta productividad
- Servicio de calidad en los principales corredores
- Tiempos de tránsito reducidos y consistentes
- Seguridad de las mercancías transportadas
- Tarifas rentables y competitivas

Con el objeto de apoyar estas acciones Ferrocarriles pone a disposición de los usuarios Terminales Interiores de Carga con gran capacidad de almacenamiento y sistemas de operación desarrollados en coordinación con el sector privado.

En aras de la modernización y la mayor eficiencia operativa la marcha de la actividad ferrocarrilera se ha encaminado hacia el desplazamiento de la gestión estatal por la inversión privada.

El 2 de marzo de 1995 se publicó en el diario oficial de la federación el decreto de reforma constitucional que abre paso a la participación del sector privado en el servicio ferroviario mediante concesiones o permisos. Poco después el 12 de mayo del mismo año, se publicó la ley reglamentaria que regula la construcción, la operación, la explotación, la conservación y el mantenimiento de las vías férreas, así como el servicio público de transporte que en ellas opera y los servicios auxiliares. Este nuevo marco jurídico estipula la facultad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de otorgar las concesiones respectivas, siempre con la rectoría estatal y el principio de que “las vías generales de comunicación se mantendrán en todo momento dentro del dominio público de la federación”.

Mediante licitación pública, las concesiones se darán a empresas propiedad de mexicanos en las que la inversión extranjera podrá participar hasta con 49% del capital social. También pueden ser concesionarios, sin sujetarse al proceso de licitación, los estados, municipios y entidades de la administración pública federal. Los

concesionarios fijarán libremente las tarifas, en los términos que “permitan la prestación de los servicios en condiciones de calidad, competitividad, seguridad y permanencia”.

La compañía Ferrocarriles Nacionales de México ha dejado de pertenecer al Estado para pasar a manos privadas. Solo las líneas cortas, que representan el 27% de la red principal, son todavía públicas.

Es así como en junio de 1997, Transportación Marítima Mexicana (TMM) y el ferrocarril norteamericano Kansas City, Southern Industries (KCS), adquirieron la concesión del ferrocarril del Noreste (4,251 Km), creando la empresa de transporte de carga por ferrocarril llamada Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM), es la ruta más corta entre las principales ciudades de México como son Querétaro, San Luís Potosí, Aguascalientes, Monterrey, Saltillo y Guadalajara, con la frontera norte, conectando con el sistema ferroviario norteamericano en las fronteras de Nuevo Laredo/Laredo y Matamoros/Brownsville (Fig. 39).



Fig. 39.- Red ferroviaria Noreste, Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM)

En febrero de 1998, Grupo México, S.A. de C.V. y Union Pacific Rail Road, adquieren la concesión del ferrocarril del Pacífico-Norte (8,500 Km), formando la empresa de transportación de carga, comercial e industrial a gran escala, así como de transportación turística regional, llamada Ferrocarril Mexicano (Ferromex), con el área de cobertura más amplia del país, que se extiende de la Ciudad de México a las ciudades de Guadalajara, Hermosillo, Monterrey y Chihuahua, conectando con la red ferroviaria de Estados Unidos y Canadá en las fronteras de Mexicali/Calexico, Nogales, Cd. Juárez/El Paso, Piedras Negras/Eagle Pass y Ojinaga/Presidio (Fig. 40).



Fig. 40.- Red ferroviaria Pacifico-Norte, Ferrocarril Mexicano (Ferromex)

En enero de 1998, el grupo mexicano Tribasa, S.A. de C.V. adquiere la concesión del ferrocarril del Sureste (2,093 Km), formando la empresa Ferrosur, S.A. de C.V. Posteriormente en enero del 2000 dicha concesión es vendida a Frisco, filial de Grupo Carso. Su área de cobertura es principalmente la división Mexicano y la división Sureste (Fig. 41)

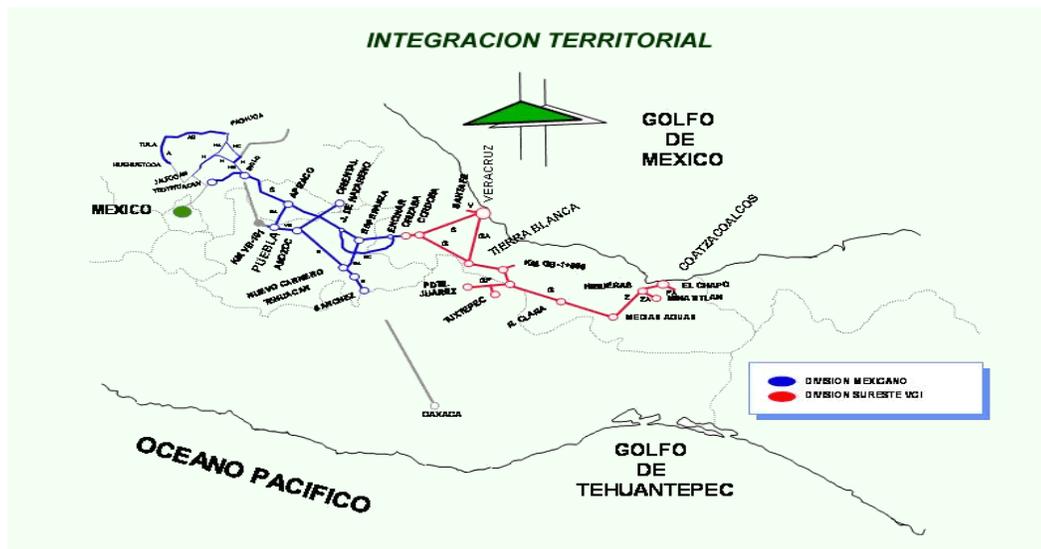


Fig. 41.- Red ferroviaria Sureste, Ferrosur, S.A. de C.V.

El plazo de las concesiones otorgadas tiene un límite de 50 años, pero se podrá prorrogar hasta por otro periodo igual. Los concesionarios no podrán ceder los derechos conferidos o los bienes respectivos a ningún gobierno extranjero, pero sí contratar con terceros la construcción, la conservación y el mantenimiento de las vías férreas. Así los tramos que se construyan al amparo de una de las concesiones, formarán parte del dominio público, con independencia de las condiciones y plazos respectivos.

Por razones de lógica económica, ahorro energético y costo social, los ferrocarriles deben ocupar un lugar central en el desarrollo del sistema de transportes. Sin embargo la responsabilidad de la marcha ferroviaria, vencer el rezago histórico y la modernización tecnológica, corresponde ahora a la iniciativa privada.

II PARTES DE UNA VÍA FÉRREA MODERNA



DOBLE VÍA MÉXICO-QUERÉTARO

II.- PARTES DE UNA VÍA FÉRREA MODERNA

Los elementos de que se compone una vía férrea se pueden agrupar en los dos conceptos siguientes: **La Infraestructura** y la **Superestructura**.

La Infraestructura es el elemento soportante del cuerpo de rodamiento y está formado por las terracerías (cortes y terraplenes), obras de drenaje, túneles, pasos a desnivel y estructuras mayores (puentes y viaductos).

La Superestructura (la vía propiamente), está formada por todos los elementos situados arriba de la subrasante o sea la línea que une los puntos de cota del eje de las terracerías terminadas, hasta llegar a la rasante que es la línea que une los puntos de cota final, o la elevación del hongo del riel (parte superior del riel sobre la cual rueda el equipo ferroviario) y las partes que la componen son las siguientes:

1. Balasto
2. Durmientes
3. Rieles
4. Accesorios de vía:
 - a).- De sujeción o juntas de unión (riel con riel)
 - b).- De fijación (riel con durmiente)

1.- Balasto: Es la capa de material pétreo seleccionado que se coloca sobre la subrasante, debajo y entre los durmientes, su función es dar firmeza a la vía para garantizar su estabilidad manteniendo bien nivelados y alineados los durmientes, distribuir y transmitir las cargas en una superficie amplia de las terracerías terminadas, además de asegurar el drenaje adecuado del agua pluvial.

Hasta la fecha se han utilizado diversos materiales como balasto, seleccionándose por razones de su proximidad a la vía en construcción, por que dan el servicio que se desea o por cuestiones económicas, se relacionan a continuación los materiales más usuales:

- a).- Piedra triturada
- b).- Granito desintegrado
- c).- Escoria triturada (grasa)
- d).- Grava lavada
- e).- Grava cribada
- f).- Grava de río
- g).- Piedra mineral
- h).- Grava de mina
- i).- Cenizas
- j).- Residuos de trituración
- k).- Cuarzo
- l).- Arena
- m).- Grava cementada
- n).- Escoria granulada

El balasto producto de la piedra triturada es el que puede soportar la mayor presión de fuerzas horizontales y verticales a que son sometidos los durmientes de una vía en operación, debido a las múltiples aristas de las partículas, ya que comparado con los demás materiales utilizados como balasto, la piedra (Fig. 1) triturada resiste de 2.0 a 1.5 veces más y además puede cumplir con las nuevas especificaciones que rigen a esta parte de la **vía moderna**, el cambio de especificaciones del balasto, es la primera innovación que se le realiza a la vía convencional.



Fig. 1.- Manto rocoso utilizado como banco de material, para producción de balasto

Los tamaños que se requieren para que este tipo de material desempeñe una buena función, debe ser en tal forma que sea fácil de calzar y se mantenga firmemente en su lugar confinando a los durmientes, oponiéndose al desplazamiento longitudinal y transversal

de los mismos, originado por el frenaje o la tracción del equipo, por el cabeceo, por las fuerzas centrífugas o por la sobreelevación excesiva en las curvas y en las vías soldadas por los considerables esfuerzos que se desarrollan en los rieles con los cambios de temperatura. La A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) recomienda para piedra triturada un tamaño de 2½" a 3/4" y que sea proveniente de piedras o rocas pesadas y duras sin grietas ni huecos, entre las rocas más utilizadas, que cumplen con lo anterior se encuentran: El basalto, la gravita, la diorita, la cuarcita, la caliza, etc. La piedra triturada para el balasto procesado tipo 1, deberá apegarse a los siguientes requerimientos de granulometría (Fig. 2).

DENOMINACION DEL BALASTO	POR CIENTO EN PESO QUE PASA LA MALLA DE				
	3" (7.62 cm)	2 ½" (6.35 cm)	1 ½" (3.81 cm)	¾" (1.90 cm)	½" (1.27 cm)
1	100	90-100	25-60	0-10	0-5

Fig. 2.- Requisitos granulométricos a que debe sujetarse la piedra triturada

Las partículas de piedra triturada, no solo deben cumplir lo anterior, sino también una forma determinada, deben ser poliédricas, de arista viva y contener una cantidad mínima de partículas laminares y circulares (Fig. 3).



Fig. 3.- Almacén de balasto producto de piedra triturada

Los requisitos de calidad que debe cumplir la piedra que se pretenda triturar para utilizarla como balasto, son los que se describen a continuación:

- 1.- Peso unitario máximo 2,700 Kg/m³ y mínimo 1,100 Kg/m³
- 2.- Fatiga de ruptura máxima 700 Kg/m² y mínima de 350 Kg/m²
- 3.- En la prueba de solubilidad no debe de aparecer decoloración en el agua
- 4.- En la prueba de desgaste o durabilidad, el material que pase por la malla de 1/2" no deberá exceder del 40%.
- 5.- La absorción no deberá exceder de 16 litros de agua por m³
- 6.- En la prueba de cementación, las muestras deberán dar un esfuerzo de compresión menor de 0.28 Kg/ cm²
- 7.- No deberán encontrarse sustancias nocivas en el balasto preparado, que excedan de las siguientes cantidades:
Partículas suaves y quebradizas 5%

Material más fino que el que pasa la malla No. 200 _____ 1%
Grumos de arcilla _____ 0.5%

Todos los estudios y experimentos realizados en diferentes países, así como las recomendaciones prácticas de la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) coinciden en que la intensidad de las presiones, causadas por el equipo rodante disminuye a medida que el espesor del balasto aumenta, hasta llegar a un espesor en el que las presiones se distribuyen uniformemente. Por lo tanto el espesor de la capa de balasto deberá estar diseñado en función de la velocidad, frecuencia y peso de los trenes que transitarán la vía de que se trate, además de tomar en cuenta los factores de tipo geológico, topográfico y climático.

El espesor del balasto ha sido calculado según la presión conocida en la base del durmiente (P_o) y la presión (P) casi ignorada permisible por la subrasante, a través de hipótesis más o menos imprecisas sobre el ángulo (ϕ) de transmisión de cargas del durmiente al balasto y de éste a la subrasante, las experiencias de la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) suponen que el balasto trasmite las presiones con un ángulo $\phi = 30^\circ$ de donde la fórmula para obtener el espesor (h) total del balasto sería la siguiente:

$$P = \frac{17}{h \cdot 1.25} \times P_o$$

Sin embargo los europeos suponen que el balasto transmite las cargas según $\varphi = 45^\circ$, obteniendo la fórmula que sigue:

$$P = \frac{b}{b + 2h} \times P_o$$

Donde (b) es el ancho del durmiente y (P_o) es la carga de diseño por eje, repartida aproximadamente sobre tres durmientes, considerando que sólo las dos terceras partes del área de dichos durmientes presionan sobre el balasto. La relación entre el ancho del durmiente (b) y la amplitud ($b + 2h$) de la superficie sobre la cual se reparten las presiones generadas por el paso del tren, varía en función del espesor (h) de la capa de balasto, (Fig. 4). Se han llevado a cabo múltiples ensayos y observaciones del asentamiento del balasto, para determinar el espesor (h) del prisma de balasto.

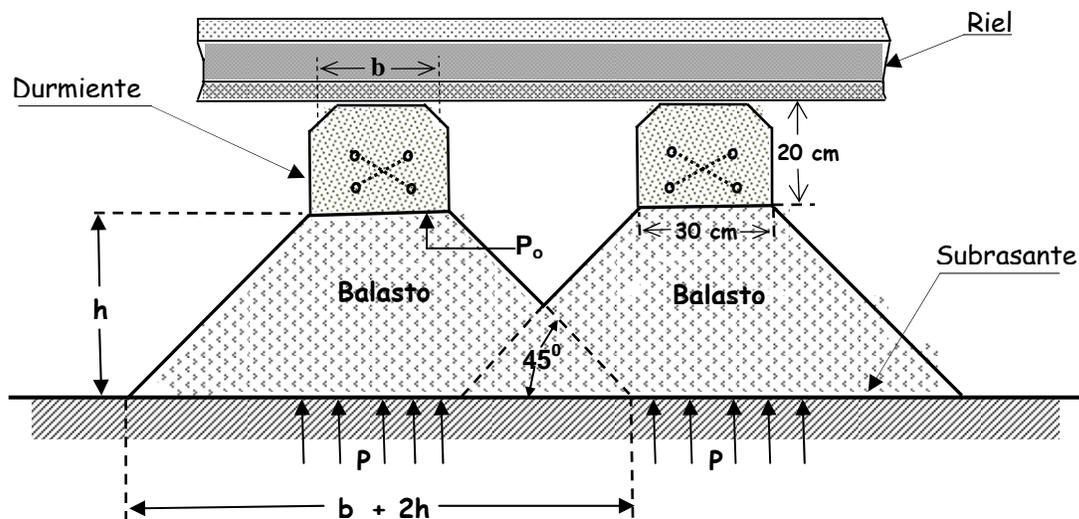


Fig. 4.- Presiones transmitidas por el balasto a la subrasante ($\varphi = 45^\circ$)

Así por ejemplo para una **vía moderna** en donde las cargas por eje, las velocidades de circulación y la densidad de tráfico son mayores, el diseño de la vía se realizara tomando en cuenta la locomotora mas pesada que actualmente circula en la red ferroviaria nacional.

Debido a la gran variedad de locomotoras con que contamos en cuanto a diseños, pesos y distribución, sería difícil hacer un proyecto de un ferrocarril por la necesidad de analizar y proyectar de acuerdo con los diferentes efectos que provocaran cada una de las máquinas que transitan sobre dicha vía. El ing. Cooper analizó las diversas locomotoras conforme a los esfuerzos provocados, formando una locomotora ideal que es de la que nos valemos para hacer cualquier cálculo de un ferrocarril y esta compuesta de una carretilla guía, 4 motrices, 4 tender y la carga uniforme.

Las cargas Cooper son nombradas conforme a los “kips” (tonelada inglesa igual a 2000 lbs) que soporta cada uno de los ejes de las ruedas motrices, existen cargas Cooper E-40, E-50, E-60, E-72 y actualmente la carga Cooper E-80 que corresponde a la locomotora con mayor peso que circula en nuestro país (Fig. 5).



Fig. 5.- Locomotoras diesel-eléctricas, de Ferrocarriles Nacionales de México

Para el cálculo del peralte del balasto se considera dicha locomotora, obteniéndose los siguientes resultados:

Carga Cooper E-80 con un peso..... $W_e = 36.288$ ton / eje
 Utilizando durmientes de concreto tipo monolítico con dimensiones de 0.20 x 0.30 x 2.40 m y 60 cm de separación entre ejes, el área de apoyo de los durmientes será en consecuencia:

$$A = 3 \times \frac{2}{3} \times 30 \times 240 = 14,400 \text{ de donde } \boxed{A = 14,400 \text{ cm}^2}$$

La presión en la base del durmiente sería: $P_o = \frac{W_e}{A}$

Y por lo tanto $P_o = \frac{36,288}{14,400} = 2.52$ $P_o = 2.52 \text{ kg / cm}^2$

14,400

El factor por impacto es un incremento, en porciento, a las cargas verticales estáticas para poder estimar el efecto dinámico de las irregularidades de las ruedas y de los rieles, para 130 kph la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) considera 20% de incremento, quedando la presión en la base del durmiente como sigue:

$$P_o = 2.52 \times 1.20 = 3.00$$

$$P_o = 3.00 \text{ kg / cm}^2$$

Si se presupone, como generalmente se hace, que la distribución de presiones es $\varphi = 45^\circ$ se tiene que

$$P = \frac{30}{30 + 2h} \times 3.00 \qquad P = \frac{90}{30 + 2h}$$

Si tuviéramos una capa subrasante capaz de soportar $P = 0.5 \text{ kg / cm}^2$ en este caso el espesor del balasto sería el siguiente:

$$0.5 = \frac{90}{30 + 2h} \quad \text{de donde} \quad 0.5 (30 + 2h) = 90 \quad \text{y} \quad h = 75 \text{ cm}$$

Este método de cálculo de espesor (h) del balasto es solo aproximado y en casos frecuentes o críticos, es necesario realizar pruebas complementarias de resistencia al esfuerzo cortante de las muestras del suelo compactado, correspondiente a la subrasante.

El espesor (h) de balasto bajo los durmientes es distinto en varios países:

En los Estados Unidos consideran que dicho espesor debe ser al menos igual al espaciamiento entre durmientes, más 3 o 4 pulgadas adicionales como un factor de seguridad para aquellos casos donde las condiciones de la capa subrasante sean deficientes. Así mismo en las vías principales utilizan un espesor mínimo de 24" (60 cm) para balastos de roca triturada, requiriéndose un espesor mayor para materiales más ligeros.

Los técnicos alemanes, después de un minucioso análisis teórico de la distribución de los esfuerzos producidos por la carga viva, a través de los rieles, los durmientes y el balasto concluyen en que debe ser un espesor estándar uniforme de balasto, medido de la base del durmiente a la superficie de la formación $h = 30$ cm.

El espesor recomendado por la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) basándose en las anteriores consideraciones para balasto de roca triturada considera 30" (75 cm) de espesor total, similar al resultado obtenido con la fórmula anterior.

En la práctica se toman en cuenta las experiencias que tiene sobre este concepto la Secretaría de Comunicaciones y Transportes quien elabora una nueva versión de las Normas de Proyecto Geométrico de Vías Férreas, **parte 2.03** de las **Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte**, clasificando las vías férreas nacionales de acuerdo con

su volumen de carga que transita por ellas o el estimado para el horizonte de proyecto (tipo: 1, 2, 3, 4, 5 y 6). Las características geométricas variarán de acuerdo a su clasificación y la topografía de los terrenos que atraviesen, como pueden ser:

- a).- Terreno plano y lomerío suave
- b).- Terreno montañoso y lomerío fuerte
- c).- Terreno montañoso muy escarpado

Para una **vía moderna** la clasificación a utilizar será tipo 1 o cuando menos tipo 2 y por lo tanto lo especificado en cuanto a espesor total del balasto es de 60 cm repartido en dos capas de 30 cm cada una. La primer capa (30 cm) llamada **sub-balasto** colocada entre la subrasante y el balasto, formando parte de la superestructura de la vía férrea, este material debe cumplir con ciertas características las cuales se enumeran más adelante, la importancia de esta capa estriba en que es de menor costo que el balasto, sin demérito de su función estructural, logrando un ahorro considerable en los presupuestos para la construcción de las vías, lo que convierte a las Normas editadas por la SCT como la propuesta más aceptable en cuanto a la determinación del espesor (h) del balasto. La segunda capa (30 cm) sería el **balasto**, producto de roca triturada y se colocaría entre el sub-balasto y el durmiente (Fig. 6).

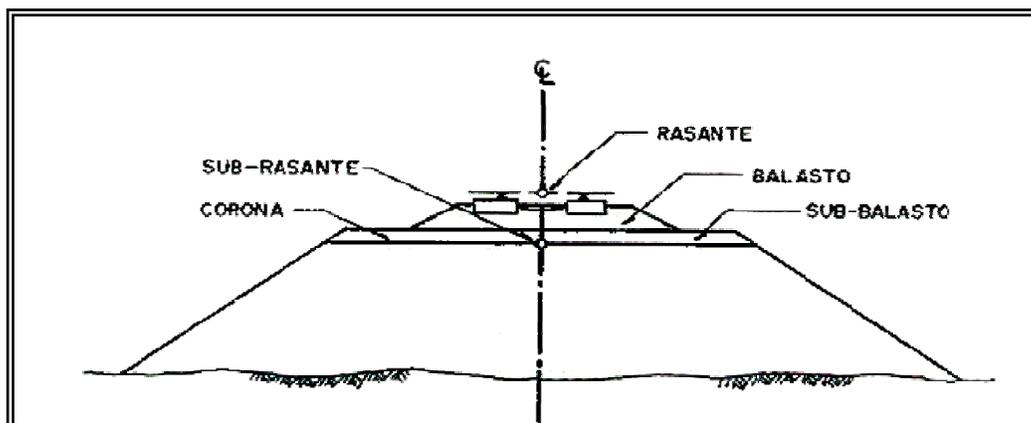


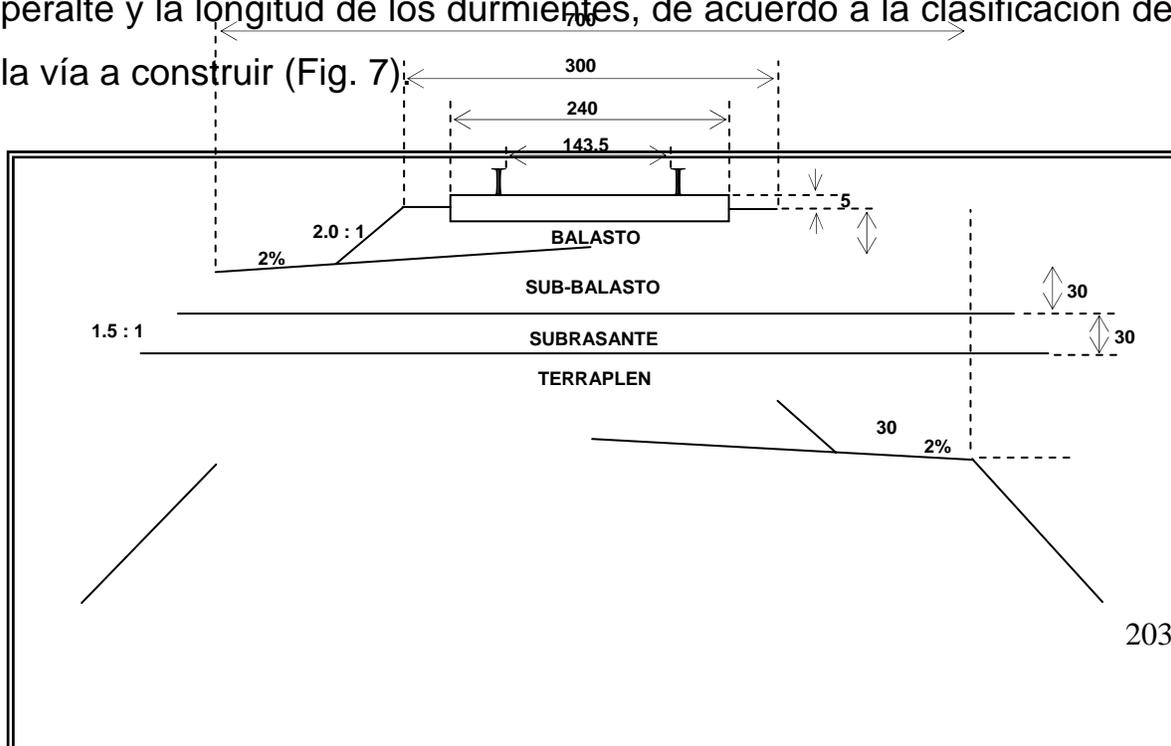
Fig. 6.- Secciones transversales, ubicando las capas en terraplén y corte

Los estudios analizados concluyen en que la capacidad de carga del balasto aumenta, a medida que éste se eleva alrededor del durmiente. Este incremento es efectivo, principalmente en la resistencia a los esfuerzos horizontales. Existe una limitación para la altura del balasto, sobre todo en vías electrificadas, o simplemente señalizadas, en las que el contacto del riel con el balasto ocasiona pérdidas en la corriente. Por este motivo, se recomienda que el balasto llegue hasta 5 cm abajo del patín del riel.

1.A).- Sub-balasto: Esta capa está constituida por materiales seleccionados procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas

alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. Además de una buena granulometría, contracción lineal reducida y alto valor cementante, se exige de los materiales que vayan a formar el sub-balasto un valor relativo de soporte estándar mínimo de 30% y que cumplan con la función estructural de soportar las cargas y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas, así como también debe cumplir con la función de elemento drenante permitiendo el escurrimiento del agua pluvial sobre las pendientes transversales (bombeo), impidiendo su filtración a la subrasante, a todo lo anterior hemos de agregar que este material debe impedir la incrustación del balasto, al que sirve de apoyo.

El ancho del balasto se determina en función de la longitud de los durmientes, de los taludes en corte o terraplén y del propio espesor proyectado, las Normas SCT recomiendan una sección transversal tipo, donde se define el ancho de la corona, los taludes, el bombeo, el espesor tanto del balasto como del sub-balasto y la subrasante, el peralte y la longitud de los durmientes, de acuerdo a la clasificación de la vía a construir (Fig. 7).



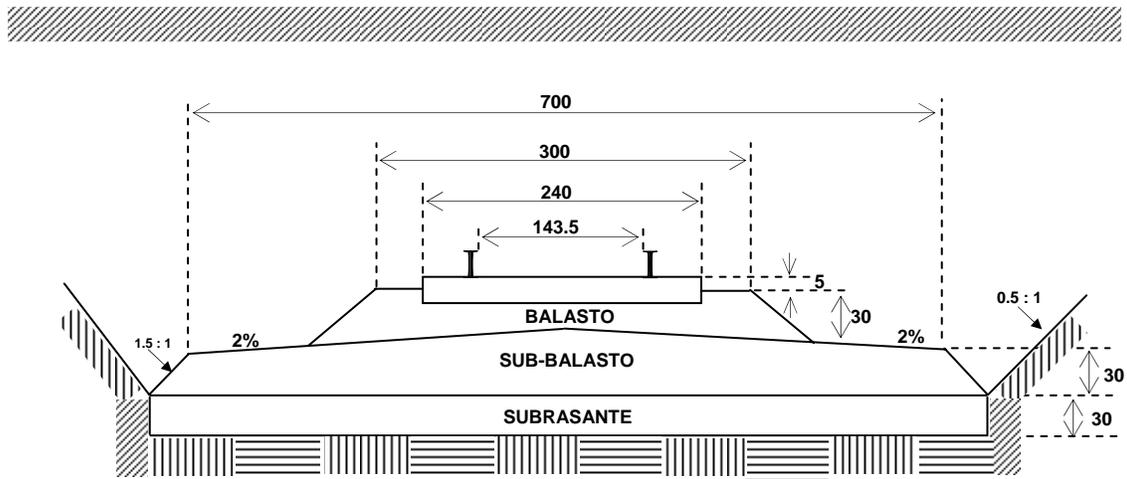


Fig. 7.- Secciones transversales tipo, en terraplén y corte (vía clasificación 1)

La bondad de una vía depende en gran parte del buen estado del balasto, por lo que debe cuidarse que se conserve en buenas condiciones, para prolongar la vida de los durmientes, rieles y equipo rodante, es recomendable efectuar trabajos de calzado de vía periódicamente y reponer el balasto faltante según sea necesario.

El Instituto Mexicano del Transporte considera que debido a las altas exigencias que les imponen a las vías férreas, los actuales volúmenes de tránsito, las características del equipo moderno y las tasas de crecimiento en el tonelaje transportado y transmitido a las capas inferiores, es necesaria una mejor calidad del material para dichas capas, ya que si estas llegan a fallar, su reparación es muy costosa y difícil, recomendando diferentes valores de calidad para los materiales utilizados como subrasante (Fig. 8) y sub-balasto (Fig. 9).

VALORES PROPUESTOS PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE			
CARACTERISTICAS	DESEABLE	CALIDAD ADECUADA	AD TOLERABLE
Granulometría			
Tamaño Máximo (mm)	76	76	76
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	20 máx	25 máx	30 máx

Fig. 8.- Valores propuestos por el Instituto Mexicano del Transporte

VALORES PROPUESTOS PARA MATERIALES DE SUB-BALASTO		
CARACTERÍSTICAS	C A L I D A D DESEABLE	D A D ADECUADA
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.1)	1 y 2	1 a 3
Tamaño Máximo (mm)	51	51
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	15 máx	25 máx
Límite Líquido (LL %)	25 máx	30 máx
Índice Plástico (IP %)	6 máx	10 máx
Equivalente Arena (%)	40 mín	30 mín
Índice Durabilidad (%)	40 mín	35 mín
Compactación (%) (Proctor Modif. Var. D)	100 mín	100 mín
V. R. S. (%) (Compacta dinámica) (1)	40 mín	30 mín

Fig. 9.- Valores propuestos por el Instituto Mexicano del Transporte

Las capas subrasante y sub-balasto son necesarias como liga entre una terracería de buen comportamiento y la superestructura de la vía (balasto, durmiente, riel y sujeción). Resultaría antieconómico e inconveniente desde el punto de vista estructural, exigir una terracería de tan alta calidad para sustituir estas capas y que dicha terracería pudiera estar en contacto directo con el sistema correspondiente al balasto, durmiente, riel y sujeción.

2.- Durmientes: En vías férreas se le llama durmientes a las piezas de madera, fierro o concreto que se colocan transversalmente sobre el balasto para proporcionar a los rieles de la vía un soporte adecuado, manteniendo el escantillón (separación entre los dos rieles) y transmitiendo uniformemente al balasto las cargas ocasionadas por el paso de los trenes.

Los durmientes proporcionan la manera de conservar la vía alineada y nivelada, es conveniente que el calzado del balasto sea más consistente en las partes del durmiente que están cercanas a los rieles, preferentemente en una zona de 30 a 40 cm alrededor de estos,

por ser en esta zona en donde se transmiten directamente las cargas al balasto su reacomodo puede originar deformaciones en los durmientes que pueden conducir a su rotura si no resisten el momento flector, ocasionando con ello que el escantillón se abra de manera peligrosa, (Fig. 10).

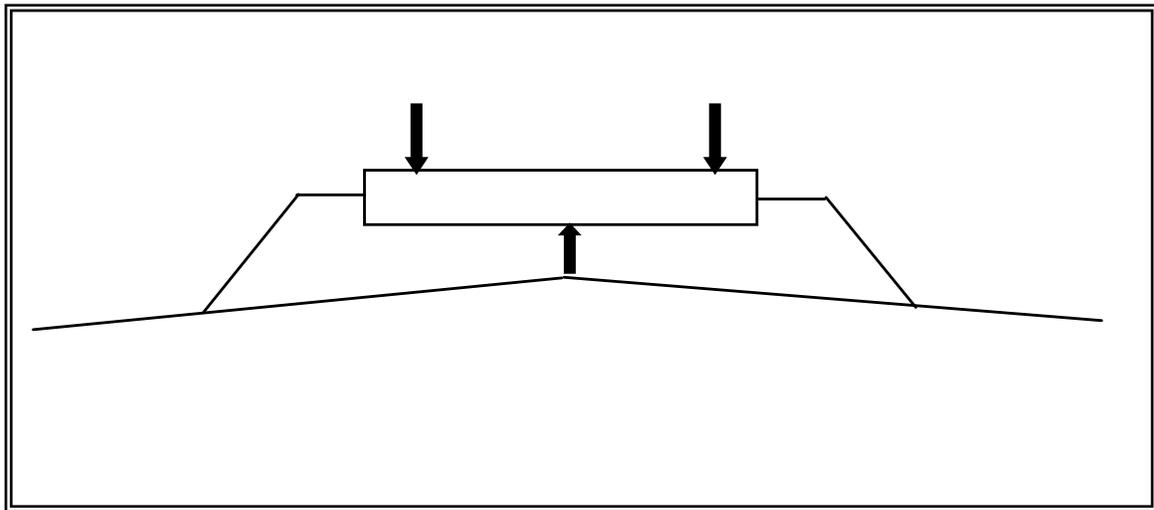


Fig. 10.- Zona de aplicación de cargas a los durmientes, por el paso de los trenes

Separación entre durmientes, el espaciamiento mínimo esta determinado por el equipo (calzadora) utilizado para el calzado del durmiente, recomendándose una separación de 25 a 30 cm entre caras contiguas, con el fin de obtener un buen bateo (Fig. 11).

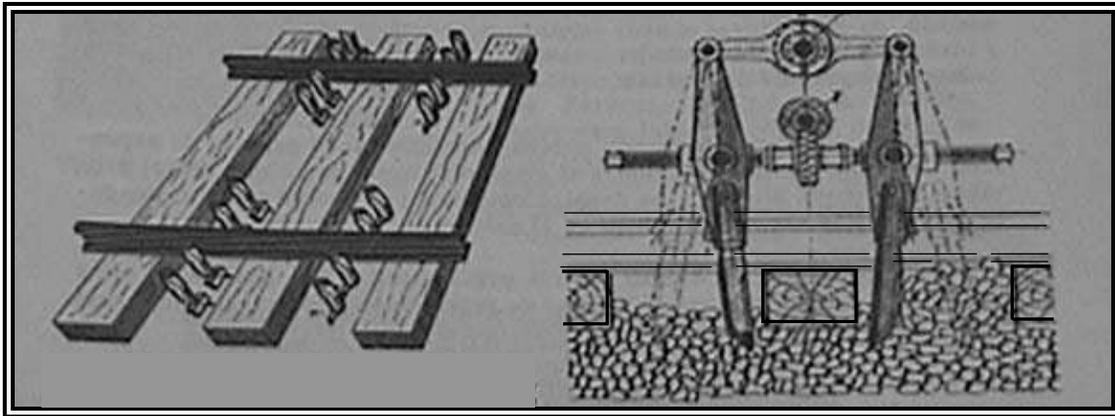


Fig. 11.- Posición esquemática de las herramientas de la calzadora, durante el trabajo de bateado

El espaciamiento máximo entre durmientes depende de la carga por eje, la flexión del riel, la naturaleza de la subestructura y de la clase de vía de que se trate. Los durmientes en general deben reunir ciertas características como son:

- Una vida útil alta, comparable de ser posible a la duración del riel que se vaya a utilizar.
- Resistencia a los esfuerzos dinámicos producidos por el paso de los trenes.
- Proporcionar una adecuada sujeción al riel, con un costo anual de conservación mínimo.
- Dimensiones apropiadas, si es demasiado largo se flexionara hacia abajo, si es muy corto se flexionara hacia arriba y si es demasiado ancho es difícil de calzar.

Existen varios tipos de durmientes y los podemos clasificar según el material de que se componen: a).- Durmientes de madera, b).- Durmientes de concreto y c).- Durmientes de acero.

a).- Durmientes de madera: El durmiente de madera es de los tres el más antiguo y es el que durante más tiempo se ha empleado con muy buenos resultados, ya que posee cualidades propias que lo hacen muy conveniente en su aplicación, tales como su flexibilidad, se pueden labrar o aserrar con facilidad, tienen características aislantes, no pesan mucho, soportan bien las grandes tensiones producidas por las cargas transmitidas al balasto, así como las que éste le reacciona, durante su utilización se batean y reparan fácilmente.

Entre las deficiencias están: Una vida útil relativamente corta (en particular los durmientes no tratados), están expuestos al deterioro por parte de insectos (termitas), de los hongos y del fuego. El desgaste y la pudrición prematura cuando suceden dificultan el mantenimiento de la vía, el costo de estos durmientes se ha elevado debido a la reducción de las reservas mundiales de madera.

Los durmientes de madera deberán ser rectos, con sus partes superior e inferior paralelas, bien labrados o aserrados, cortados en ángulo recto en los extremos y sin corteza; las fibras de la madera deberán ser rectas compactas y duras. No deben tener defectos que perjudiquen su fuerza o durabilidad como: hendiduras, huecos, nudos numerosos o grietas grandes. Los durmientes son de sección rectangular y las dimensiones reglamentarias aceptadas por la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association), para vía son las siguientes: 7" x 8" x 8' (18 x 20 x 244 cm) como mínimo y las medidas máximas 7½" x 8¼" x 8' 2½" (19 x 21 x 250 cm). Existen otras

dimensiones más grandes como son: los juegos de durmientes de cambio, los utilizados en cortavías y los durmientes para puentes.

Las diferentes variedades de madera utilizadas para producir durmientes se pueden agrupar en tres clases: **Maderas duras** como el bálsamo, brasil, capire, coral, chicozapote, ébano, granadillo, roble, tamarindillo, etc. **Maderas semiduras tipo encino** como el amargoso, encino amarillo, frijolillo, naranjillo, nazareno, pimientillo, tepeguacate, tepemezquite, ojo de toro, etc. **Maderas suaves tipo pino** como el amapa prieta, corazón bonito, lechoso, lagunillo, duraznillo, escobilla, encino rojo, mangle blanco, mangle rojo, trompillo, tepezontle, etc.

La vida útil de los durmientes de madera en la vía depende de varios factores como son la clase de madera, zona donde fue cortada, método de secado, clima, drenaje del balasto, conservación de vía, peso de la locomotora e intensidad del tráfico; con el fin de aumentar su vida útil son sometidos a tratamiento que puede ser externo y mejor aún si éste es interno.

Tratamiento de los durmientes de madera, previo a su aplicación será necesario tomar las siguientes medidas: Selección de la madera, sazónamiento o secado de la misma (aproximadamente seis meses), entallar y perforar los durmientes, esto se efectúa después de ser sazónados. Del gran número de preservativos experimentados, los que mejor han respondido a una aplicación práctica son: el sulfato de cobre, el bicloro de mercurio, el cloruro de zinc, y la creosota obtenida de la destilación de la hulla (los dos últimos son los más comunes). El

procedimiento más empleado en México en virtud de su economía y de su efectividad en el tratamiento de maderas previamente sazonadas, es el **Ruping**, el cual consta de lo siguiente: Los durmientes ya secos se colocan en carritos los que se meten en largas retortas cilíndricas, se mantiene por un tiempo de 20 a 30 minutos una presión de 4.93 kg/cm^2 a 5.63 kg/cm^2 (70 a 80 lb/plg^2), se inyecta el imprégnante (creosota caliente) a la retorta y se incrementa la presión hasta un límite que varía entre 12.67 kg/cm^2 a 14.09 kg/cm^2 (180 a 200 lb/plg^2), manteniéndola el tiempo que sea necesario de acuerdo con la madera a tratar y la retención y penetración deseada. En el método conocido como “celdilla llena” se le deja al durmiente todo el líquido que puede ser impregnado por la presión. En el método de “celdilla vacía” parte del líquido se extrae haciendo un vacío de 55 mm con el fin de que sea arrojado el excedente del preservativo que haya quedado en la madera, reduciendo en esa forma la cantidad de preservativo usado, consumiendo solamente de 5 a 6 kg por durmiente, pero dejando las celdillas suficientemente impregnadas para evitar la fermentación y el crecimiento de parásitos, hongos o insectos. En general durmientes no tratados duraran de 3 a 6 años, tratados con cloruro de zinc 11 años y los impregnados con creosota de 15 a 20 años. El peso aproximado de un durmiente para vía, crudo de las medidas ya mencionadas es de 50 a 60 kg, aumentando a 70 kg si el durmiente es impregnado con creosota (Fig. 12).



Fig. 12.- Durmientes para vía, de madera dura, tratados con impregnación de creosota

En la actualidad, el durmiente de madera, pese a que es aprobado en tales circunstancias, tiende a ser sustituido por el durmiente de concreto ya que este cumple con características generalmente superiores a las de la madera y tiene normalmente un costo anual inferior. Factor importante que mueve a esta sustitución de la madera por el concreto es la pérdida que para la economía representa el mal aprovechamiento de los bosques, ya que el durmiente de madera se necesita en cantidades tales que obliga a un ataque muy fuerte a las zonas forestales. Igualmente, la madera que de estos se saca, tiene enormes cantidades de desperdicios. Las secciones, de los árboles que se explotan, pueden ser aplicadas para usos comerciales que den mayores beneficios.

b).- Durmientes de concreto: Diversas razones han influido en los ingenieros ferrocarrileros para utilizar el concreto armado en la fabricación de durmientes, pudiéndose citar entre ellas principalmente el temor de que el aprovechamiento de durmientes de madera fuera insuficiente, y el deseo de conseguir un durmiente más durable y más resistente que los durmientes de madera y además que estos permitieran diseñar una vía moderna que sustituyera ventajosamente a la vía clásica.

Se sabe que durante los años de 1880 a 1914 se realizaron los primeros proyectos, que en algunos casos se completaron con ensayos prácticos. Con motivo del notable avance tecnológico del concreto armado, durante la Primera Guerra Mundial se intensificó el estudio metódico del problema pero no fue hasta los años de 1920 a 1940 que se establecieron las primeras fabricas productoras de durmientes de concreto. Durante este periodo, se fabricaron durmientes monolíticos de concreto con características geométricas similares a los de madera y también se fabricaron durmientes mixtos, formados de dos bloques de concreto armado unidos entre sí por una barra metálica que mantiene el escantillón de la vía. Al primer tipo pertenece el durmiente "Orión" estudiado por M. Lefranc, de los cuales en el lapso de 1928 a 1933 se colocaron alrededor de 200,000 piezas en varias líneas, entre las cuales puede mencionarse la vía de Toulouse-Bayonne, típico del segundo caso es el durmiente "Vagneux" que se utilizó en Francia por el año de 1931 en la línea férrea de París a Clermont-Ferrand y en varias vías férreas de África del Norte, Indochina, Suiza, Bélgica e Italia.

En México el Ing. José A. Martínez Ugalde ideó y construyó un durmiente de concreto armado en el año de 1926, que se utilizó en las vías del patio de Puebla.

Hubo un gran número de durmientes de concreto diseñados en muchos otros países y todas esas experiencias confirmaron lo difícil que resultaba fabricar un durmiente de concreto armado que se conservara sin sufrir daños frente a los fuertes esfuerzos e impactos que produce la circulación de los trenes, cada día más pesados y veloces.

Durante la Segunda Guerra Mundial, se perfeccionó la tecnología de fabricación de durmientes de concreto, surgiendo diversos sistemas y tipos que resistían correctamente la sollicitación de esfuerzos a que estaban sometidos en las vías en servicio. Como la madera escaseaba, esta modalidad recibió el impulso definitivo que finalmente propició la aparición del durmiente de concreto ya sea reforzado o preesforzado (pretensado o postensado). Se puede decir que a partir de esta época la fabricación de durmientes de concreto logró su objetivo, vinculando bajo diseños originales las características de resistencia, flexibilidad y durabilidad requeridas en cada uno de los tres modelos de durmientes prototipo que a continuación se describen:

- Durmiente monolítico, que consiste en una viga de concreto con sección constante o variable y pueden ser armados con acero normal o con acero de preesfuerzo (pretensado o postensado).

- Durmiente no monolítico, esta formado por dos bloques de concreto y un travesaño con dos juntas elásticas, ligados entre sí con acero de preesfuerzo.
- Durmiente mixto o biblock, esta compuesto por dos bloques extremos de concreto armado con acero normal, unidos entre sí mediante un perfil de acero duro que funciona como elemento flexible y además asegura el escantillón de la vía.

A partir de 1950 cuando la industria del durmiente de concreto en Europa había desplazado al durmiente de madera, en México surgió la inquietud de adoptar esta técnica con el fin de preservar nuestra riqueza forestal, procurando una mejor utilización de la madera y satisfaciendo al mismo tiempo la demanda cada vez más creciente de durmientes para la conservación o rehabilitación de las vías férreas en servicio, así como para la construcción de nuevas vías.

El durmiente mixto o biblock fue el primero que se fabricó en forma masiva a nivel mundial bajo el diseño del Ing. Vagneux, luego vino Lefranc y finalmente fueron perfeccionados por el Ing. Roger Sonnevile quien al parecer había sido ayudante del Ing. Vagneux, este sistema posteriormente es utilizado en México.

A principios de 1959, la Secretaría de Obras Públicas inició los estudios preliminares tendientes a establecer en nuestro país una fábrica de durmientes de concreto ya que era inminente la necesidad de iniciar la producción de estos elementos a la brevedad posible, en la XII Junta Regional del Instituto Americano del Concreto celebrada

en la Ciudad de México (Noviembre de 1959), quedó de manifiesto que para 1960 el requerimiento de durmientes sería del orden de seis millones de piezas para conservar, rehabilitar y construir nuevas vías.

Es así como en febrero de 1960 se instala en Ciudad Acuña, Coah., la primera planta para fabricación de durmientes mixtos (biblock) del tipo RS (francés) que llevan el nombre del Ing. que los perfecciono (Roger Sonnevile), iniciando la producción en marzo del mismo año. Estos durmientes fueron utilizados en varias líneas como son: San Carlos-Ciudad Acuña (39 km) en el estado de Coahuila, en base a los resultados satisfactorios obtenidos al emplear durmientes de concreto, también se utilizaron en los tramos Chihuahua-Topolobampo y Chihuahua-Ojinaga, del ferrocarril Chihuahua al Pacífico, así como en la unión del ferrocarril Tehuano con el del Sureste a través del puente Coatzacoalcos, por otra parte los Ferrocarriles Nacionales de México tomaron la decisión de utilizarlos en la línea Monterrey-Matamoros.

En 1964 el durmiente mixto (biblock) tipo RS, es modificado debido a que la barra que une los dos bloques de concreto se tenía que importar de Francia por ser de un material especial, se sustituye dicha barra por un ángulo de los que se fabrican en México colocado verticalmente, es decir utilizando su máximo momento de inercia en el sentido vertical con resultados muy satisfactorios, es así como se patento el durmiente mixto tipo SL, fabricándose en Dolores Hidalgo, Gto. Utilizándose en el tramo en construcción Viborillas-Villa de Reyes y en la rehabilitación del tramo Villa de Reyes-San Luís Potosí.

El durmiente mixto (biblock) tiene la ventaja de que debido a su travesaño central, no está sujeto a flexión, ocasionada por la reacción del balasto al paso de los trenes, sino que esta reacción ocurre directamente sobre las áreas de apoyo de los bloques laterales. El peso total de este tipo de durmiente es de 197 kg y sus dimensiones por bloque son 29 cm en su base mayor, 22 cm en su base menor, 21 cm en promedio de altura y 72 cm de largo, con una longitud total incluyendo el perfil central de 224 cm, (Fig. 13).



Fig. 13.- Durmiente mixto (biblock) de concreto armado, $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$

Los durmientes de concreto monolíticos (monoblock), armados con acero normal (no tensado) resultaron ser muy pesados, requieren de mucho acero y están expuestos al surgimiento de fisuras, debido a esto no han tenido mucho empleo y se pueden mencionar dentro de este grupo, el Pennsylvania Railway y el Gaudin.

Los durmientes de concreto monolíticos (monoblock), armados con acero de preesfuerzo, tienen en su interior un número determinado de varillas de acero que serán tensionadas para dar las características de diseño propias de cada uno, en este grupo existen los siguientes tipos: Dywidag (Alemania), Dow-Mac (Ingles), Stent (Ingles) y V.W (Francés), etc.

En 1967 se instala en Panzacola, Tlax. La primera planta para fabricación de durmientes monolíticos (monoblock), tipo Dywidag diseño patentado por la Compañía Dickerhoff and Widman de Alemania, basado en un concreto de revenimiento cero, con una resistencia a la compresión de 600 kg/cm^2 a los 28 días, resistencia a la tensión de 65 kg/cm^2 y el sistema de preesfuerzo es postensado a base de alambre estirado en frío de alto carbón, con un límite elástico de $14,000 \text{ kg/cm}^2$ y una resistencia de $16,000 \text{ kg/cm}^2$ a la ruptura y un alargamiento mínimo de tensión de 6%, habilitado en forma de horquilla y cuerdas roladas a los extremos con anclajes de preesfuerzo por medio de una tuerca ranurada cónica que se apoya en elementos ahogados en el concreto. Para el desarrollo del cálculo estructural se toman en consideración las características de la vía, el calibre del riel, las cargas máximas por eje, las velocidades dinámicas de operación y los impactos o sobre cargas producidos por el equipo rodante. Estos durmientes se han utilizado en líneas de tráfico pesado y vías de curvatura pronunciada, tienen una sección transversal trapezoidal con una base sobre los 30 cm y un peralte de 15 a 18 cm en la parte media, con una longitud de 240 cm y un peso aproximado de 300 kg dependiendo del modelo (B-53, B-55, B-58, I-84, I-85, etc.).

En 1974 se instala en Tizayuca, Hgo. La segunda planta para fabricación de durmientes monolíticos (monoblock) tipo Comecop, este durmiente fue el resultado de un diseño que cumpliera con las especificaciones vigentes de la A.R.E.A. (American Railway Engineering Association) encontrando una sección que satisficiera los diferentes esfuerzos a los que sería sometido el durmiente, dando como resultado un durmiente robusto que pesa del orden de 340 kg, el sistema de preesfuerzo es pretensado, esto significa que la tensión del refuerzo se realiza antes de colocar el concreto mediante 9 líneas de alambre de 7 mm de diámetro cada uno, de alta resistencia. La precompresión que se induce en el concreto ya efectiva después de la perdida es del orden de las 42 toneladas y tiene una longitud aproximada de 240 cm, este tipo de durmiente fue utilizado en la línea del Istmo-Tehuantepec.

Todos ellos vienen de fábrica con las preparaciones necesarias para recibir posteriormente la sujeción y tienen igualmente, en el centro, un angostamiento con el objeto de absorber la reacción central del balasto, evitando en lo posible que se produzca el momento flexionante, se ha notado mediante investigaciones que al aplicarse bruscamente la carga se presentan momentos de signo contrario, tan elevados como el momento creado por la carga misma. Este doble esfuerzo a que esta sometido el durmiente se agrava aún más por los fenómenos vibratorios adicionales que pueden llegar incluso a provocar la fisuración del durmiente, por lo que es muy importante respetar las condiciones de mantenimiento y conservación de la vía sobre todo el calzado y espesor del balasto (Fig. 14).



Fig. 14.- Durmiente monolítico (monoblock), de concreto preesforzado

Los durmientes de concreto no monolíticos (compuestos) entre los que figura básicamente el durmiente Franki-Bagon de construcción Belga. Este durmiente consta de tres piezas de concreto ligadas entre sí por una varilla de tensión con un material deformable especial en las juntas y fue concebido con el objeto de permitir en sus juntas un juego que elimina la flexión al centro debida a la reacción del balasto, al paso de los trenes. La liga entre las tres piezas, se hace postensando la varilla única de armado. Estos durmientes no han sido utilizados en México.

c).- Durmientes de acero: Estos durmientes deben presentar una resistencia para no deformarse o romperse bajo los esfuerzos a que están sometidos, así como también deberán realizar buena transmisión de las cargas al balasto, son a la fecha en Europa, de uso

bastante reducido por su alto costo y por preferir darle al acero otras aplicaciones que trasciendan más notablemente en la economía nacional. En México su uso ha sido exclusivamente en vía minera, en el antiguo ferrocarril Mexicano y en el Interoceánico (vía angosta) lo instalaron los ingleses.

Son comúnmente en forma de canal con labios inferiores rematados, ahogándose estos en el balasto dándole un alto valor de anclaje, tiene la forma de un cajón invertido, siendo cerrado en sus extremos para que por medio del balasto se oponga a los desplazamientos, tanto longitudinales como transversales, por lo que su uso a la fecha se reduce a líneas de muy alto grado de curvatura y pendiente, donde la vía se ve altamente esforzada, su longitud varia de 240 cm a 270 cm y su peso entre 50 y 70 kg.

Los rieles se fijan en esta clase de durmientes ya sea directamente sobre estos, que es lo más común o bien, por la interposición de una placa de madera u otro material.

Su vida es variable dependiendo de la zona donde se coloque y del grado de corrosión del ambiente, pero en general son de larga duración, limitada solo por la vida de los elementos de sujeción del riel, siendo mayores sus deformaciones cuando los trenes sean de mayor peso y más veloces, es por eso que la duración de este durmiente varia más por la circulación de los trenes que por la edad; lo contrario del durmiente de madera. Por experiencia se ha observado que la vida mínima de un durmiente de acero es de 30 años. Se acepta también el

hecho que ocasionan menores gastos de conservación de la vía por ser mayor la rapidez de su colocación y más rápido el apriete de los elementos de sujeción del riel, comparándolo con el durmiente de madera (Fig. 15).

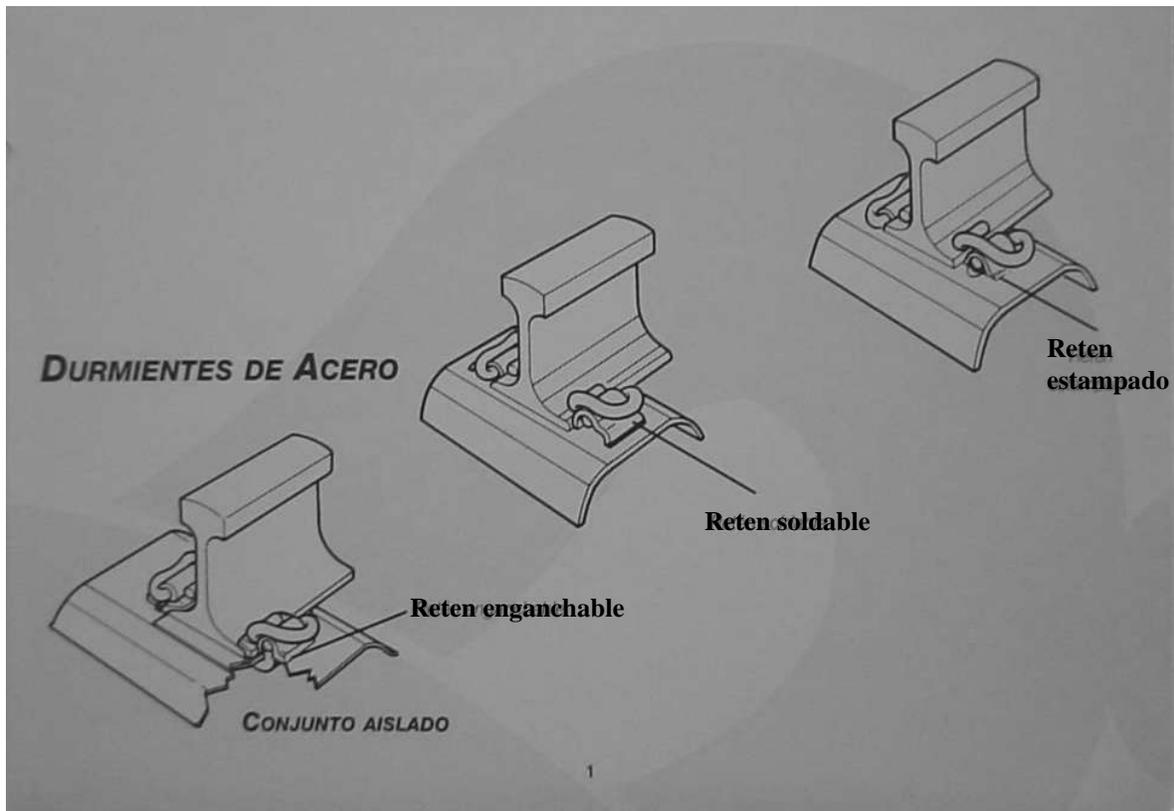


Fig. 15.- Durmiente de acero (conchas), con las diferentes opciones de sujetar el riel

3.- Rieles: El riel constituye el elemento fundamental y más importante de la superestructura de la vía y en conjunto con los elementos de sujeción y de apoyo. Soportan y transmiten a las capas inferiores las cargas y esfuerzos longitudinales, transversales y verticales, aplicados por las ruedas de los trenes, el riel también sirve de superficie de rodamiento y como guía de las ruedas en movimiento. Su diseño a diferencia de la mayoría de estructuras ingenieriles no ha

seguido métodos cien por ciento racionales y su actual forma es el resultado de fallas que han sufrido los diseños anteriores, además del aumento de cargas y velocidades del equipo móvil actual. Esto es debido a la cantidad de factores indeterminados que afectan a las cargas estáticas y dinámicas que actúan sobre la vía, la estructura propia debe ser lo suficientemente resistente para soportar estos esfuerzos y los cambios estructurales del metal, provocados por la elevación frecuente de temperatura ocasionada por la fricción, el frenado y el patinado de las ruedas en la pequeña superficie de contacto.

En los inicios de los ferrocarriles se utilizaron rieles que servían principalmente para guiar las ruedas de los trenes y tenían escasa rigidez en el plano vertical, posteriormente se fueron requiriendo rieles que trabajaran a la flexión como el Bullhead (ingles) de doble cabeza, este diseño tenía el propósito de que, una vez desgastada la cabeza superior, se invirtiese para usarse la inferior, lo cual no fue posible debido a que normalmente esta cabeza presentaba entalladuras o huellas ocasionadas por los apoyos (silletas) y la sujeción. Existe otro tipo de sección llamada Phoenix, que es para usos especiales de tráfico liviano, como pueden ser vías de puertos o tranvías. Existió una gran variedad de tipos de rieles, pues casi cada ferrocarril tenía su propio diseño, sin embargo los ya mencionados fueron los más conocidos.

En 1830 el coronel Roberto L. Stevens, presidente del Ferrocarril Candem y Ambay de New Jersey implanto un nuevo diseño el riel tipo

Vignol (Carlos Vignoles es quien lo introduce a Europa), utilizado por los ferrocarriles americanos, este diseño es el que tiene una base plana, es decir tiene forma semejante a una “T” invertida y de patín ancho, el proceso de laminación se realizó en Inglaterra ya que en los Estados Unidos carecían de laminadoras, anteriormente los rieles eran de hierro forjado y fue hasta 1865 que iniciaron la laminación del riel de acero, utilizando el procedimiento inventado por el inglés de apellido Bessemer, y prácticamente desde 1882 en todos los países los rieles son de acero.

En 1934 después de haber realizado cuantiosos estudios y pruebas, con objeto de conseguir una mayor eficiencia y duración en los diferentes usos a que se les destina. La A.R.E.A. (American Railway Engineering Association), establece las especificaciones para la manufactura del riel en donde se definen las dimensiones exactas de cada parte de la sección, la composición química y demás requisitos de fabricación para los ferrocarriles americanos, según diseños de cinco tamaños diferentes denominándolos de acuerdo a su calibre, o sea su peso promedio en relación con la unidad de longitud, expresada en libras por yarda (90 lb/yd, 100 lb/yd, 112 lb/yd, 131 lb/yd y 152 lb/yd), si lo queremos en el sistema métrico decimal (kg/m) se puede aplicar la regla práctica que consiste en sacar mitad al peso por yarda. Las partes que caracterizan al riel son: El hongo en la parte superior y esta formado por la banda de rodamiento, los filetes y los lados o caras, tiene dos dimensiones ancho y altura; el alma es la unión entre el hongo y el patín, sus dimensiones son el espesor y su altura; finalmente se tiene el patín en la parte inferior, que está

formado por dos alas y tiene por dimensiones la altura y el ancho; el porcentaje de acero aproximado utilizado es 36.3 % en el hongo, 24 % para el alma y 39.7 % en el patín (Fig. 16).

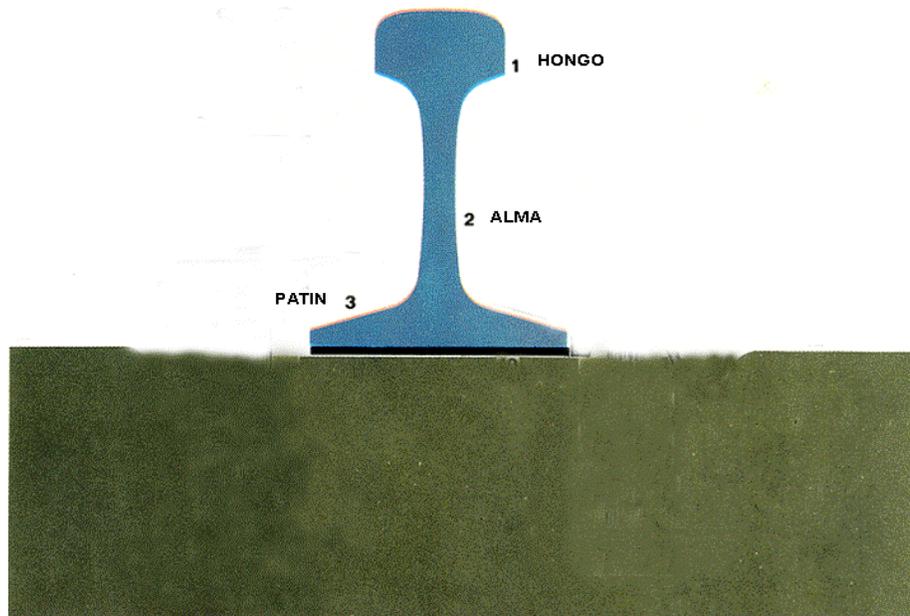


Fig. 16.- Tipo de sección del riel que se esta utilizando actualmente

Los rieles en la red ferroviaria nacional son de muy diversos tamaños, desde el riel pequeño en laderos de bajo movimiento en los que aún encontramos riel de 40 lb/yd, hasta las vías últimas de gran tráfico, en las que se colocó riel de 112 lb/yd y 115 lb/yd, en vías principales. La selección del peso y perfil del riel, es algo complicado pues debe tomarse en cuenta las condiciones de operación de la línea como son: las cargas por eje, velocidades de circulación, la separación entre durmientes, densidad de tráfico.

Las experiencias demuestran que el peso del riel debe aumentarse a medida que se aumentan las condiciones de operación.

Una fórmula práctica para obtener aproximadamente el peso del riel a utilizar en una vía es la siguiente:

$$\text{Calibre del riel} = \frac{\text{Carga por rueda}}{350}$$

Es decir por cada 350 libras de peso sobre una rueda, deberá considerarse una libra por yarda en el calibre del riel. De esta manera para una carga por eje de 80,000 lb se tendrá lo siguiente:

$$\text{Carga por eje} = 80,000 \text{ lb} = 80,000 / 2 = 40,000 \text{ lb por rueda}$$

$$\text{Calibre del riel} = \frac{40,000}{350} = 114.28 \approx \boxed{115 \text{ lb/yd}}$$

Actualmente en el mercado mexicano existen diferentes calibres de rieles, con lo que se pueden solucionar la mayoría de los casos que se presenten (Fig. 17) y (Fig. 18).

RIEL. (PERFIL AMERICANO) NORMA A.S.C.E.						
Peso Normal	DIMENSIONES EN PULGADAS					PESO / PIEZA
Por Yarda	ALTURA	BASE	HONGO	ALMA	LONGITUD	(APROX.)
20 lb.	2 5/8	2 5/8	1 11/32	1/4	30'	90 kg.
25 lb.	2 3/4	2 3/4	1 1/2	19/64	30'	113 kg.
30 lb.	3 1/8	3 1/8	1 11/16	21/64	30'	136 kg.
40 lb.	3 1/2	3 1/2	1 7/8	25/64	40'	241 kg.
60 lb.	4 1/4	4 1/4	2 3/8	31/64	33'	299 kg.
80 lb.	5	5	2 1/2	35/64	39'	471 kg.
85 lb.	5 3/16	5 3/16	2 9/16	9/16	39'	501 kg.

Fig. 17.- Tipo de riel en calibres pequeños, norma del comité especial de vías de ferrocarril

RIEL
(PERFIL AMERICANO)
NORMA A.S.T.M. A1 o AREMA

Peso Normal Lb./Yrd.	Tipo de Riel	DIMENSIONES EN PULGADAS.					LONGITUD	PESO
		ALTURA	BASE	HONGO	ALMA			
100	AREA	6	5 3/8	2 11/16	9/16	39'	590 Kg.	
100	ARA-A	6	5 1/2	2 3/4	9/16	39'	590 Kg.	
115	AREA	6 5/8	5 1/2	2 23/32	5/8	39'	678 Kg.	
132	AREA	7 1/8	6	3	21/32	39'	778 Kg.	
136	AREA	7 5/16	6	2 15/16	11/16	39'	802 Kg.	
140	AREA	7 5/16	6	3	3/4	39'	826 Kg.	

Fig. 18.- Tipo de riel en calibres mayores, norma de la sociedad americana para pruebas de materiales

La elección del calibre de los rieles debe ser justificada por cálculos técnico-económicos. La vida útil del riel puede variar desde 10 hasta 50 años dependiendo del tráfico, velocidad, calibre, tipo y separación entre durmientes, calidad y mantenimiento respecto del balasto, la reducción de vibraciones (sujeción elástica) y el mejor alineamiento geométrico de la vía.

La fabricación de rieles de acero es resultado de mezclar y laminar minerales básicos como son: el hierro, carbono, manganeso y el silicio. Así mismo se encuentran con estos, minerales indeseados e impurezas como el fósforo, azufre, gases y escoria. El acero para los rieles se puede obtener mediante los siguientes procedimientos: En horno de hogar abierto, aceración convertidor, oxígeno básico (BOF), por lo general las fundidoras utilizan en sus altos hornos el de hogar

abierto, en la actualidad se utiliza también el horno eléctrico de arco y corriente continúa.

La tecnología actual también se ha aplicado en la fabricación de rieles, el horno eléctrico de arco, totalmente automatizado nos da algunas ventajas en la producción de acero para rieles con especificaciones muy exigentes, ya que las condiciones de refinado de estos hornos se pueden regular más efectivamente que las de los hornos de crisol abierto o los hornos básicos de oxígeno, además el consumo de energía es más bajo, menor consumo del electrodo, una vida refractaria más prolongada, niveles de ruido más bajos, menor mantenimiento, mejora en el efecto de revolver; esto se refleja en un significativo ahorro de costos y una mejor calidad del acero.

Una vez cargado el horno se hacen descender unos electrodos hasta la superficie del metal, la corriente eléctrica fluye por uno de los electrodos, forma un arco eléctrico hasta la carga metálica, recorre el metal y vuelve a formar un arco hasta el siguiente electrodo. La resistencia del metal al flujo de corriente genera calor que junto con el producido por el arco eléctrico, funde el metal con rapidez.

El acero obtenido se vacía en un horno tipo cucharón también de arco, donde se realiza una refinación adicional del acero controlando de forma rigurosa mediante dispositivos automáticos, la temperatura y capacidades de ajustes químicos del metal. La mezcla del Argón, a través de un enchufe poroso en el fondo del cucharón, promueve una mezcla homogénea de los minerales en el cucharón, ayuda en el

control de la temperatura e induce la flotación de inclusiones no metálicas.

La desgasificación en el depósito de vacío es muy importante, ya que reduce el contenido de hidrógeno en el acero líquido para prevenir la formación de las burbujas de hidrógeno o grietas y astillas. Para facilitar la desgasificación, el acero se remueve por una corriente de gas inerte (Argón) o electromagnéticamente.

La práctica de la refinación adicional en la fabricación del acero, combinada con los beneficios del horno tipo cucharón y la desgasificación al vacío significa que los enormes moldes de lingotes reciben el acero con mejoras significativas en los niveles de limpieza interna. La química correcta y la temperatura correcta en el tiempo adecuado, resultan en una mejora en la vida útil del riel (Fig. 19).

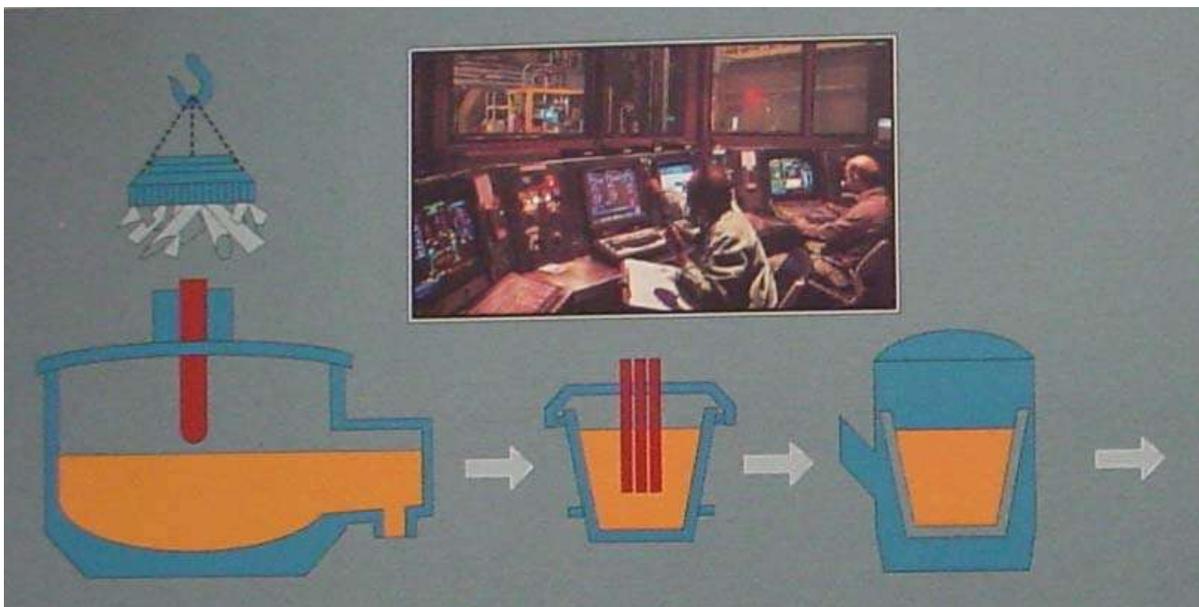


Fig. 19.- Horno eléctrico de arco, cucharón eléctrico de arco y depósito desgasificador al vacío

Una vez finalizada la desgasificación de la colada se lleva hasta los enormes moldes de lingotes continuos, donde se produce el acero para riel más limpio por que elimina la reoxidación totalmente gracias a que estos moldes cubren totalmente el acero fundido de la atmósfera y previene la nueva formación de inclusiones no metálicas dañinas. La calidad superficial se ve muy mejorada y las fisuras invisibles como la llamada “riel entubado” es virtualmente eliminada, el acero es vaciado a los moldes de rodillos utilizando el procedimiento de colada continua. Los lingotes resultantes son de calidad de clase mundial, con un interior sano y una superficie excelente (Fig. 20).

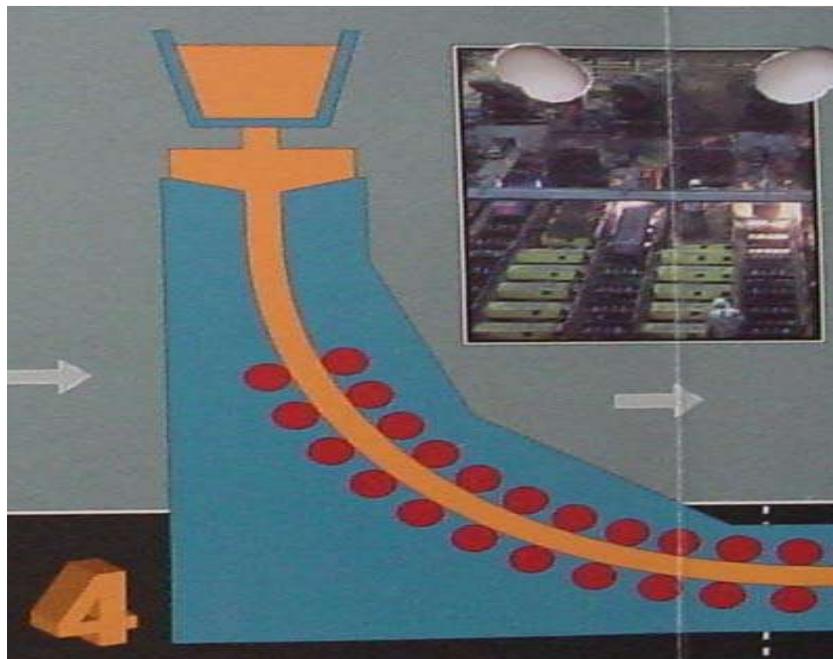


Fig. 20.- Moldes gigantes para fabricación de lingotes continuos

Ya formado el lingote continuo es cortado a la medida necesaria para introducirlo en un horno especial llamado fosa de remojo, donde se recalientan para obtener una temperatura uniforme en su totalidad

adecuada para el proceso de laminación, esto permite que la conexión caliente de los moldes de lingotes y la de los rodillos proporcionen ahorros de energía muy considerables, además la conexión caliente elimina los problemas potenciales de agrietamiento por temperatura, asociados con el enfriamiento de los lingotes a la temperatura ambiente y su recalentamiento. El sistema de control de las fosas de remojo se ha puesto al día con la última tecnología de control por computadora.

El tren de laminación esta formado por tres laminadoras diferentes que van reduciendo el tamaño del lingote de 44" a 35" y de 35" a 28", hasta reducirlo a la sección de riel final (reducción 25:1), a través de los rodillos de diferentes formas que tienen las propias laminadoras (rodillos desbastadores, rodillos intermedios y rodillos de acabado). Para mantener buena calidad superficial la laminadora de riel de 28" tiene integrado un equipo de control automatizado de alta presión, enfriamiento y lubricación de los rodillos.

Al final de la salida del laminador de 28", el riel es introducido a una unidad (medidor 101), que utilizando el calor latente del proceso de laminado le aplica un espaciamiento inter-laminar fino, para endurecer la parte superior (cabeza) del producto. El sistema es completamente automatizado y utiliza la aplicación de agua rociada para el enfriamiento del riel. El resultado de la aplicación de esta tecnología es un riel con una dureza excelente y un mejoramiento importante de la resistencia al desgaste, las tensiones residuales y la rectitud obtenida son también excelentes. Los rieles producidos con la

aplicación de esta tecnología se han utilizado en líneas férreas de tráfico pesado de los Estados Unidos, con muy buenos resultados.

Posteriormente se aplica un sistema de enfriamiento controlado, en cajas aisladas para asegurar la eliminación de cualquier gas en especial el hidrógeno que pudo haber sido re-introducido después del proceso de desgasificación al vacío, este proceso reduce futuros riesgos de daños del hidrógeno (Fig. 21).

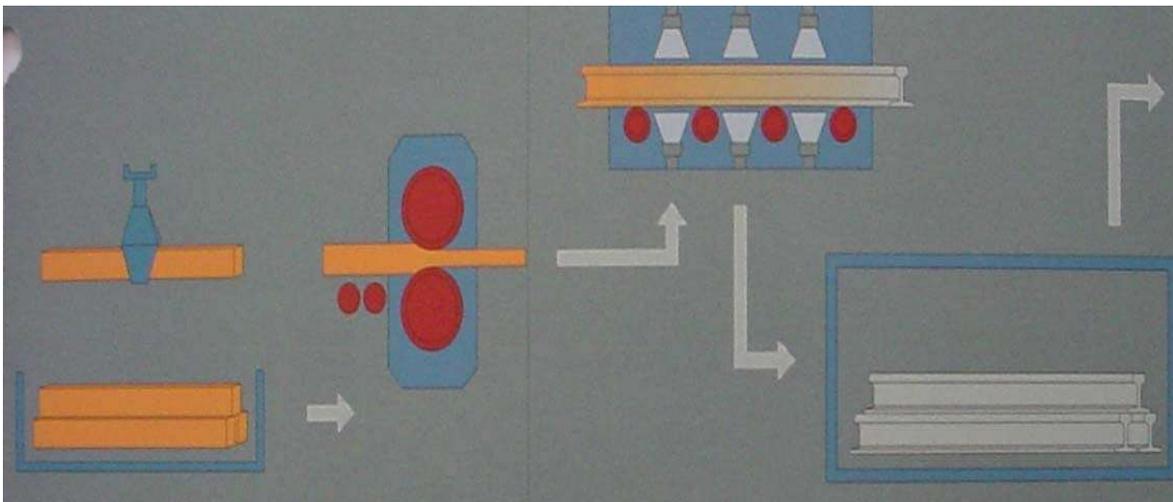


Fig. 21.- Fosa de remojo, tren de laminación, endurecimiento de la cabeza y enfriamiento controlado

Todos los rieles se pasan por un enderezador de rodillos de dos planos para tensar las posibles pequeñas ondulaciones, torceduras dobles ocasionadas por la contracción desigual durante el enfriamiento controlado, los niveles de la carga aplicada por las prensas se supervisan en forma continua para asegurar la producción de rieles rectos sin daño mecánico, un sistema de alarma advierte de cargas excesivas. Pasando posteriormente a la Sierra donde son cortados a la medida reglamentaria.

Inspección en línea del riel, este procedimiento se realiza utilizando los siguientes equipos:

- Estación de inspección visual
- Calibradora ultrasónica de torsión, mide el tiempo transcurrido entre dos rayos de sonido dirigidos a la base del riel
- La unidad ultrasónica Dapco 300 es de tecnología muy avanzada, completamente automatizada, con un sistema de rociadura de pintura automática, utiliza un gran número de traductores montados en ruedas de neopreno, colocados estratégicamente alrededor del riel para supervisar la calidad interna
- Calibrador láser de alineación, este instrumento realiza medidas de desviación de tres-puntos a través del cuerpo del riel. Rayos láser son dirigidos a la cabeza del riel y los datos son monitoreados continuamente por una computadora
- La unidad óptica de medición de la sección mide en forma automática dimensiones dominantes del riel terminado. Los datos son analizados continuamente por una computadora para ayudar al control de la sección y para permitir reducciones futuras de variabilidad de la sección

El sistema en línea de la codificación de barra incluye un instrumento óptico de reconocimiento, una impresora de código de barras y el lector. Este sistema proporciona una identificación eficaz, control de inventarios y control de envíos de todos los rieles.

Las etiquetas del código de barras pueden ser utilizadas posteriormente para los inventarios de rieles, soldadura de rieles y las operaciones de inspección en campo (Fig. 22).

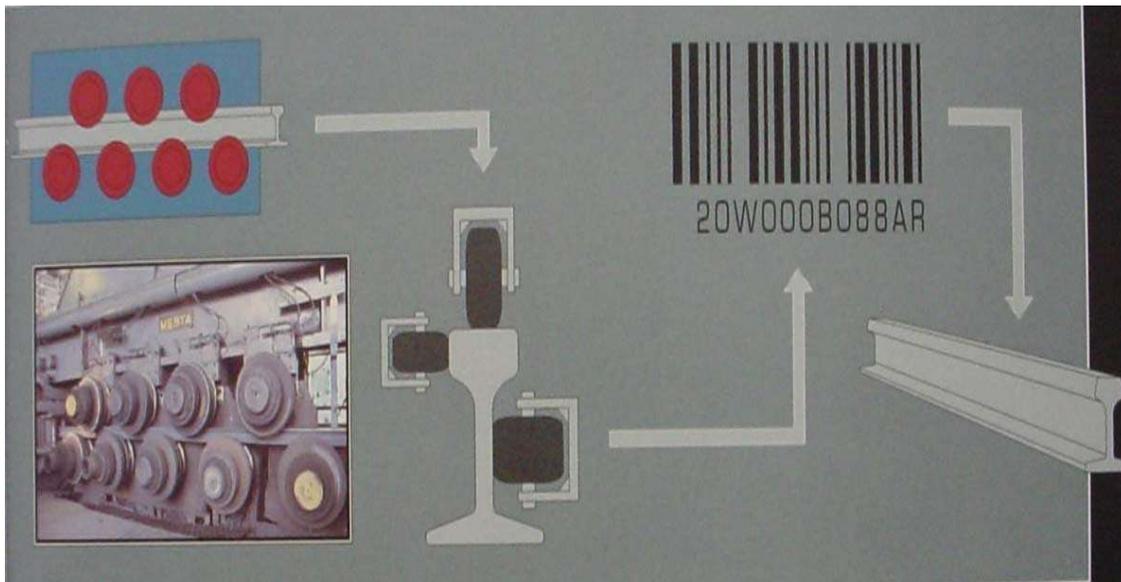


Fig. 22.- Enderezador de rodillo, inspección en-línea, etiqueta de código de barras

Los elementos químicos que debe contener un riel, son los siguientes: hierro, que constituye del 98.0 al 98.5 %; carbono, manganeso y silicio, que corresponden al 1.5 o 2.0 % solamente, y el fósforo y azufre, que son las impurezas.

Para producción de rieles se usa generalmente acero al carbono, aunque con menor frecuencia se utilizan aleaciones especiales de acero. Los principales elementos del acero de rieles, además del hierro son:

Carbono, manganeso, silicio, azufre, fósforo. Cada uno le comunica al acero propiedades particulares.

- Carbono: aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, aunque lo hace quebradizo
- Manganeso: aumenta la resistencia y la tenacidad
- Silicio: contribuye a la expulsión de gases al fundirse o laminarse el metal
- Fósforo: comunica fragilidad al someterse el metal a cargas de impacto, sobre todo a bajas temperaturas
- Azufre: Causa roturas, sobre todo a altas temperaturas (durante la laminación).

Para darle mayor calidad a los rieles o para proporcionarles propiedades especiales se lleva a cabo la aleación de acero, adicionándole vanadio, cromo, molibdeno, níquel, tungsteno, manganeso, etc. El elemento adicionado puede variar del 1.0 al 2.0 % (aceros de baja aleación) o del 12.0 al 15.0 % (aceros de alta aleación) para obtener rieles de alta resistencia (Fig. 23).



Fig. 23.- Riel continuo de 115 lb/yd, sección RE, dureza estándar

4.- Accesorios de vía: Los accesorios de vía los podemos clasificar de la siguiente manera: a).- Accesorios de sujeción o juntas de unión (riel con riel) y b).- Accesorios de fijación (riel con durmiente).

a).- los accesorios de sujeción o juntas de unión son los elementos de la superestructura que se utilizan para unir los rieles de tal forma que se formen rieles continuos.

Como sabemos la junta es uno de los problemas principales con los que se vienen encontrando las vías. En un principio, la junta se consideraba como una necesidad física indispensable para permitir al riel expandirse la longitud que la temperatura le obligaba. Esta junta representa una zona débil ya que el espacio entre dos rieles obligaba a un golpe sobre el equipo rodante destruyéndolo. Este golpe a la vez producía sobre las cabezas de los rieles un impacto, deteriorando y reduciéndolo en forma prematura, provocando con esto que el golpe se aumentara y sucesivamente los efectos por sí mismos iban también en aumento, incrementando los gastos de conservación de la superestructura de la vía, el mantenimiento del material rodante y del equipo de tracción.

Las vías modernas tienden en la actualidad a eliminar en lo posible este punto débil haciendo un tramo continuo de riel.

La junta comúnmente conocida hasta la fecha, es la consistente en un par de placas denominadas planchuela, de forma especial que apoya en el patín del riel y en la parte inferior del hongo y que van

ligadas entre sí por medio de tornillos y tuercas dándole el apretado necesario para lograr parcialmente la continuidad de el riel, permitiéndole igualmente la dilatación necesaria. Estas planchuelas van en número de dos por junta, acompañadas de 4 o 6 tornillos según el tamaño del perfil del riel (Fig. 24).

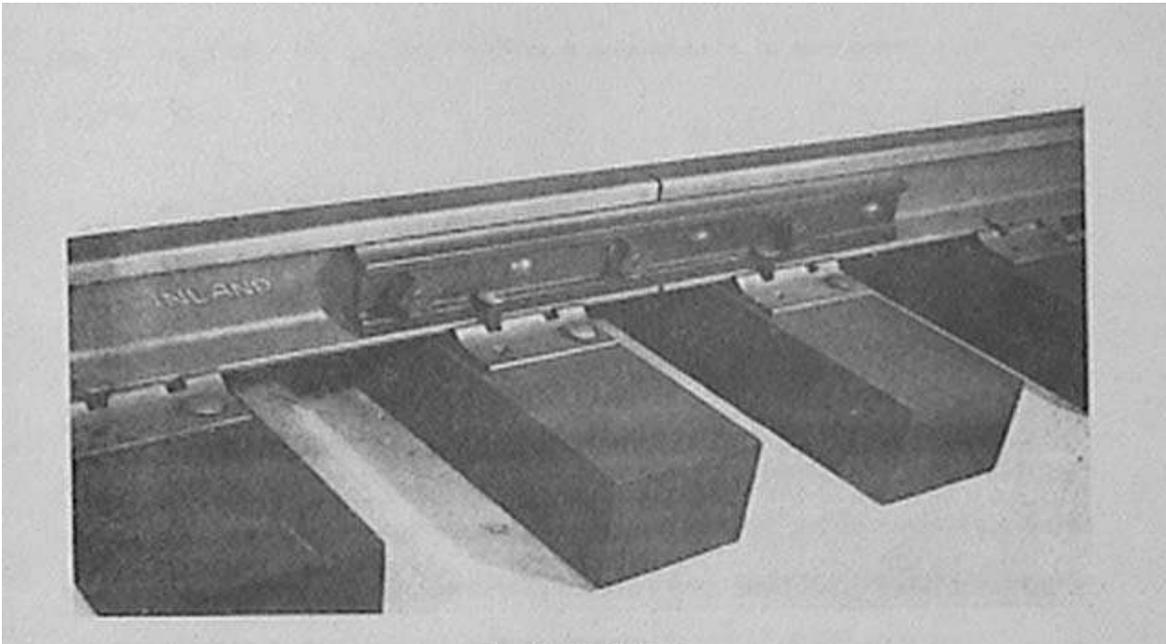


Fig. 24.- Vía tradicional, junta con planchuela y seis tornillos, para darle continuidad al riel

En la actualidad la planchuela debe desaparecer totalmente de las vías sobre todo de las principales, ya que tiene los inconvenientes de deterioro antes mencionados y no tiene ni siquiera la defensa de ser junta económica en comparación de la soldadura que es su competidor.

Obligado es en una vía moderna el uso de riel continuo (L.R.S. largos rieles soldados), soldando los diferentes tramos, ya sea por el procedimiento eléctrico o por el procedimiento aluminotérmico. La

soldadura en el riel trae como consecuencia todas las ventajas que en la planchuela son inconvenientes, o sea el riel continuo (L.R.S.) elimina el golpeteo en el equipo rodante, conservando éste en mejor estado; por no existir separación entre los rieles, no existe el golpe que daña las cabezas de los mismos, dando con esto al riel una vida útil más larga. Debido a que el paso de los trenes es más uniforme, el desgaste en el riel también se reduce notablemente, especialmente el ondulado, ocasionando de la misma forma una vida útil del riel más prolongada.

Las formas de soldadura comúnmente conocidas como se dijo anteriormente, son la soldadura eléctrica y la soldadura aluminotérmica. La primera es una soldadura que se verifica en talleres instalados ex profeso y en los cuales los rieles se juntan y se soldan a tope por medio de una resistencia eléctrica (Fig. 25).



Fig. 25.- Soldadura eléctrica, en riel de 115 lb/yd

Los segundos, los procedimientos aluminotérmicos, tienen la ventaja sobre los anteriores en que, se pueden hacer indistintamente en un taller o directamente en el campo sobre la vía misma sin interrumpir el tráfico que sobre ésta ocurra. La soldadura aluminotérmica se basa en la vieja reacción química, que dice que el óxido de hierro y el aluminio pulverizados y a grandes temperaturas (1,200°C), reaccionan para producir el óxido de aluminio que se desprende y el fierro que se funde en el lugar de la junta, al terminar la reacción los productos resultantes, hierro y aluminio se encuentran en estado líquido muy fluido, flotando el aluminio o escoria por su menor densidad. Efectuada la soldadura se corta el excedente y finalmente por esmerilado se rehace el perfil del hongo del riel, de manera que la zona soldada presente la misma continuidad del resto del riel (Fig. 26)



Fig. 26.- Soldadura aluminotérmica, esmerilada, en riel de 112 lb/yd

La soldadura eléctrica, tiene un costo con respecto a la soldadura aluminotérmica ligeramente inferior, aunque tenga que

hacerse una instalación más en forma y el equipo empleado sea ligeramente más costoso. Su calidad resulta mejor controlada que la aluminotérmica.

Los esfuerzos que por temperatura se originan en una vía soldada, son de muy diversos tipos, dependiendo de las variaciones de temperatura en la región y del grado de curvatura principalmente ya que son la compresión debida a la dilatación y la excentricidad de ésta misma fuerza en las curvas las que mayor influencia tienen, sin decir con esto que sean las únicas que existen.

Cuando una vía es continua, se originan estos fenómenos, los que contrario a lo que se pensaba también se pueden presentar en las vías emplanchueladas.

Si una vía con planchuela es armada con riel de 12 metros, a una temperatura tal que la separación dejada al apretar la planchuela sea menor que la que en un momento dado puede aumentar el riel, entonces las dos cabezas de los rieles se juntan, se comprimen entre sí y el trabajo que desarrollan es el mismo que el de una vía soldada en toda su longitud.

Si analizamos ahora las juntas emplanchueladas de riel pesado, en donde las planchuelas son de gran masa y en donde el tráfico nos obliga a apretarlas fuertemente para garantizar la seguridad de los trenes, impidiendo inclusive la libre dilatación del riel, en este caso también se trata de una vía continua en donde los esfuerzos en ella

son similares a los esfuerzos producidos en una vía soldada en toda su longitud.

Resumiendo, se llama vía continua aquella en la que la separación de la junta emplanchuelada es menor que la mayor dilatación del riel y a aquella en la que la presión de las planchuelas evita la libre dilatación. Aquella que tiene varios de sus tramos soldados provoca que sus juntas caigan dentro del primer caso y por lo tanto es vía continua.

b).- Accesorios de fijación (riel con durmiente). La fijación entre el riel y el durmiente es uno de los capítulos principales en el diseño de una vía, ya que es éste quien proporciona básicamente las características rígidas o elásticas que darán a la vía su vida útil.

La fijación puede ser de tres tipos: utilizando clavo de acero sobre durmiente de madera, fijación rígida o fijación elástica.

Vía clavada, el clavo, que se usó en América y que fue el que se usó justificadamente en los principios de la vía y durante muchos años, tiende a su desaparición por ser un elemento más que útil, perjudicial al durmiente donde se coloca. En forma de alcayata servía para sujetar al riel en su patín e impedirle el movimiento lateral, conservando así el escantillón.

Las experiencias nos enseñan que a la vía clavada tenía que dársele una conservación frecuente y rigurosa, ya que las vibraciones

del riel al paso de los trenes, ocasionaban que se aflojara en un periodo relativamente corto, perdiendo así la fricción que lo mantendría relativamente fijo al durmiente y ocasionando por tanto, que el reclavado fuera una operación que tendría que volverse a hacer en un lapso de tiempo aún menor, quedando siempre la vía con un margen de inseguridad bastante amplio.

En ocasiones y cuando el tránsito, la curvatura, o la poca dureza del durmiente lo amerita, se coloca bajo el riel una placa metálica de asiento que es sujeta igualmente al durmiente por este clavo, además de lo inseguro de su sujeción, deteriora notablemente la madera del durmiente, ya que este clavo tiene que ser movido periódicamente cuando el durmiente ya no es capaz de detener dentro de sí al citado clavo, reduciendo notablemente su vida útil y con el consiguiente aumento en el costo del mantenimiento de la vía.

Como ejemplo ilustrativo de la inseguridad del clavo es el hecho de que los descarrilamientos más frecuentes ocurren por “Volteamiento” del riel debido a la baja fuerza de sujeción que en un momento dado presenta el clavo.

Como ejemplo de la reducción de la vida útil del durmiente, debido a la prematura liberación del clavo, se tiene que al revisar una vía clavada, nos encontramos durmientes con un número exagerado de agujeros sin mostrar éste, estar en periodo avanzado de putrefacción (Fig. 27).

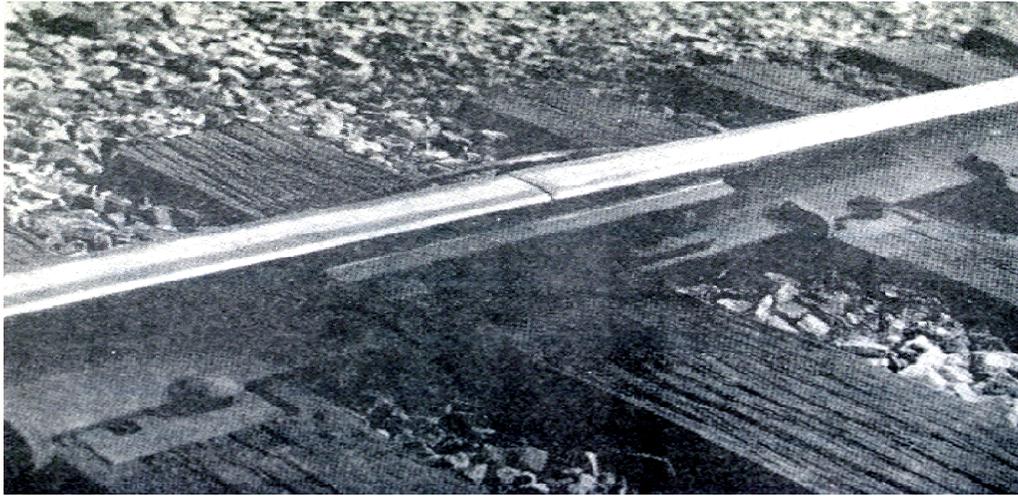


Fig. 27.- Vía tradicional, con placa de asiento, clavada en durmiente de madera

Fijación rígida, la primera concepción para asegurar y rigidizar la fijación riel-durmiente, nació con la sustitución del clavo por un tirafondo que diera una mayor fijación al riel, y que ofreciera una mayor resistencia a ser extraído y aflojado por las vibraciones producidas por el equipo rodante, a la vez que destruyera en menor escala al durmiente en que se apoya. En experiencias de laboratorio, se encontró que para extraer un tirafondo, se necesitaba una fuerza seis veces mayor a la que se requería para la extracción de un clavo.

La fijación rígida hace que el riel quede fijo e inmediatamente ligado al durmiente, haciendo de estos un conjunto estable que garantiza el escantillón y la estabilidad de la vía. Es más completa que el solo tirafondo, consta básicamente de una placa metálica (placa de asiento) ligada fuertemente por tornillos o tirafondos al durmiente. Una segunda placa metálica normalmente en forma de caballete (grapa) que sujeta el patín del riel y que está a su vez fuertemente ligada por otros tornillos a la placa de asiento.

Esta otra fijación tiene como principales variantes, el sistema que utiliza el tornillo que liga al caballete (grapa) y la placa de asiento como fijador directo de la misma placa de asiento al durmiente y otra variante es, la que el caballete (grapa) de gran resistencia, es fijado por los tornillos directamente al durmiente sin necesidad de placa de asiento. Además de estos, hay muy diversas formas que se han experimentado en diferentes líneas Europeas.

El patín del riel tiene un ancho comprendido entre 12 y 17 cm, las placas de acero (placa de asiento) duplican el área de contacto con anchos entre 25 y 35 cm, pero los bordes de las placas, también cortan la madera con lo cual resulta frustrado el objetivo original de utilizar la placa de asiento, que pretendía abatir la fatiga sobre el durmiente, a la mitad de la compresión directa causada por el patín del riel (Fig. 28).

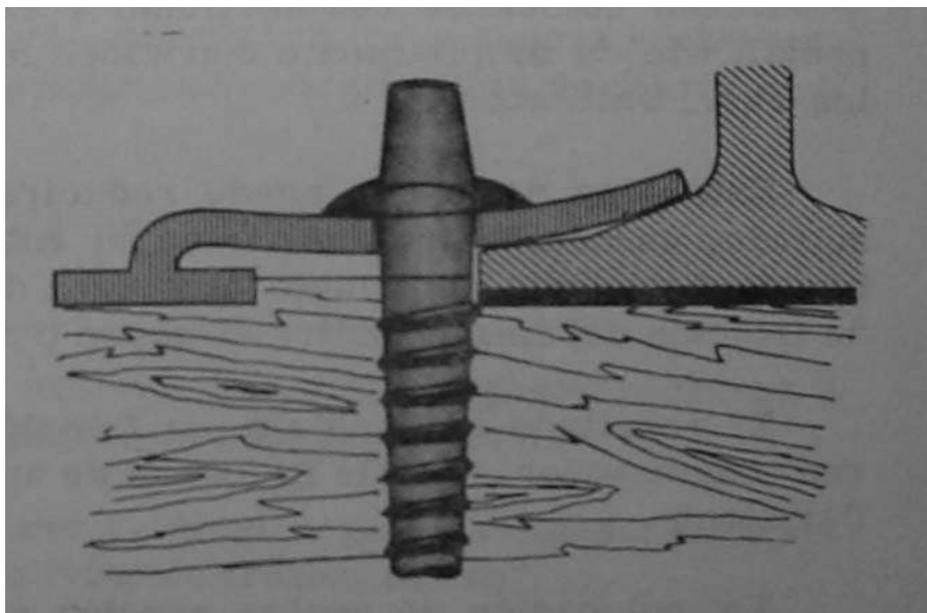


Fig. 28.- Vía tradicional, tirafondo fijando la grapa al durmiente de madera

La dañina magnitud de los periodos de oscilación de las vibraciones que el tren transmite a su paso a la vía, nos hacen pensar en el deseo de eliminar estos, para dar una vida útil mayor a los materiales que la sufren.

Una idea del orden de esta magnitud de vibraciones tan dañinas, nos la da los experimentos hechos en Francia, en los que los aparatos medidores acusan para velocidades de trenes de 80 km/hr, periodos de oscilación de 700 a 800 ciclos por segundo y aceleraciones del orden de 100 g. Esto nos hace pensar que un material que recibe cargas que cambian de signo setecientas veces en un segundo, es un material que está expuesto a un deterioro por fatiga prematura en comparación del mismo material sujeto a unos esfuerzos inferiores.

Esta idea nos lleva a buscar una fijación que elimine, o en lo posible amortigüe al máximo, éste fenómeno tan perjudicial.

Cuando la fijación rígida es aplicada en durmientes de madera, éste es capaz por sus características moleculares de absorber en parte las vibraciones que recibe. Esta fijación tiene por último, el inconveniente de necesitar un promedio aproximado de materiales por durmiente, del orden de treinta kilogramos, lo que encarece notablemente el costo por kilómetro de vía. Puede marcarse a favor de esta fijación el alto grado de seguridad que imparte a la vía por la forma tan sólida de sujetar riel-durmiente (Fig. 29).



Fig. 29.- Vía tradicional, con placa de asiento, tirafondo y durmiente de madera

La fijación elástica, fue la conclusión básica a la que llegaron los Ingenieros de la SNCF (ferrocarriles franceses), en sus estudios con miras a eliminar el prematuro deterioro de los materiales por fatiga y en su deseo de abatir el capítulo importantísimo de los costos de conservación, disminuyendo la frecuencia y magnitud de los trabajos que para ésta se necesitan, sin menoscabo de la seguridad y aumentando la eficiencia.

Como citamos antes, se había encontrado que el principal enemigo de la vía eran sus vibraciones, las que en todos los capítulos ocasionaban desperfectos. Fue pues meta de los ferrocarriles franceses, encontrar la clave de una sujeción que fuera capaz de combatir eficiente y económicamente con este enemigo.

Así, y tras de muchos años de experiencia, se logro diseñar un sistema que ligara al riel y al durmiente en forma altamente elástica, con seguridad considerable y a un costo relativamente bajo, naciendo

así lo que hoy conocemos con el nombre de fijación elástica y que da el nombre al tan mencionado sistema moderno de vía, que se ha empleado en México en el ferrocarril de San Carlos a Ciudad Acuña, en el de Chihuahua al Pacífico, Corondiro a Lázaro Cárdenas, México a Querétaro, el nuevo Mexicano, etc.

Esta fijación consiste en lo siguiente: Para durmiente de concreto, se emplea a cada lado del alma del riel una grapa de acero al cromo manganeso de muy altas propiedades elásticas y que sujetan al riel por el patín. Esta grapa es sujeta al durmiente por medio de un perno con tuerca que le regula la presión. El perno que tiene cabeza en forma de "T", queda fijo dentro de una muesca en el travesaño del durmiente de concreto, esta combinación metálica es completada con una placa de hule acanalada que se coloca entre el riel y el durmiente en toda la sección de apoyo (Fig. 30).

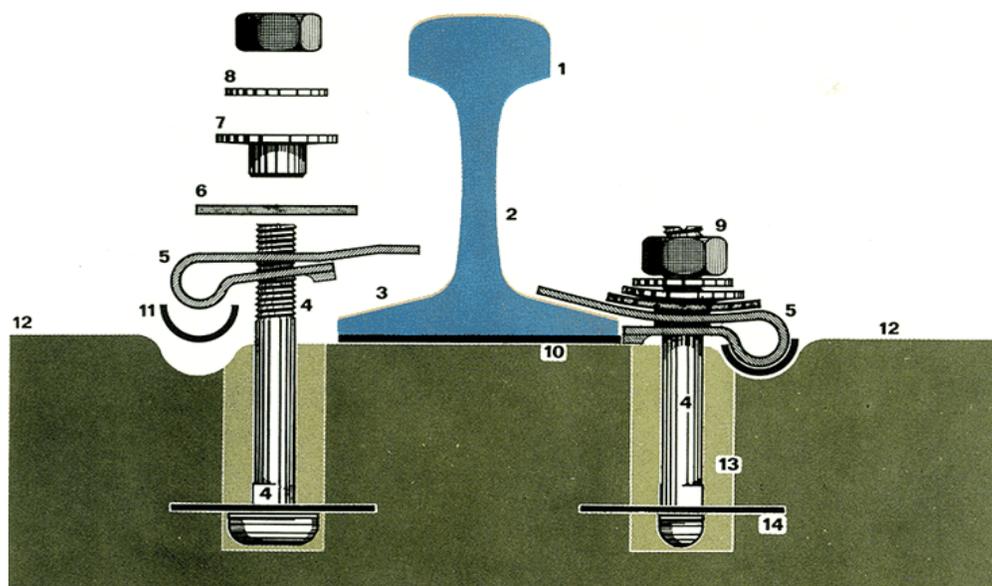


Fig. 30.- Elementos de fijación: 1.- Hongo, 2.- Alma, 3.- Patín, 4.- Perno de anclaje, 5.- Grapa de resorte, 6.- Placa de acero, 7.- Casquillo aislante, 8.- Arandela de acero, 9.- Tuerca, 10.- Placa de asiento, 11.- Cojinete amortiguador, 12.- Durmiente, 13.- Chimenea y 14.- Refuerzo del durmiente de concreto

Para durmiente de madera, se emplea en vez de la grapa del durmiente de concreto, una grapilla de las mismas cualidades elásticas y la que apoya en el durmiente, por medio de una pequeña placa ranurada que le impide la penetración en la madera. En vez del perno, se utiliza un tirafondo que tiene una longitud variable según la dureza de la madera y que es quien sujeta y da presión a la grapilla. En este caso se utiliza igualmente la placa de hule acanalada entre el patín del riel y el durmiente (Fig. 31).



Fig. 31.- Elementos de fijación, placa de hule acanalada, grapilla y tirafondo

En los casos de curvatura mayor en donde la vía se esfuerza notablemente, se emplean seis grapillas con tirafondo por durmiente, colocadas alternadamente, en vez de las cuatro por durmiente que se emplearían en zonas de tangente y baja curvatura. Donde la curvatura es máxima, las grapillas se colocan dos por cada riel en la parte interna de la curva y una en la parte externa de la misma, con el objeto de proteger al riel contra el volteamiento, ya que el corrimiento lateral está impedido por el borde de la placa metálica de asiento que en

estos casos se coloca para mayor estabilidad y seguridad de la vía, sin prescindir por esto, de la placa de hule.

Analizando esta sujeción, notamos que las vibraciones del riel son transmitidas a los materiales que están en contacto con él, tales como la grapa al cromo manganeso altamente elástica, quién amortigua alto grado de vibraciones en cualquiera de sus dos puntos de apoyo; y la placa de hule que reduce también notablemente las vibraciones que serían transmitidas al durmiente. La grapa con su muelleo trasmite al perno muy bajo grado de vibraciones, lográndose con esto, que la fijación prácticamente sea inaflojable. El durmiente por tanto, tiene una vida útil sujeta casi exclusivamente al deterioro del material por las razones obvias de la naturaleza.

El sistema de fijación de vía elástica introduce la grapa “Pandrol” tipo “e” que genera fuerzas de apriete más elevadas con bastante menos material, con la consecuente mayor economía sin sacrificio de calidad. El diseño único de la grapa “Pandrol” proporciona los cuatro requerimientos esenciales de un sujetador de vía:

Primero, hay una gran fuerza vertical de agarre para resistir al vuelco del riel, provista por una combinación de torsión y flexión con acción flexible suficiente para compensar las tolerancias de producción y desgaste de elementos.

Segundo, el diseño del montaje de sujeción de la grapa, y en especial los apoyos laterales robustos, asegura la precisión del calibre y posición exacta del riel.

Tercero, las grapas se meten por par en sentido opuesto a cada lado del riel, suministrando fuerzas intensas de fricción para resistir deslizamiento longitudinal del riel en ambas direcciones. Además, las fuerzas deslizantes no pueden desalojar las grapas ya que la fricción sobre la grapa en su alojamiento es mucho mayor que aquella en la base del riel.

Cuarto, El diseño permite movimiento controlado y progresivo del riel en sentido vertical a medida que se aproxima una rueda bajo carga aplicando una fuerza de sujeción sobre el patín del riel a través del “dedo”, la grapa actúa elásticamente absorbiendo gran parte del movimiento dinámico del riel, sin perder su agarre (Fig. 32).



Fig. 32.- Elemento de fijación, grapa elástica Pandrol tipo “e”

El sistema “Pandrol” por ser elástico, amortigua las fuerzas dinámicas que castigan la vía, alargando la vida útil de los durmientes de madera, dado que la grapa puede ser instalada y retirada con sencillez y rapidez, los cambios de rieles se realizan sin demora. Este sistema de grapa tiene aplicación universal, apta para durmientes de madera dura o blanda, durmientes de concreto monoblock o de concreto biblock y durmientes de acero (Fig. 33).



Fig. 33.- Grapa elástica Pandrol, en durmiente de concreto

El reducido número de vibraciones que recibe el durmiente, son transmitidas al balasto sin perjuicio notable en el nivel de la vía, dando con esto una arma más a los sistemas elásticos de vía, al reducir notablemente los costos de conservación de la vía misma, reduciendo los trabajos y aumentando la vida útil de los materiales.

Ventaja también de las amortiguaciones elásticas de la vía, es el hecho de que facilita al tránsito, un rodado más uniforme deteriorando el equipo rodante en menor magnitud que una vía que produzca un rodamiento forzado.

La fijación doblemente elástica elimina las causas principales del desgaste del material, especialmente la madera debajo del riel, lo cual permite en la mayoría de los casos eliminar las pesadas placas de asiento, que encarecen el costo por kilómetro de vía.

La elasticidad suplementaria obtenida, presenta ventajas desde el punto de vista de estabilidad, comodidad y del “silencio” de la vía.

Este desgaste y su incrustación se pueden comparar con el siguiente caso, en los que el durmiente de roble colocado hace catorce años en una línea francesa, París-Lille de gran tránsito y con fijación doblemente elástica, acuso diez años después un desgaste de 0.6 milímetros, mientras que para las fijaciones clásicas en el tramo contiguo de la misma línea, se observaron desgastes promedio de 4 milímetros.

Como otro punto de comparación entre los sistemas de sujeción modernos, me permito citar el siguiente informe de la SNCF (ferrocarriles franceses): de los ensayos hechos en la máquina vibradora denominada Vibrogir, en la que se sometieron a prueba una unión de seis tirafondos sin grapa elástica y una unión con placa y grapa elástica. Se considera que una vía debe permitir un máximo de juego entre riel y durmiente, para estar dentro de la seguridad y dentro del buen estado de conservación, de un milímetro. Así, se colocó la primera fijación de seis tirafondos sin placa, la que se aflojo el juego admisible del milímetro al cabo de las 195 horas de vibrar; se apretó la fijación y se volvió a echar a andar el vibrador; la siguiente apretada se hizo a las 255 horas; la tercera a las 330 horas y por fin, se rompió a las 350 horas. Esto representa aproximadamente un tráfico intenso de diez o doce años; para el tránsito de nuestro país posiblemente represente un periodo aproximado de unos 30 años o más.

Posteriormente en la máquina se colocó una fijación del mismo tipo de durmiente con grapa elástica y placa de asiento. Al cabo de 493 horas se aflojó por primera vez el milímetro, se apretaron y 307 horas después o sea al llegar a las 800 horas, la fijación se había aflojado 0.18 de milímetro, suspendiéndose la prueba por considerarse que este periodo equivalía a un tiempo superior al de la vida útil máxima que podría presentar un durmiente creosotado. Esto concluye que, una vía con fijación elástica, hay que reapretarla varias veces menos que una vía con tirafondo; además según datos de la misma sociedad, hay que apretar del orden de 25 veces menos lo que se tendría que hacer para reclavar la vía convencional.

Otro fenómeno que podemos comparar es el fenómeno que ocurre cuando el durmiente y el balasto se aflojan entre sí, produciendo lo que los Ingenieros americanos denominan “durmientes que bombean”.

Debido a que el tirafondo sujeta al riel firmemente al durmiente, ambos oscilan produciendo en el lecho del balasto el “bombeo”, especialmente en vías con balasto lodoso y mal conservado. Este fenómeno no ocurre en la vía clavada, porque en este caso el durmiente queda descansando en el balasto, mientras el riel mal fijado, queda en el aire como viga-puente y es éste quien bombea al cargarse.

De las pruebas de Saint Ouen, en Francia, se encontró que para que este “bombeo” fuera del orden de un centímetro, se necesitaron

18 horas en la fijación rígida de 6 tirafondos, mientras que para la fijación elástica se necesitaron 80 horas; esto se traduce y comprueba el hecho de que una vía rígida necesita mayor conservación que una vía elástica y que según las pruebas antes mencionadas, ésta conservación es del orden de cuatro y media veces mayor para la primera.

Otras formas de fijaciones elásticas y económicas se están estudiando en diferentes países europeos, entre las que se mencionan brevemente las siguientes: un clavo doble en forma de horquilla tipo Nacbeth, que remata en la fijación del patín con espirales tipo resorte que tenderían a amortiguar las vibraciones. Ésta no deja de tener el inconveniente de la destrucción de la madera, su reducida aplicación en la innovación de la vía moderna del durmiente de concreto y que debido a ser liso, tiene reducida fricción y que una vez suelto hay que desplazar el durmiente para volver a clavar.

Otros tipos son diversas variantes de las grapas elásticas y de la placa de asiento de hule, habiéndose llegado inclusive a probar placas de madera, tales como triplay.

Las juntas rígidas comunes, se estudian con un grado de elasticidad, sin perder su seguridad, a base de poner rondanas de presión amortiguadoras en los tornillos y materiales elásticos en los puntos de contacto entre materiales rígidos.

III MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN



EQUIPO MODERNO PARA VÍA

III.- MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

Los procedimientos generales de construcción tienen por objeto, el estudio de las reglas técnicas y métodos de trabajo que condicionan la ejecución de la obra. Según el propietario que los manda ejecutar, estos trabajos pueden ser de interés público (Estado, entidades federativas, ayuntamientos, compañías de ferrocarriles, etc.) o de interés privado (sociedades privadas, individuos particulares, etc.) y la mayor parte de estas obras se ejecutan a través de contratistas, por lo general se convoca a concurso entre los especialistas en la materia, con el fin de elegir el contratista que ejecutará la obra en las mejores condiciones y es a éste a quien le corresponde buscar y adquirir los materiales, elegir la maquinaria adecuada destinada a colocarlos en obra, emplear y remunerar a la mano de obra, así como también realizar la construcción de acuerdo con las prescripciones del proyecto y dentro del precio pactado, razón por la que el método de construcción seleccionado es de suma importancia.

El problema del transporte en las obras es especialmente importante por su influencia en la organización general y principalmente por los costos de los acarreos de materiales que se utilizarán. Lo anterior es susceptible de soluciones diversas, que dependerán de las condiciones particulares de cada obra, como pueden ser la disposición general de dicha obra, la naturaleza de los accesos, la pendiente (en tren hasta 3%, en vehículo hasta 12%) y las distancias a recorrer, así como también el tonelaje a transportar. El

esfuerzo necesario para mover un vehículo es menor sobre una carretera que sobre terreno natural, y aún menor sobre una vía férrea, así, un hombre empuja sobre un terreno natural consistente una carretilla de aproximadamente 100 kg y sobre una vía férrea una vagoneta de hasta 1000 kg.

El empleo de vías férreas permite aumentar la capacidad de las máquinas de transporte disminuyendo la fuerza motriz necesaria y aumentando su velocidad, consecuentemente se obtiene una disminución en los costos de los acarreos, razón por la que se debe utilizar en lo posible el tren para el aprovisionamiento de materiales de la vía en construcción.

Los métodos que se utilizan en la construcción de las vías férreas son los siguientes: **Método tipo Americano** o bien los **Sistemas Europeos**.

Método tipo americano:

1.- Tradicional (con escasa mecanización), este método se ha utilizado en el tendido de vía convencional y consiste en formar un tren de trabajo, es decir, un tren dedicado a las operaciones del armado de la vía. La composición de este tren es de una locomotora y tres plataformas donde van los materiales, en la primer plataforma de atrás hacia adelante van los rieles, luego en la segunda plataforma los durmientes y después los accesorios de vía (sujeción y fijación). Los rieles se distribuyen alternados, de tal manera que el extremo de un riel no coincida con el extremo del riel del otro lado, sino que debe quedar en el centro. Lo primero que se hace es descargar los rieles

(39'), empleando las llamadas barras de línea (Fig. 1). Éstos son acordonados en la orilla de las terracerías para permitir la distribución de los durmientes.



Fig. 1.- Barra que es utilizada para voltear rieles manualmente

Posteriormente se descargan los durmientes, colocándolos en el lugar que les corresponde, inmediatamente unos obreros utilizando tenazas (Fig. 2). Transportan los rieles a su posición y los colocan sobre los durmientes, donde ya otros operarios han acarreado los accesorios necesarios para armar el tramo de vía correspondiente.



Fig. 2.- Tenazas de riel, utilizadas para transportarlo en forma manual

Una vez alineada y colocada la vía con el escantillón (1.435 m) especificado, se le da la indicación al maquinista que avance medio riel y se continúa el tendido, prosiguiendo con la distribución de los materiales, usando vía sin balasto (vaciada), tan sólo por el avance de un día de labor (un kilómetro aproximadamente), lo cual demanda que el último viaje del tren de trabajo, se le destine a distribuir balasto sobre la vía ya armada a paso de tren, utilizando las góndolas (tolvas) balasteras con descarga en el fondo, controlando la abertura de las puertas por medio de cables (Fig. 3). Enrasando los rieles por medio de un durmiente de madera o rastra pegado a las ruedas del truck posterior de la tolva con respecto al movimiento del tren (a manera de hoja de bulldozer) y descargando un volumen aproximado de 500 m³ por km, que corresponde a un 40% de la dotación final.



Fig. 3.- Descarga de balasto a paso de tren, con góndolas balasteras

Posterior a esta descarga, se le aplica un primer levante a la vía por medio de gatos mecánicos colocados por pares y por el lado exterior del riel de tal manera que el balasto se introduzca debajo de los durmientes, utilizando calzadores de mano o bien calzadores mecánicos (Fig. 4).



Fig. 4.- Gato de cremallera

A continuación se realiza un segundo tiro de balasto ejecutando una nivelación por medio de gatos y nivéleta (Fig. 5). Ajustando al final con un tercer tiro de balasto mediante el procedimiento de calzado generalmente mecánico (Fig. 6).

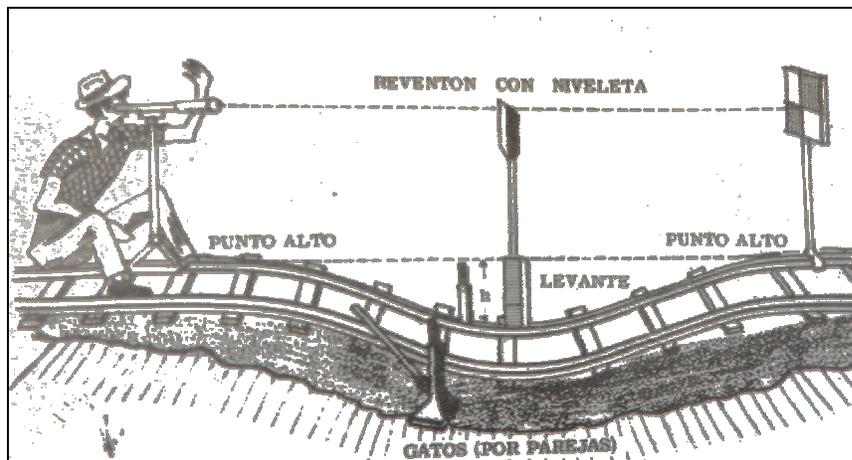


Fig. 5.- Reventón realizado desde dos puntos altos en un tramo de vía



Fig. 6.- Multicalzadora y reguladora de balasto, afinando y nivelando vía

El balasto precisa ser compactado con presión y bien vibrado a máquina, para obtener calidad uniforme y máxima compactación, cuando este trabajo es realizado con calzadores en forma manual debe ser bajo estricta vigilancia y el afine se debe ejecutar después de iniciada la operación de trenes con velocidades moderadas hasta compactar y alisar la vía, pues el movimiento de los carros o coches en una forma exagerada (cabeceo) depende de cómo se encuentre la vía, si ésta se encuentra perfectamente alineada y nivelada, la circulación de los trenes será suave (confortable) y por lo tanto segura.

Las características de una vía férrea tradicional en nuestro país, independientemente del procedimiento constructivo utilizado, son las establecidas en la nueva versión de las normas editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes llamadas “**Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte**” las que establecen que:

Las terracerías deben tener un ancho de corona en terraplén para vía sencilla de 6.20 m y para vía doble de 11.70 m, una cama en corte para vía sencilla de 8.00 m y para vía doble de 13.50 m, en el caso de los cortes el incremento es para alojar las cunetas laterales, que drenarán las aguas pluviales, además deben incluir una capa de sub-balasto de 30 cm de espesor y el balasto mínimo de 20 cm (recomendable 30 cm).

Los materiales necesarios para el armado y tendido de un km de vía tradicional (clásica), que de acuerdo a la nueva versión de las Normas SCT corresponde a la clasificación tipo 5, son los siguientes:

VÍA PRINCIPAL

LONGITUD DE VÍA: 1000 ML

MATERIALES	CLASE	UNIDAD	CANTIDAD
DURMIENTE DE MADERA DE PINO DE 7" x 8" x 8' (24 por riel)	PRIMERA	PZA	2,028.00
CLAVO DE VÍA DE 5/8" x 6" (4 por durmiente)	PRIMERA	PZA	8,112.00
PLACA DE ASIENTO DOBLE HOMBRO (2 por durmiente)	PRIMERA	PZA	4,056.00
PLANCHUELA PARA RIEL DE 100 LBS/YDA, DE 4 BARRENOS	PRIMERA	PARES	169.00
TORNILLO PARA PLANCHUELA DE 100 LBS/YDA	PRIMERA	PZA	676.00
RIEL DE 100 LBS/YDA DE 39' (11.90 m)	PRIMERA	PZA	169.00

No se debe perder de vista que antes del inicio de los trabajos de armado y tendido de vía es necesario preparar un patio amplio de almacenamiento de materiales, pues estos son bastante pesados y voluminosos, éste debe estar lo más cerca posible a la obra en construcción y con acceso a alguna vía ya existente (Fig. 7). En el método tradicional o también llamado sistema de armado en el campo

y que consiste en distribuir por separado los durmientes, el riel y los accesorios, para posteriormente armar la vía en el campo, tiene el inconveniente de utilizar demasiada mano de obra debido a la escasa mecanización.



Fig. 7.- Almacén de materiales, placas de asiento, planchuelas, durmientes de madera, etc.

Para resistir la competencia de los demás transportes nacidos después del ferrocarril éste ha tenido que hacer grandes esfuerzos para mejorar su servicio, dando lugar al aumento de peso y velocidad de los trenes a fin de soportar dichos aumentos, se vio en la imperiosa necesidad de reforzar la vía, elevando el peso del riel, reforzando la sujeción (juntas) haciéndolas más rígidas con objeto de que pudieran absorber mejor el impacto y evitar la flexión del riel. Así mismo se perfecciono la fijación (riel con durmiente), cambiando el clavo por el tirafondo, se diseño una placa metálica de fijación indirecta para evitar el efecto abrasivo que se produce en el durmiente de madera por los movimientos vibratorios al paso del equipo rodante. No obstante la

rigidez que se le dio a la vía, los resultados no fueron satisfactorios ya que estas modalidades no absorben eficazmente los efectos dinámicos producidos por los convoyes.

En resumen, tanto los fenómenos vibratorios producidos, como el problema de las juntas, que son los puntos débiles de la vía, han sido los que presentan las mayores dificultades, siendo las verdaderas causas de los desperfectos y prematura caducidad de la vía.

Es así como después de que un grupo de Ingenieros del Servicio Técnico de las Instalaciones Fijas de la SNCF (Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses), realizaron los estudios correspondientes para analizar: los fenómenos vibratorios de la vía y la forma de amortiguarlos, las condiciones de estabilidad y seguridad de la vía compuesta de rieles soldados de gran longitud (L.R.S.) y el estudio correspondiente a la utilización de los durmientes de concreto. Llegando a la conclusión llamada vía elástica y posteriormente a la vía doblemente elástica.

Por lo anteriormente expuesto, la modernización de la vía consiste en el empleo de la fijación doblemente elástica de flexibilidad variable, complemento indispensable de la vía continua (soldada), los rieles de gran longitud descansan sobre los durmientes por medio de placas de hule acanaladas, sujetándose con grapas elásticas, proporcionándole un anclaje absoluto a los corrimientos longitudinales, a la vez que elasticidad a los movimientos vibratorios. Este efecto amortiguador es tal, que podemos emplear sin ninguna dificultad el

durmiente de concreto o el durmiente de madera, obteniendo la elasticidad suficiente en las vías que se traduce en economía de conservación y operación, además de comodidad, estabilidad y silencio de la vía en cualquier tipo de durmiente.

2.- Método de construcción de una vía moderna (vía doblemente elástica) puede ser como el descrito para el armado y tendido de una vía clásica (tradicional), que desde luego no es recomendable, debido al aumento constante en el costo de la mano de obra y a la calidad elevada de la vía moderna, es preferible utilizar un sistema mecanizado en el que la maquinaria necesaria dependerá del tipo de vía seleccionada, de acuerdo al estudio técnico y económico, tomando en cuenta la nueva versión de las normas editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes llamadas “**Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte**” en donde se clasifican las vías férreas conforme al volumen de carga que transita por ellas o por el volumen estimado (Fig. 8). Las características geométricas y las condiciones físicas de la vía por construir, varían de acuerdo a su clasificación y tipo de terreno por el que circulan o circularan, esto es: La pendiente, el grado de curvatura, ancho de corona, ancho de cama, espesor del sub-balasto, espesor del balasto, tipo de vía, tipo de durmiente que se debe utilizar, calibre del riel, sujeción (riel con riel) y capacidad de carga (Fig. 9). En estas normas se describen los diagramas de gálibos tanto para vías sin electrificar como para vías electrificadas, adecuándose a las dimensiones de los trenes de doble estiba y carros de tres niveles para transporte de automóviles, que circulan actualmente por nuestro país.

T A B L A No. 1
CLASIFICACION DE LAS VIAS FERREAS

CLASIFICACION DE LAS VIAS	TONELAJE BRUTO ANUAL	VELOCIDAD MAXIMA DE €DE TRENES DE CARGA			VELOCIDAD MAXIMA DE €DE TRENES DE PASAJEROS		
		TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	TERRENO MONTAÑOSO Y LOMERIO FUERTE	TERRENO MONTAÑOSO MUY ESCARPADO	TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	TERRENO MONTAÑOSO Y LOMERIO FUERTE	TERRENO MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
1	22.5 O MAYOR	80 O MAYOR	80 O MAYOR	70 O MAYOR	110 O MAYOR	100 O MAYOR	80 O MAYOR
2	16.5 A 22.4	80	70	65	110	100	80
3	8.8 A 16.4	65	60	55	75	70	60
4	4.9 A 8.7	55	50	45	60	55	50
5	1.9 A 4.8	45	40	35	50	45	40
6	MENOR A 1.8	35	30	20	40	35	25

Fig. 8.- Clasificación de acuerdo a la nueva versión de las normas de SCT

NOTAS:

TONELAJE BRUTO ANUAL EN MILLONES DE TONELADAS

VELOCIDADES EN Km/Hr

T A B L A No. 2
CONDICIONES FISICAS DE LA VIAS

TABLA EN EXCEL
ARCHIVO ANEXO

Fig. 9.- Condiciones físicas, de acuerdo a la clasificación de la nueva versión de las normas SCT

Actualmente la operación, explotación, mantenimiento y rehabilitación del Sistema Ferroviario Mexicano, está a cargo de las seis empresas ferroviarias concesionarias, que son: TFM, Ferromex, Ferrosur, Ferrovalle, la Compañía de Ferrocarriles Chiapas-Mayab y la línea corta Coahuila-Durango, además de las asignatarias, Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec, que es de participación 100% estatal y la línea corta Tijuana-Tecate, que se encuentra a cargo del Estado de Baja California. El Gobierno Federal en todo momento, conserva el dominio sobre la Infraestructura, que al término del plazo pactado en las concesiones o asignaciones, deberá ser revertida al Estado en condiciones adecuadas para su operación.

Cuando las empresas ferroviarias iniciaron la operación de sus respectivas concesiones se dieron a la tarea de implementar programas tendientes a modernizar el sistema, sustituyendo durmientes de madera por durmientes de concreto sobre las principales rutas, ampliando los gálibos de los túneles y puentes para permitir el paso de doble estiba, cambiando el calibre de los rieles de 80, 90 y 100 lb/yd para instalar riel de 115 lb/yd, adoptando sistemas de control de tráfico más avanzados, modernizando los talleres, ampliando la capacidad de los cruces fronterizos ferroviarios, así como de los patios y laderos existentes, reforzando los puentes, además de la instalación y uso de los sistemas operativos y de comunicación más eficientes, los cuales incorporan tecnologías modernas, ofreciendo mayor seguridad, así como información en línea a los clientes del servicio. Esto, aunado a la compra de nuevo equipo tractivo y de arrastre con la tecnología más avanzada, existente en el mercado.

El avance importante alcanzado a la fecha en la ejecución de los programas implementados, ha permitido que poco a poco los usuarios recobren la confianza en los servicios ferroviarios, recuperando así parte del espacio perdido en el transporte terrestre de carga. En 1995 el ferrocarril movió el 12.5% de las mercancías transportadas por vía terrestre, en el 2002 se registro un 16.4%, por lo tanto la recuperación fue del 3.9%, además debe tomarse en cuenta que aproximadamente el 50% de la carga total transportada es de comercio exterior, es decir se está logrando ser competitivos en los principales flujos de comercio nacional e internacional.

La Red Ferroviaria Nacional en sus líneas principales, no se ha incrementado en los últimos 25 años, desde que en 1979 se inició la operación de la nueva línea Coróndiro-Lázaro Cárdenas en el estado de Michoacán.

Es conveniente señalar que existen importantes proyectos, que son necesarios para incrementar la infraestructura ferroviaria y así seguir ganando terreno en el transporte terrestre, tanto nacional como internacional y estos pueden ser: Encarnación-El Castillo en Jalisco, Salinas-Laguna Seca en San Luís Potosí, Ensenada-Tecate en Baja California, Camarón-Colombia en Nuevo León y Medias Aguas-Coatzacoalcos en Veracruz, por mencionar algunos, además de los libramientos de varias ciudades, la reubicación de patios ferroviarios conflictivos.

El proyecto de las vías férreas debe realizarse de tal manera que, tanto su Infraestructura como su Superestructura, correspondan a soluciones de conjunto que incluyan todos los elementos constructivos correspondientes. Lo deseable es que la vía férrea sea construida con las características que corresponden a la clasificación tipo 1, ajustándose a lo especificado en la tabla No. 2, de las Normas SCT. En el caso de la Superestructura, se debe cumplir con las siguientes condiciones: El espaciamiento longitudinal de los durmientes es de acuerdo a su tipo, durmientes de concreto armado a cada 60 centímetros centro a centro; durmientes de madera a cada 50 centímetros centro a centro; en las tangentes y curvas menores de cuatro grados el escantillón es de 1,435 milímetros medido horizontal y normalmente al eje de la vía y a 5/8 de pulgada € la superficie de rodamiento; sobreelevación € en las tangentes el hongo de los dos rieles debe estar al mismo nivel y en las curvas se calcula con la fórmula $e = 0.01 V^2 G$, el valor máximo utilizado será de 150 milímetros, sobreelevación dada al riel exterior en toda la longitud de la curva circular.

La modernización también debe ser aplicada a los procedimientos de construcción utilizados, mecanizando tanto la colocación de los nuevos accesorios de vía, como el armado y tendido de la misma. Los sistemas modernos existentes básicamente los podemos dividir en dos:

A).- El de tramos premontados que consiste en armar la vía (riel, accesorios, durmiente), en longitudes apropiadas para su transportación al lugar de destino, ya que el armado se realiza en un

patio de trabajo (taller), generalmente con rieles de longitud estándar, el durmiente es de concreto y puede ser indistintamente, mixto o monolítico, se cargarán al equipo de transporte por medios mecanizados, ya sea utilizando pórticos hidráulicos (Fig. 10), o grúas con dispositivos especiales.



Fig. 10.- Pórtico hidráulico, para cargar tramos de vía ensamblada

La descarga en la obra se puede realizar también con pórticos que ruedan sobre el sub-balasto por medio de neumáticos o bien mediante una vía auxiliar formada con rieles de pequeño calibre que se va cambiando de lugar de acuerdo al avance obtenido (Fig. 11).



Fig. 11.- Pórticos hidráulicos, descargando un tramo de vía premontado

Otra variante es utilizar una trabe montada sobre una plataforma de ferrocarril, dicha trabe está formada por una armadura volada con dos viguetas carril y cuatro malacates eléctricos que son los que izan, deslizan y descargan en punta de vía el tramo premontado, debe incluirse una planta de energía eléctrica sobre la plataforma de ferrocarril que acciona los malacates y garantiza corriente eléctrica en cualquier lugar, incluso para realizar trabajos de noche (Fig. 12). Esta trabe es de manejo bastante sencillo ya que se puede hacer con un operario y dos ayudantes, el rendimiento que se logra es alto, el equipo necesario para fabricarla y realizar las adaptaciones es más económico. Por último, también es posible el uso de plataformas de ferrocarril de 45 toneladas de capacidad a las cuales se les coloca una vía para tren de lorrys, dotadas de puentes para su interconexión, una grúa automotriz que se desplaza sobre las plataformas toma los tramos de vía premontada y los descarga en punta de vía, girando 180° hasta agotar los seis tramos premontados de cada plataforma y

se prosigue con las siguientes hasta terminar un tendido de 500 o más metros de nueva vía (Fig. 13). Con este sistema se han logrado avances en un turno de 10 horas, de más de un kilómetro.

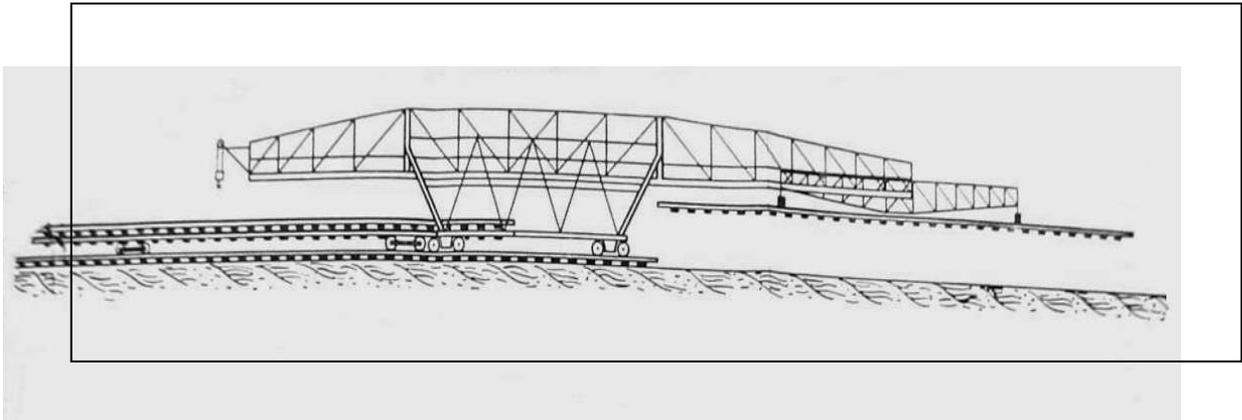


Fig. 12.- Plataforma-Trabe, formada por una armadura volada ambos lados, descargando vía premontado

En este sistema, se hace necesaria la colocación de planchuelas provisionales apretadas con prensas en lugar de tornillos, para unir los tramos premontados que se van descargando y sobre estos se pueda desplazar el equipo que transporta dichos tramos de vía.

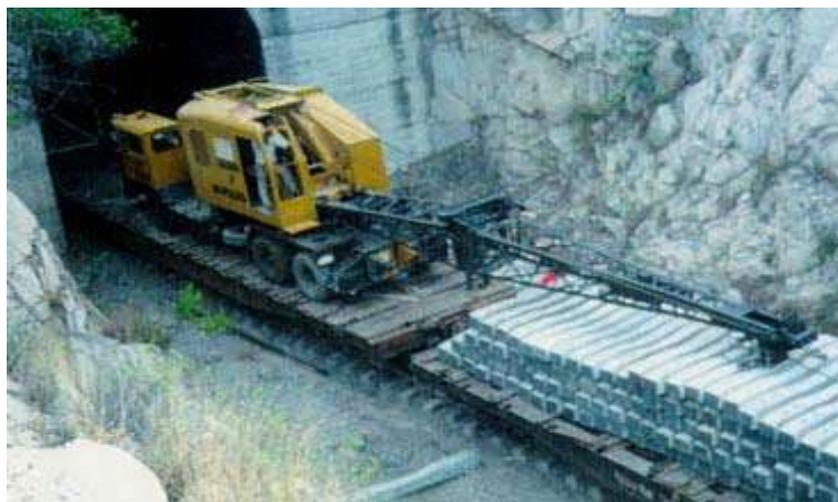


Fig. 13.- Grúa automotriz, sobre plataforma de ferrocarril con giro de 180°

Por el impacto económico que tiene el transporte de los materiales de vía en el costo de la obra, estos deberán ser acarreados en lo posible con plataformas de ferrocarril.

B).- Sistema moderno de armado de vía en campo (armado en punta de vía), este sistema de tendido de vía, tiene la ventaja de que se pueden utilizar los rieles soldados de gran longitud (L.R.S.), en planta con presión eléctrica en longitudes de 48 y hasta 144 metros, estos son transportados en plataformas de ferrocarril, descargándolos en la obra anclando sus extremos en el lugar de la descarga (punta de vía), avanza el tren bajando el riel con el auxilio de rodillos portátiles (Fig. 14), con el fin de evitar rozamientos que puedan maltratar dicho riel. Las plataformas disponen de una ranura metálica que sirve de guía en la descarga; o bien jalándolo con pórtico automotor provisto de neumáticos, usando rodillos para evitar la fricción.



Fig. 14.- Rodillo para auxiliar en la descarga de los rieles

Los durmientes de concreto pueden ser descargados por medio de unos pórticos mecanizados (Fig. 15), que ruedan sobre una vía auxiliar

formada por el riel previamente distribuido o con neumáticos sobre el sub-balasto.

Los pórticos consisten en una estructura de cuatro patas con un motor de traslación y malacates que izan y descienden una parrilla espaciadora con ganchos, la que toma los durmientes y los coloca sobre el sub-balasto a la distancia especificada (60 cm), o los más modernos que utilizan las preparaciones donde se insertan los elementos de fijación para izarlos.



Fig. 15.- Pórtico mecanizado, descargando durmierte de concreto

Posteriormente se retira el pórtico y el riel que le sirvió de vía auxiliar es colocado sobre el durmierte mecánicamente (Fig. 16), no sin antes distribuir los accesorios de fijación correspondientes.



Fig. 16.- Máquina Posicionadora, levanta y monta rieles ubicados a ambos lados

Una vez que los rieles son colocados en la posición correcta, la máquina es desplazada mediante sus rodillos giratorios permitiendo se lleve a cabo la fijación riel durmiente, también mecánicamente (Fig. 17), dependiendo del tipo de fijación a utilizar será el equipo de colocación.

En la actualidad, el sistema de fijación (riel durmiente) utilizado para una vía doblemente elástica es del tipo Pandrol con muy buenos resultados, ya que con menos material genera fuerzas de fijación más elevadas.



Fig. 17.- Máquina motorizada, instala simultáneamente cuatro grapas en un durmiente

Colocación del balasto: Independientemente del sistema de armado y tendido de vía (tramos premontados o armada en campo), la distribución del balasto debe realizarse a paso de tren con tolvas balasteras, en la actualidad la abertura de las puertas se controla por medio de volantes ubicados a cada lado de la tolva.

Alineamiento, nivelación y calzado: Una vez armada la vía sobre el sub-balasto y descargado el balasto en los volúmenes especificados (primera descarga), se procede a ejecutar un primer levante y un alineamiento provisional para que circulen los equipos de transporte de materiales con seguridad, utilizando la maquinaria adecuada (Fig. 18).



Fig. 18.- Multicalzadora Júnior Tamper, utilizada para realizar primer levante

Inmediatamente después se realiza un segundo tiro de balasto para que prácticamente se complete el volumen proyectado, una vez que el tandem de trabajo formado por una multicalzadora automática, electrónica (Fig. 19), que también es niveladora, alienadora y esta

equipada con aditamento de rayo láser, para gran precisión (Fig. 20) y una reguladora de balasto con aditamento para barredora concluyen el segundo levante. Si se requiere se hace un tercer tiro en pequeñas cantidades, para que dicho tandem de trabajo haga el afine final de la vía.



Fig. 19.- Multicalzadora Tamper Mark III



Fig. 20.- Equipo de rayo láser, para Mark III

La multicalzadora hace un levante programado a la vía, eliminando irregularidades de alineamiento tanto vertical como horizontal, dejando la vía en condiciones óptimas de operación.

La función de la máquina reguladora (Fig. 21), es integrar el balasto que con el calzado va quedando en las banquetas y regular el que está distribuido sobre la vía, dejando la sección reglamentaria protegiendo de esta manera los alineamientos tanto vertical como horizontal.



Fig. 21.- Reguladora de balasto, con aditamento para barredora

Ejecución de Soldadura de rieles: La fijación elástica va dirigida contra las vibraciones de alta frecuencia pero de débil amplitud y no contra los impactos de amplitud bastante considerable, como sucede en las juntas de los rieles (emplanchueladas), que producen una

sobrecarga en un tiempo mínimo, que no pueden ser absorbidos por la placa de hule, ya que sus desplazamientos o amortiguaciones no exceden de varias décimas de milímetro. Para evitar esta sobrecarga que es perjudicial a la vía, se experimento con tramos de gran longitud soldados, anclados en durmientes con fijación elástica, para evitar cualquier corrimiento longitudinal.

Existe una teoría al respecto: que dice que bajo la acción prolongada de esfuerzos térmicos y de flexión de las ruedas del ferrocarril, se modifica estructuralmente por termofluencia el metal, volviendo a su estado neutral sin cambiar de dimensión, digamos que es una especie de aclimatación.

De acuerdo a lo anterior, se pueden hacer rieles de gran longitud, sólo que, por cuestiones de facilidad de construcción y conservación se han limitado a longitudes de 800 metros, colocándose juntas especiales (juntas de dilatación) para unir estos rieles de gran longitud, como la de patente francesa construida de una aguja y contra-aguja en forma de "Z" alargada, deslizándose sobre cojinetes metálicos que pueden absorber perfectamente las dilataciones o contracciones que se suscitan en cada extremo de una vía soldada. Existe otro tipo de junta, de invención mexicana, mucho más sencilla y económica, que consiste en un corte diagonal en el hongo del riel y en el alma un corte normal en forma vertical, unidos los dos rieles mediante una planchuela Standard.

Como ya mencionamos, hay dos procedimientos de soldadura: el sistema de soldadura eléctrica y el sistema de soldadura aluminotérmica.

a).- Soldadura eléctrica: Este sistema se emplea básicamente con el objeto de reducir los trabajos de campo ya que se verifica en un taller expresamente establecido, además debe contarse con una planta para ese fin, en la que se puede tener un acertado control de calidad. Para un número considerable de juntas (soldaduras) es económica. La ejecución de la misma consiste en lo siguiente: Se introduce un tramo de riel en unos rodillos guía y posteriormente se introduce el otro tramo; se alinea de manera que queden presentadas las dos cabezas de los rieles que serán unidos. Por medio de prensa y guías estos rieles quedan perfectamente ajustados y alineados en las tres direcciones que se especifican y que son: en el sentido vertical y en el sentido horizontal, para el alineamiento de los ejes y en el sentido de los desplazamientos de giro. Así presentados se juntan a presión y a tope, y por medio de una resistencia eléctrica se produce la fusión quedando unidos (Fig. 22). Posteriormente una tajadera pasa fuertemente envolviendo al riel y desprendiendo la rebaba sobrante. Luego se desliza esta junta a una máquina pulidora esmeriladora donde se le da un acabado para lograr el enrase final de la junta, quedando ésta en condiciones de ser transitada. El siguiente paso es pasar a la sección de control donde por medio de rayos es controlada la calidad de la soldadura.



Fig. 22.- Planta Soldadora eléctrica de arco (fija)

Cuando la construcción y su procedimiento así lo amerita, se soldan a continuación de éste los tramos necesarios para lograr la gran longitud especificada en la vía por construir, normalmente los rieles son laminados a 39' y se soldan de tres en tres o de dos en dos para después ser colocados en la construcción, la limitación del largo muchas veces obedece a la facilidad de transportarlos. En algunos países europeos este sistema varía un poco, en vez de que el riel sea móvil y la máquina fija, el riel es colocado y alineado en camas previamente preparadas, mientras la máquina soldadora es movida sobre guía puentes.

b).- Procedimiento aluminotérmico. Este procedimiento se puede aplicar indistintamente en un taller o en el campo. Consiste en los siguientes pasos principales:

En las uniones de rieles soldados por el procedimiento aluminotérmico, se debe aplicar básicamente la reacción fuertemente exotérmica provocada por el encendido de una mezcla de aluminio (Al), finamente dividido y óxido de hierro (Fe_2O_3), la que aporta gran cantidad de calor, temperatura cercana a dos mil seiscientos grados

centígrados (2,600°C); el producto de fusión debe ser una aleación con características metalúrgicas y de resistencia que iguallen o superen en calidad las de los rieles en que se utiliza. El procedimiento metalúrgico de soldadura aluminotérmica que se seleccione para un trabajo determinado, debe ser un sistema completo con las variantes de materiales, equipo especializado y accesorios que permitan adaptarse por lo menos a los calibres y tipos de rieles siguientes, 44.66 kg/m (90 lb/yd), 49.63 kg/m (100 lb/yd), 55.70 kg/m (112 lb/yd), 57.045 kg/m (115 lb/yd), 67.49 kg/m (136 lb/yd).

Además debe cubrir las necesidades para soldar rieles normales de bajo contenido de carbono, rieles duros con alto contenido de carbono y rieles aleados como los que contienen cromovanadio y/o cromomolibdeno, correspondiendo aproximadamente a cada variante las durezas mínimas de doscientos veinte (220), doscientos ochenta (280) y trescientos veinte (320) Brinell, respectivamente. En cuanto al tipo de precalentamiento, cantidad de carga o porción aluminotérmica y demás aspectos, deben ser cubiertas las necesidades de proyecto o programa de obra a ejecutar, en tal forma que el sistema sea operante en todos los casos de obra nueva y de mantenimiento, de acuerdo con el tipo de rieles que intervengan, debiendo garantizar además cuando así se requiera, una buena preparación con ligero precalentamiento o con precalentamiento; en este último caso, la temperatura de los rieles a soldar se elevará hasta aproximadamente novecientos grados centígrados (900°C).

Los materiales e implementos utilizados deben cumplir con lo siguiente:

Materiales

La carga de aportación para soldadura aluminotérmica, debe ser elaborada con materiales especialmente seleccionados y preparados, de acuerdo con las características metalúrgicas y dimensiones del riel por soldar y en términos generales debe estar constituida por aluminio en polvo, óxido de hierro y los adicionales necesarios, para lograr la mayor similitud al acero del riel. Debe tener la cantidad suficiente para asegurar el llenado de la junta sin escoria ni huecos y con el reborde adecuado, que permita un corte funcional y el perfil en demasía que requiera el proyecto. Con estas porciones se debe mostrar mediante pruebas que se logra un procedimiento práctico y seguro, y que el material de aportación derivado del proceso queda integrado en la unión soldada, con una calidad cuando menos igual a la del acero que constituye los rieles.

Las porciones de materiales que forman una carga de soldadura aluminotérmica, deben proporcionarse en bolsas resistentes a prueba de humedad, preferentemente de material plástico y totalmente herméticas. El envase del grupo de materiales, debe contener instrucciones para el uso y presentar una etiqueta con los datos siguientes:

- Marca de fábrica
- Fechas de fabricación y límite para ser usada
- Número del lote

- Aleación y peso neto de la carga contenida, en gramos
- Tipos de riel en que se aplica el precalentamiento requerido

Separación entre las secciones extremas de rieles a soldar y tolerancia.

El constructor o empresa encargada de efectuar el trabajo, arreglará con el fabricante, las facilidades necesarias para efectuar el muestreo y que le proporcione tanto las porciones de soldadura como los elementos para realizar las soldaduras de prueba y los ensayos de verificación. Previamente al envío de estos materiales a la obra, se tomarán dos (2) muestras de cada mil (1000) cargas o menos; a las muestras obtenidas se les determina su peso neto con aproximación de un (1) gramo, y con ellas se realizan dos juntas soldadas a las cuales primeramente se les efectúa la prueba de dureza Brinell y a continuación se ensayarán a la flexión hasta la ruptura.

Para ser aceptado el lote, las muestras correspondientes deben pasar tanto las pruebas de dureza así como las de flexión y de no ser así, con una sola determinación que no cumpla, se repite en el mismo lote el muestreo, así como las determinaciones y pruebas ya indicadas; y si vuelve a ocurrir alguna falla, con un solo valor que no cumpla, se rechaza el lote muestreado y se marca como no aceptado, por lo cual se debe separar y no se transportará a la obra. Las cargas aluminotérmicas con envases rotos no deben ser utilizadas, tampoco las que presentan indicios de estar húmedas, deterioradas, con fecha

vencida o incompletas; en este último aspecto, sólo se permite una diferencia en menos cero punto uno por ciento (-0.1%) del peso registrado en la etiqueta como peso neto de la carga.

El transporte de los materiales y accesorios, se hará con todas las precauciones necesarias por tratarse de productos inflamables o elementos que se afectan con la humedad; su almacenamiento se hará en lugares convenientemente ubicados, secos y al abrigo de fenómenos ambientales.

Los implementos, equipos y utensilios; básicamente deben cumplir lo siguiente:

Los moldes deben ser prefabricados con base en arena sílica de alta refractabilidad; las piezas moldeadas se endurecen por insuflación de bióxido de carbono (CO₂) y se les somete a un tratamiento de secado. Los moldes deben ser estancos, libres de fisuras y tener un diseño con amplio sistema de alimentación que no propicie obstrucciones, formación de burbujas, ni depósitos de escoria; además su forma y dimensiones deben ser adecuadas para lograr la conformación correcta de la junta soldada, cuando una mazarota de forma piramidal, invertida con altura de cuatro (4) centímetros y una acanaladura en su parte inferior que facilite el corte para eliminarla; se empacarán en cajas de cartón, protegidos con polietileno para evitar el contacto con la humedad, incluyendo además instrucciones para el uso. Solamente en casos especiales y con la autorización previa del representante técnico del organismo, se pueden usar moldes

fabricados en el lugar, para lo cual antes de iniciar su elaboración se solicitará la autorización correspondiente, proporcionando los detalles necesarios.

La pasta de sellado será una mezcla de arena sílica con arcilla refractaria y agua, la cual no debe permitir fugas entre el molde y el riel, permaneciendo sin descomponerse cualquiera que sea el tiempo de precalentamiento o de duración del contacto con el metal fundido; se debe envasar protegiéndola contra la evaporación, para garantizar que durante un tiempo mínimo de seis (6) meses conserve sus condiciones de buena calidad.

El crisol debe ser elaborado con magnesita de alta refractabilidad, y para su utilización deberá mantenerse sobre una funda metálica de forma troncocónica especialmente adaptada, colocando entre ambos, crisol y funda una capa de pasta refractaria. Este crisol debe resistir la reacción y fusión de la carga aluminotérmica y debe renovarse oportunamente cuando manifieste deterioros o exceso de incrustaciones.

La boquilla debe ser una pieza de material refractario, de forma cilíndrica y adaptada a la salida del crisol, parte aguda; con ella se integrará el sistema obturador que controla la salida del metal fundido producto de la reacción aluminotérmica. Este elemento debe revisarse cuidadosamente después de cada colada, para renovarse al presentar deterioros que afecten su funcionamiento.

Los implementos especiales con que se debe contar son equipos mecánicos, para corte de rieles, alineamiento y fijación precalentamiento, esmerilado, desgaste y acabado; por lo que se refiere a utensilios y herramientas se tendrán disponibles marros, limatones, tajaderas, cuñas y otros similares.

No se permite el uso de acoplamientos de equipo, herramientas o utensilios especiales que no sean los diseñados expresamente para el procedimiento seleccionado y aprobado por el organismo a cuyo cargo está la obra. El constructor o empresa encargada de efectuar la soldadura, recabará previamente a la iniciación de los trabajos dicha aprobación y posteriormente será verificada y ratificada en su caso, con la frecuencia que el organismo estime conveniente en función del volumen de trabajo desarrollado.

Los trabajos de soldadura de rieles tanto aluminotérmica, como de electrorresistencia, deberán ser efectuados por personal especializado, idóneo para ser responsable de la eficiencia, exactitud y precisión con que se desarrollan los procedimientos.

Preparación de la junta

Una vez que han sido acondicionados los extremos de los rieles a soldar, en lo que se refiere a la limpieza, eliminación de agujeros, fisuras y ajuste de alineamientos, se procede a colocarlos en posición

para iniciar el procedimiento de soldadura, para lo cual se debe observar lo siguiente:

Para la alineación de los rieles que forman la junta, bien sea que estén colocados sobre bloques de madera o en los durmientes, se deben utilizar dispositivos mecánicos para alineamiento rápido y preciso. Cuando se trate de rieles sujetos a durmientes, se deben aflojar las fijaciones en cuando menos seis durmientes a cada lado de la junta y se volverán a apretar no antes de cuarenta (40) minutos después de efectuada la soldadura.

Los extremos deben quedar perfectamente alineados en plano horizontal y por el lado interior del hongo, lo cual se verificará colocando en dicho lado, centrada en la junta, una regla metálica de un (1) metro de longitud, adosada quince (15) milímetros debajo de la superficie de rodamiento, sin registrarse deflexión alguna.

En cuanto al alineamiento vertical, ambos extremos de los rieles en la junta deben ajustarse simétricamente apuntando algo hacia arriba para formar una contraflecha máxima de uno punto cinco (1.5) milímetros, medida con calibrador y una regla metálica de un (1) metro de longitud, apoyada sobre la superficie de rodamiento en el hongo con su centro en el plano medio de la junta. Esta elevación es necesaria para comprobar la deformación al enfriarse la soldadura y deberá evaluarse frecuentemente este efecto para hacer los ajustes necesarios y lograr que las uniones soldadas ya terminadas, se hagan

colineales a los rieles que conectan y con las deflexiones tolerables indicadas a continuación. Respecto a las verificaciones geométricas de alineamientos, en las uniones soldadas se tienen las siguientes tolerancias determinadas con regla metálica de un (1) metro de longitud.

En la banda de rodamiento se permite una contraflecha de cero punto ocho (0.8) milímetros como máximo respecto a extremo libre de la regla, la cual deberá apoyarse en la mitad de la longitud sobre la superficie superior del hongo. No se permite ninguna deformación con flecha al centro de la regla.

En la cara activa del hongo se acepta una flecha o contraflecha máxima de uno punto cero (1.0) milímetros, en proyección horizontal, medida en el extremo de la regla que estará colocada longitudinalmente en la cara activa del hongo con sus extremos equidistantes del plano medio de la soldadura.

Durante la preparación de la junta se deben tomar las siguientes precauciones:

Cuando autorice el representante del concesionario efectuar cortes con soplete, al terminar éstos, se limpiará limando la cara del corte y se efectuará inmediatamente después la soldadura.

En las operaciones de alineación, se deben evitar golpes o choques que puedan dañar principalmente los patines de los rieles,

por lo cual al efectuarla no se permite el uso de herramientas como marros, martillos, cuñas de acero y herramientas similares.

Los trabajos de mantenimiento en vía activa, se efectuarán tratando de evitar hasta donde sea posible la dilatación o contracción rápida de los rieles, a menos que pueda controlarse con mecanismos adecuados que los mantenga en posición con el espaciamiento de la junta (Fig. 23).



Fig. 23.- Liberador de tensión, hidráulico, con motor de gasolina

Ejecución

La colocación del molde sobre ambos extremos de los rieles a soldar, se debe hacer centrándolo perfectamente en el espacio dejado entre ellos para la soldadura; de tal manera que el plano medio de ésta coincida con el plano transversal de simetría del molde, después

de lo cual se procederá al sellado de la zona de contacto entre el molde y el riel, con la pasta refractaria correspondiente. Esta operación se debe llevar a cabo apegándose estrictamente a las instrucciones proporcionadas por el fabricante de moldes para soldadura; así también, es imperativo contar con todos los elementos y accesorios para el montaje del molde, vaciado y eliminación de impurezas. Se deben tener las precauciones de verificar, antes de colocar el molde, que no haya obstrucciones en sus orificios de colado y de salida de los gases, ni residuos de pasta en la cámara de colado, en igual forma, se comprueba la correcta posición del molde después del procedimiento.

Durante la preparación del crisol, debe ponerse especial atención de limpiarlo, fijarlo perfectamente en el forro metálico y en su caso, colocarle la boquilla de magnesita que sirve de soporte al clavo de obturación; el sellado de éste, se hará de acuerdo con instrucciones del fabricante y para el objeto se utilizará el total de magnesita que se incluye en la porción de soldadura, previa verificación de que se encuentra en buen estado. Bien sea que se trate de crisol nuevo o usado, una vez que se ha montado se verifica que esté seco y de lo contrario, se le debe eliminar la humedad inclusive de la boquilla y arcilla selladora, utilizando para ello, el calentador durante un mínimo de seis (6) minutos; después de lo cual se revisa su funcionamiento y la colocación del clavo de obturación, para que quede cubierto perfectamente con el material refractario previsto para el objeto. Previa autorización del organismo que tiene a su cargo la obra, se podrán utilizar crisoles con dispositivo auténtico

para el destapado, así también, el efectuar algún precalentamiento con el uso de coladas preliminares.

El precalentamiento de los extremos de los rieles por soldar, se lleva a cabo para completar la preparación de la junta y debe ser el suficiente para lograr mayor uniformidad en la temperatura, mediante esta operación también se mantendrán secas la cámara de reacción y la pasta de sellado; al respecto la temperatura de los extremos a soldar se elevará hasta Novecientos grados centígrados (900°C) aproximadamente, obteniéndose una coloración de rojo cereza claro en el patín y alma, así como rojo cereza sombreado en el hongo. El precalentamiento se debe efectuar utilizando equipo aprobado, la zona precalentada debe quedar perfectamente repartida respecto al plano de simetría de los rieles y al plano medio del espacio entre los extremos de los mismos. La flama producida por el soplete debe ser reductora, de coloración azul, con longitud adecuada para que sobresalga alrededor de quince (15) centímetros de las chimeneas del molde sin que lo deteriore; en ningún momento aparecerá la flama a través de las juntas de los moldes ni tendrá efectos de oxidación en el material del riel.

Se debe tener especial cuidado al apreciar la temperatura de precalentamiento por la coloración que toman los rieles en las siguientes circunstancias: a través de los elementos de protección visual, en los túneles y cuando cambian condiciones de iluminación, se podrá controlar prácticamente por el tiempo que dure. Debe evitarse el enfriamiento rápido de las juntas recién soldadas, protegiéndolas en

esta etapa contra efectos de lluvia, vientos y otros factores casuales que afecten el enfriamiento normal. Durante la operación de precalentamiento, el crisol preparado y perfectamente obturado, se deberá mantener limpio y seco para que en estas condiciones se vierta la porción aluminotérmica previamente identificada, homogeneizada y verificado su buen estado de conservación.

El crisol cargado, se colocará en el soporte apegándose en todas las instrucciones del fabricante de la porción y al haberse alcanzado la temperatura de precalentamiento en la junta, inmediatamente se colocará en posición de vaciado centrándolo, debiendo quedar en forma de crisol aproximadamente treinta y cinco (35) milímetros de la parte superior del molde.

Para iniciar la reacción exotérmica se introduce totalmente en la porción una luz de bengala encendida, con lo que se iniciará la reacción química con gran desprendimiento de calor que produce acero fundido y escoria que sobrenada. Cuando se trate de crisoles con descarga manual, ésta no debe efectuarse hasta que la reacción termine y la escoria o residuos se haya separado del metal de aportación, cuando esta operación de que la escoria no caiga dentro del molde; se vigilará cuidadosamente el término de la reacción, manifestada por la salida de humos y la vibración en el crisol, en relación con las indicaciones respectivas de tiempo por parte del fabricante, y oportunamente se accionará el clavo de obturación iniciando el vaciado al molde (Fig. 24).

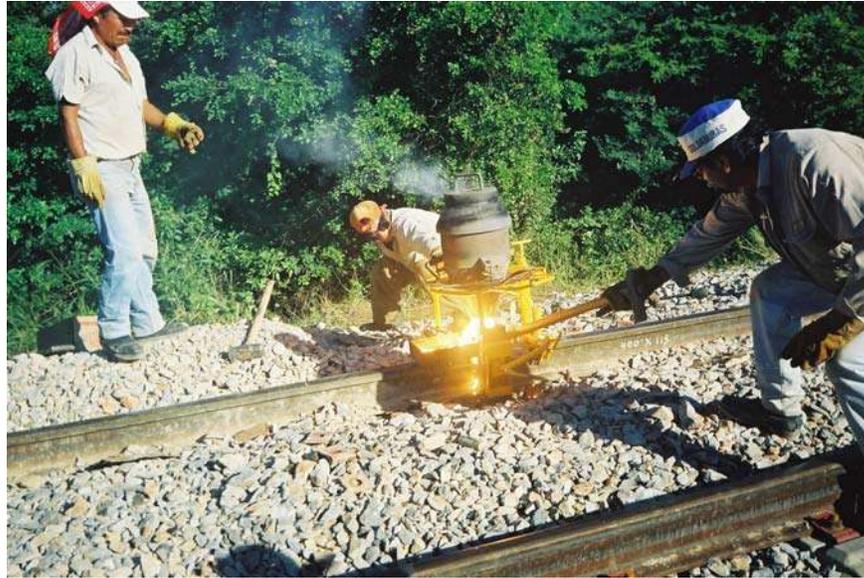


Fig. 24.- Aplicación de soldadura aluminotermica en riel (efectuado en campo)

Tomando en cuenta que el periodo que transcurre inmediatamente después del vaciado, es sustancial para lograr soldaduras de buena calidad se deberá atender lo siguiente:

Durante los primeros tres (3) minutos después de efectuado el vaciado de la soldadura, los rieles no deben tener ninguna clase de vibración ni movimiento; transcurrido este periodo y el lapso recomendado por el fabricante de la carga utilizada, se retira el recipiente de escoria y el molde, empezando primero por la parte que cubre la banda de rodamiento y las caras del hongo, lo cual en términos generales se efectuará después de dejar enfriar la soldadura durante aproximadamente cuatro (4) minutos dependiendo del medio ambiente. Enseguida se debe quitar el exceso de soldadura, cuidando de dejar sobre el hongo, un reborde de cero punto cinco a uno punto cero (0.5 a 1.0) milímetros en el caso de hacer la eliminación con tajadera o herramienta similar aprobada, se deben controlar los golpes en sentido longitudinal del riel, para evitar daños en la unión soldada;

perfectamente este exceso de metal debe ser separado por corte con equipo mecánico.

Para la terminación de esta etapa, se deberán cortar las partes restantes de las toberas y se limpiará perfectamente el cordón y el resalto inferior del patín de partículas de acero; en el caso de haberse utilizado tensores para el alineamiento, éstos se mantendrán en posición durante veinte (20) minutos como mínimo después de terminada la colada.

Terminada la ejecución de la soldadura de los rieles, se deben efectuar las operaciones necesarias para adaptar y restituir en la zona afectada, el perfil del hongo del riel de acuerdo con su sección original, lo cual se llevará a cabo básicamente mediante dos etapas de esmerilado como sigue:

Esmerilado de desbaste, mediante el cual se deben rebajar los rebordes de soldadura que permanezcan después del corte de la mazarota, el que se debe iniciar cuarenta y cinco (45) minutos después de dicho corte. Esmerilado de terminación, mediante el cual se debe lograr en forma lo más perfecta posible, la uniformidad y continuidad de la superficie de rodamiento y cara activa en el hongo del riel.

Esta etapa se realiza a la temperatura ambiente y tratándose de vía en servicio, las cuñas de alineamiento se habrán removido previamente y el riel se encontrará completo y correctamente sujeto en su nivelación y alineamiento especificado en el proyecto, o establecido

por el Organismo a cargo de la obra; cuando se trata de trabajo en planta o riel a lo largo de la vía, se conservarán las cuñas de alineamiento durante estas operaciones y se retirarán al terminarlas. Los resultados de soldadura, rebaba y otras imperfecciones, deben ser esmeriladas y eliminadas las aristas vivas, pero esta operación no debe extenderse a más de veinte (20) centímetros a cada lado del plano medio de la junta soldada.

El trabajo de esmerilado se debe llevar a cabo con el equipo (Fig. 25) y el personal capacitado, previamente aprobados por el concesionario, en el caso de cometerse errores significativos de operación de procedimiento como el sobrecalentamiento detectado por la apariencia de pavonado de la zona afectada, la soldadura será rechazada y debe reemplazarse de inmediato por el constructor o encargado de realizar los trabajos.



Fig. 25.- Esmeriladora de riel, con motor a gasolina (peso 70 kg)

Las soldaduras terminadas y aceptadas deben marcarse como sigue: con caracteres de troquel en la cara exterior del hongo del riel, a

una distancia no mayor de treinta (30) centímetros, el número de registro del soldador y logotipo del constructor o empresa encargada de ejecutar los trabajos.

La soldadura terminada que manifieste errores visibles o deficiencias francas en su calidad que la cataloguen como inaceptable, se debe marcar para ser sustituida.

El paso de trenes sobre vía con soldaduras recién ejecutadas, queda prohibido y no se debe permitir hasta en tanto no hayan transcurrido como mínimo cuarenta (40) minutos después de terminada la colada más reciente.

Sistemas Europeos:

El armado y tendido de vía en los países Europeos ha evolucionado a pasos agigantados, los más conocidos han sido los siguientes:

a).- Sistema Desquenne et Gira

Este sistema muy empleado en Francia, es un sistema para tender vía por medio de tramos premontados. Este procedimiento, como todos los de tramos premontados, puede ser indistintamente para vía con durmiente de concreto, mixto o monolítico.

El tramo se arma en el patio de durmientes. Primeramente se colocan estos apoyados sobre el riel de una vía de servicio a su espaciamiento respectivo; posteriormente, para cada durmiente, se distribuyen su dotación de accesorios; luego se monta sobre el número de durmientes de un tramo, el tramo de riel correspondiente, ya sea de 12 o 16 metros, según el caso; posteriormente se colocan las fijaciones y se aprietan.

Una segunda tapa de durmientes se distribuye sobre el riel del primer tramo y se vuelve a armar otro tramo; así se arman tres o cuatro pisos. Luego, por medio de unos gatos, se levantan estos y se introducen por la vía de servicio unos "Lorrys" sobre los que se apoyarán estos tramos y que jalados por un tractor serán llevados a su lugar de destino para ser colocados sobre el sub-balasto.

La colocación en la vía de los tramos premontados, constituye propiamente el sistema Desquenne et Giral, el que consta básicamente del siguiente equipo:

Los pórticos de acción hidráulica autocargables de tamaño pequeño de apoyo fijo y que servirán para levantar y bajar los tramos, un número considerable de lorrys para traer los tramos al lugar de tendido y una locomotora de trabajo y un tramo-trineo deslizable con rieles, jalados por un tractor. El tramo-trineo con rieles se coloca en la punta de vía después del último tramo premontado colocado; luego se ruedan sobre él, los "lorrys" con los tramos premontados y los pórticos auto-cargados en éstos. Luego se accionan los pórticos de manera que se apoyen en el suelo para levantar el tramo premontado arriba. A

continuación se corren los tramos restantes en los “lorrys” de regreso y se jala hacia delante el tramo-trineo por medio de un tractor, quedando solo el tramo premontado suspendido totalmente libre cargado por los pórticos; posteriormente se accionan los pórticos y este tramo se desciende y se coloca a continuación del anterior. Se corren los lorrys sobre este tramo, los pórticos se vuelven a auto-cargar, el trineo se vuelve a colocar a punta de vía y se repite la operación.

Se puede hacer notar, que este sistema para nuestro medio tiene ambos inconvenientes ya que la planta de durmientes tiene que estar a distancia relativamente cerca de la punta de vía, ya que con lorrys no es económico el flete a largas distancias, además que los pórticos hidráulicos y el tractor del trineo ocasionan que el equipo sea bastante costoso.

b).- Sistema Drouart

Este sistema, también de tramos premontados, consiste en lazar al frente de una trabe armada colocada sobre riel, los tramos premontados que son traídos al lugar de tendido por medio de lorrys. El sistema de armado es similar al que ya está descrito, para el sistema Desquenue. El transporte de los tramos premontados puede ser hecho igualmente al lugar de tendido en la forma ya descrita.

La trabe, montada sobre lorrys (Fig. 26), consiste básicamente en una parte central apoyada y dos partes voladas, una a cada extremo de la central; la primera sobre la parte posterior que recoge un tramo (24 m) de los que llegan en los lorrys lo hacen deslizar a

través de ella misma hacia el otro extremo en la parte frontal en donde lo desciende y lo coloca en la punta de vía. Posteriormente esta trabe es movida al tramo recién colocado, los lorrys son acercados a la trabe, regresan por ella misma los carritos de carga, recogen un nuevo tramo y lo vuelven a deslizar sobre el mismo hacia la punta frontal y lo descienden nuevamente.

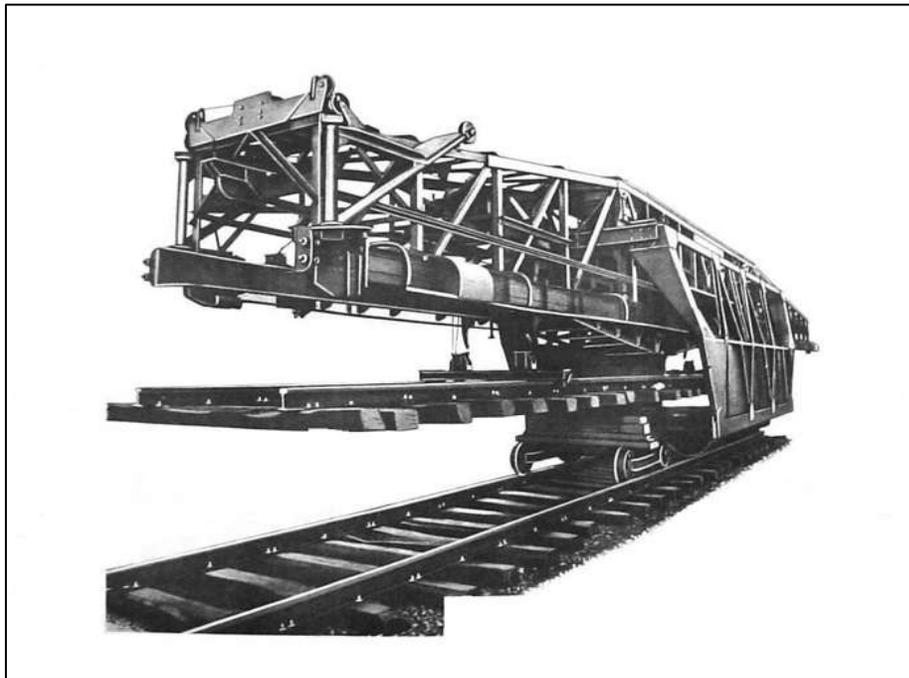


Fig. 26.- Trabe para colocación de tramos premontados (sistema Drouart)

Este sistema también de muy alta eficiencia, tal vez mayor que el propio Desquenne, tiene los inconvenientes similares al mismo sistema Desquenne, ya que la punta de vía, tiene que estar relativamente cerca del patio de armado, debido al transporte en lorrys.

c).- Sistema moderno totalmente mecanizado

Harsco Track Technologies, ha diseñado y construido una máquina de construcción de vías, esta máquina coloca la nueva vía sobre una capa de balasto previamente preparada en una operación continua.

La unidad consiste en un marco sujetador, apoyado en un extremo por una plataforma especialmente modificada que corre sobre la nueva vía ya colocada y en el otro extremo por una banda eslabonada no accionada que camina sobre la capa de balasto (Fig. 27). El marco sujetador contiene un sistema de transporte de durmientes que los lleva al mecanismo de colocación y unión donde se les coloca la placa de hule para amortiguar el efecto producido por el riel de acero sobre superficies de concreto, posteriormente el mecanismo los coloca sobre la capa de balasto con un espaciamiento predeterminado y preciso. El conjunto es remolcado por un tractor tipo cargador frontal (Cat 953).



Fig. 27.- Máquina de construcción de nuevas vías, totalmente mecanizada (modelo NTC)

El riel continuo que ha sido previamente distribuido sobre la capa de balasto, se hace pasar a través de unas guías situadas en la parte posterior de la unidad de remolque que los dirige al interior de una estación de calibración (Fig. 28), donde se soldan eléctricamente las uniones faltantes pasando a una máquina que se encarga de filetear las soldaduras realizadas (Fig. 29), depositando los rieles sobre los durmientes.

La fijación final del riel sobre el durmiente, es realizada también mecánicamente (Fig. 30) y controlada por un operador que dirige el riel sobre el durmiente. Quien es también responsable del apropiado alineamiento de la vía.



Fig. 28.- Máquina soldadora por calentamiento de las uniones de los rieles



Fig. 29.- Máquina fileteando soldaduras de los rieles (rebaba sobrante)



Fig. 30.- Máquina aplicando la fijación correspondiente (Clip Pandrol)

En los países en donde las vías sufren un gran tráfico, el balasto se especifica en espesores mayores y por lo tanto son volúmenes grandes, obligando a colocarlo antes del armado de la vía para poder compactarlo, principalmente mediante procedimientos vibratorios.

Este gran volumen puede deberse también a los grandes esfuerzos que se originan con las vías soldadas, especialmente en países como Alemania en donde tienden a desaparecer las juntas de dilatación, a cambio de especificaciones muy rígidas en el balastado y su conservación.

Este procedimiento no elimina una segunda distribución de balasto en pequeño volumen después de armada la vía, ya que la primera no es sino para lograr la cama compactada.

El alineamiento, nivelación y calzado de la vía, es completamente mecanizado con equipo moderno controlado hidráulicamente (Fig. 31), utilizando rayo láser con referencia a una línea vertical previamente establecida que indica la trayectoria de la nueva vía.



Fig. 31.- Máquina calzadora con sistema de medición de MODEM óptico

En Europa, el trabajo se ha automatizado totalmente para la construcción de las vías. Hoy en día máquinas robotizadas hacen todo el trabajo. Tienden varios kilómetros de extensión por día.

IV ESTUDIO ECONÓMICO



DOBLE ESTIBA

IV.- ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico lo desarrollare sobre un proyecto que actualmente está en proceso de revisión y próximo a licitarse para inmediatamente después iniciar la construcción de terracerías, obras de drenaje y vía. Esta obra estará ubicada en el estado de Chihuahua y se trata del “**Acceso de Ferrocarril a la Planta Electrolux**”

Una vía, generalmente o es una prolongación de otra ya existente o nace en un determinado lugar de alguna troncal, que es el caso que nos ocupa. El acceso ferroviario se inicia en la línea principal México-Cd. Juárez (Fig. 1).



Fig. 1.- Línea férrea México-Cd. Juárez, kilómetro 1946

El kilómetro 1946 de la línea “A” corresponde a las cercanías de Cd. Juárez, Chih. Esto es 40 kilómetros al sur de la frontera con los Estados Unidos, razón por la que se establecen las maquiladoras en esta región, pues lo que producen es precisamente para exportar y qué mejor medio de transporte, para los grandes volúmenes de carga que el ferrocarril. Con el establecimiento de dicha planta maquiladora de productos electrodomésticos (Electrolux), que actualmente está en proceso de construcción (Fig. 2), se crea la necesidad de transportar dichos productos y como consecuencia la de realizar proyectos y construir vías de comunicación.



Fig. 2.- Área de almacenes y andenes para carga a ferrocarril (en construcción)

I. - DESCRIPCION GENERAL

La elaboración del Proyecto Ejecutivo para la construcción de ésta nueva obra, permitirá en primera instancia, el acceso ferroviario directo a las instalaciones de la Planta Electrolux; en la cual se ha contemplado en un futuro cercano, la expansión de sus almacenes e infraestructura en general. Esta nueva vía conectará los andenes de acceso y almacenamiento de la planta, con la línea principal del Ferrocarril, México – Cd. Juárez. De manera general el Proyecto Ejecutivo contempla, de acuerdo con los datos proporcionados, las siguientes características:

Vía en Laderos	480 ml
Vías de Enlaces	471 ml
Vía Simple en Espuela Principal	8,107 ml
Vías en Andenes	710 ml
Longitud estimada de vías	9,768 ml

II.- PROYECTO

Para la elaboración de la ingeniería, se considerarán las condiciones del lugar en que se proyectará la Nueva Vía, así como la operación ferroviaria en las zonas inmediatas a ésta y la ubicación de los servicios públicos e interferencias, a fin de que se prevean todas las obras necesarias que garanticen la interconexión adecuada con las nuevas instalaciones del proyecto. Por lo tanto, los estudios y proyectos abarcarán:

- Los estudios preliminares en general, como levantamientos topográficos, estudios de geotecnia, hidrología, anteproyectos, diseños e ingenierías de acuerdo con las normas y especificaciones

vigentes, tanto ferroviarias como de cualquier otra índole que corresponda.

- Los anteproyectos y diseños de la ingeniería, deberán ser aprobados por La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para la elaboración del Proyecto Ejecutivo Definitivo. Los diseños del proyecto se sujetarán, según corresponda, a las normas y reglamentos que la misma Secretaría señale.

TOPOGRÁFIA

Los trabajos topográficos consistirán, en un levantamiento planimétrico en toda el área del proyecto, en un ancho de faja promedio y considerada suficiente de acuerdo con la topografía deducida de los planos proporcionados por la Secretaría, de 15 m, el cual deberá quedar apoyado en una poligonal cerrada con precisión mínima de 1:20,000. Este levantamiento será la base para el desarrollo del proyecto de la nueva vía.

Para el proyecto de los laderos, vías de enlace y en andenes, se realizarán los trazos y nivelaciones de los ejes principales que sean necesarios, ya que a partir de éstos, se efectuarán las secciones transversales correspondientes, conforme a las siguientes indicaciones:

TRAZO DEFINITIVO Y REFERENCIAS

El trazo definitivo de cada eje se realizará a cada 20 metros, dejando un trompo y estaca testigo sobre la que se marcará con

pintura el kilometraje correspondiente, así como en los puntos que definen el trazo como son los PST, y los PC, PI y PT de las curvas utilizando equipo de alta precisión (Estación Total).

Con objeto de poder reconstruir el trazo las veces que sea necesario, se referenciarán los puntos más importantes del mismo, tales como: PC, PT y PST. Las referencias se colocarán sobre puntos inamovibles existentes en el lugar. Las referencias estarán formadas por dos ramas con dos puntos cada una de ellas, ubicadas a una distancia tal, que queden fuera de la franja de construcción del proyecto.

NIVELACIÓN DE TRAZO DEFINITIVO

La nivelación del eje del proyecto se hará con nivel montado, registrando elevaciones del terreno a cada 20 metros en los puntos donde se realice el trazo. Para tener el control del error por nivelación se establecerán en su caso, bancos de nivel de proyecto.

La nivelación deberá comprobarse mediante el método diferencial en donde el error no será mayor que el establecido por la siguiente fórmula:

$$T = 0.01 \sqrt{k}$$

Donde: T = Tolerancia o error expresado en metros

K = Desarrollo de la nivelación expresado en kilómetros

SECCIONAMIENTO TRANSVERSAL

El seccionamiento transversal se realizará con equipo electrónico de alta precisión abarcando el área del proyecto a cada 20 metros.

PROYECTO DE SUBRASANTE DE EJES PRINCIPALES

El proyecto de la línea subrasante de los ejes principales se realizará una vez que se establezca el trazo de dichos ejes, la nivelación, seccionamiento, levantamiento de cauces y obras de drenaje existentes. Realizando el proyecto de la subrasante, tomando en cuenta las diferentes condiciones topográficas de proyecto, especificaciones y criterios establecidos, a fin de establecer el proyecto más adecuado.

Se presentará el proyecto de la línea subrasante, de cada eje referido a los bancos de nivel preestablecidos en la nivelación, así como también se presentarán los datos correspondientes a pendientes, elementos de curvas verticales, elevaciones de terreno natural, subrasante, espesores y volúmenes de corte, terraplén y ordenada de curva masa.

PROYECTO DE SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN

Una vez aprobada la línea de la subrasante de los ejes principales, se proyectarán las secciones de construcción a escala horizontal y vertical 1:100, una vez establecidas las secciones de

construcción, se calcularán las áreas de los estratos que la forman, tales como despalmes, cortes, escalones de liga, terraplenes.

CURVA MASA Y SOBRECARREOS

Con las áreas calculadas de los diferentes estratos y con las recomendaciones de geotecnia, se procederá a calcular la curva masa de terracerías, separando los volúmenes para cada capa o estrato.

En el perfil se dibujarán los diagramas de terracerías y estrato por separado, indicando claramente los bancos de préstamo propuestos para cada caso. Finalmente se calcularán los sobrecarreos de acuerdo a las Normas de Construcción de la S.C.T.

III.- ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Se excavarán pozos a cielo abierto, a cada 500 metros, de 1.50 metros de profundidad a lo largo del área del proyecto. De cada excavación se obtendrán las muestras para la determinación de: zonificación estratigráfica, características de los suelos, tratamiento conveniente, recomendaciones para la utilización del material de corte de acuerdo a su calidad. Adicionalmente se realizarán las pruebas de permeabilidad del suelo para determinar la conveniencia de construir pozos de absorción para el drenaje pluvial.

Se estudiarán los bancos de préstamo de materiales que la Secretaría apruebe necesarios para las terracerías. Será definida su ubicación referida al eje de proyecto, estratigrafía, tratamiento

necesario, dimensiones y volumen aprovechable, coeficientes de variación volumétrica, clasificación para presupuesto y uso recomendable en la estructura de las vías.

Para las obras de drenaje menores, se analizará la capacidad de carga del terreno natural y se determinará la profundidad de desplante de cada obra.

A todas las muestras obtenidas en cada uno de los sondeos realizados, tanto en el área del proyecto como en los bancos de material, se efectuarán los siguientes ensayos índice y de calidad:

- Clasificación visual y manual de los suelos en estado húmedo y seco, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)
- Determinación del contenido natural de agua (W%)
- Límites de plasticidad, líquido y plástico (LL, LP)
- Granulometría por mallas y/o lavados por malla No. 200
- Contracción lineal
- Peso volumétrico seco natural
- Peso volumétrico seco suelto
- Densidad de sólidos (Ss)
- Peso volumétrico seco máximo
- V.R.S. estándar
- V.R.S. modificados al 90, 95 y 100%
- Capacidad de carga

IV.- ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

PROYECTO DE DRENAJE PLUVIAL

Se recopilará toda la información relativa a la zona del proyecto, como pudiera ser: información hidrológica y de cartografía en general y toda aquella información que se considere de utilidad. Con dicha información se ordenará y procesará para su aplicación al estudio, y de acuerdo a los periodos de registro, se determinará la información que se deberá completar con la finalidad de definir en la medida de lo posible un periodo homogéneo amplio y reciente.

Se seleccionará una estación climatológica, que se encuentre próxima a la zona de proyecto y que sea representativa; en caso de que cuente con pluviógrafo la información se procesará con métodos probabilísticos como son los de Gumbel, Nash, Levediev, etc., para obtener los valores máximos probables de intensidades de lluvia para duraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 80, 100 y 120 mm/hr y periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 y 1000 años si fuera necesario.

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE OBRAS EXISTENTES

Se revisará la capacidad hidráulica real de las obras existentes que lo ameriten, considerando los niveles de entrada y salida. Así como la topografía del sitio y los gastos asociados, con el fin de

determinar si la estructura existente tiene la capacidad hidráulica necesaria o si se requiere de una nueva estructura.

PROYECTO EJECUTIVO DE DRENAJE PLUVIAL

Con los datos de proyecto y la disposición de las vías en el patio se propondrá la geometría de la red de drenaje, determinándose distancias, pendientes, pozos de visita con sus elevaciones de terreno natural, plantilla y diámetros propuestos de las tuberías.

Con la geometría, diámetros propuestos, pendientes, etc., se realizará el cálculo hidráulico siguiendo los lineamientos y normas establecidas por la CNA para proyectos de alcantarillado.

V.- PROYECTO EJECUTIVO DEFINITIVO

ENTREGA- RECEPCIÓN

El proyectista entregará a la Secretaría, original debidamente firmado, dos copias impresas y cinco juegos de discos magnéticos de toda la documentación del Proyecto Definitivo aprobado, la cual consiste en la siguiente información:

- Planos del levantamiento topográfico de proyecto geométrico, generales y de ingeniería de detalle y definitivos, a la escala señalada por la Secretaría, debidamente firmados por los responsables respectivos.
- Estudio de mecánica de suelos.

- Memorias de cálculo debidamente aprobadas.
- Catálogo de conceptos por áreas y especialidades.
- Especificaciones técnicas y particulares.
- En el desarrollo del proyecto y en la elaboración del catálogo de conceptos, se considerarán todas las obras de protección necesarias para las instalaciones de terceros (redes de drenaje, agua potable, líneas férreas, gas, PEMEX, CFE, etc.), así como las obras provisionales necesarias.

Los trabajos topográficos se realizaron utilizando equipo moderno de alta precisión como es la Estación Total (Fig. 3), se estudiaron varias alternativas de localización del eje de la vía (proyecto preeliminar), aprobándose finalmente por parte de la Secretaría la más conveniente (proyecto definitivo), que es la que inicia en el kilómetro A1943 + 600 (alternativa No. 6).



Fig. 3.- Estación Total, realizando trabajos de topografía (alcance 5 km)

Los datos obtenidos con la Estación Total sobre el trazo definitivo (Fig. 4) son procesados, para obtener las coordenadas y los niveles de las estaciones a cada 20 metros, así como de los puntos intermedios necesarios.

TRAZO DE VIA PRINCIPAL DE ACCESO A LA PLANTA DE ELECTROLX			
PUNTO	CADENAMIENTO	COORDENADAS	
		X	Y
PST	A 1943+598.940	363,071.417	3,485,026.202
PC	0+107.200		
	0+120.000	363,069.044	3485038.777
	0+140.000	363,067.101	3485058.673
	0+160.000	363,067.331	3485078.662
	0+180.000	363,069.729	3485098.508
	0+200.000	363,074.268	3,485,117.976
	0+220.000	363,080.893	3,485,136.836
	0+240.000	363,089.528	3,485,154.865
	0+260.000	363,100.069	3,485,171.850
PI	0+265.741	363,036.610	3,485,180.875
	0+280.000	363,112.392	3,485,187.590
	0+300.000	363,126.351	3,485,201.899
	0+320.000	363,141.781	3,485,214.608
	0+340.000	363,158.500	3,485,225.567
	0+360.000	363,176.310	3,485,234.645
PT	0+368.855	363,184.489	3,485,238.035
	0+380.000	363,194.885	3,485,242.053
	0+400.000	363,213.539	3,485,249.264
	0+420.000	363,232.194	3,485,256.475

	0+440.000	363,250.849	3,485,263.685
	0+460.000	363,269.504	3,485,270.896
	0+480.000	363,288.159	3,485,278.107
	0+500.000	363,306.814	3,485,285.318
	0+520.000	363,325.469	3,485,292.528
	0+540.000	363,344.124	3,485,299.739
	0+560.000	363,362.779	3,485,306.950
	0+580.000	363,381.434	3,485,314.161
	0+600.000	363,400.088	3,485,321.371
	0+620.000	363,418.743	3,485,328.582
	0+640.000	363,437.398	3,485,335.793
	0+660.000	363,456.053	3,485,343.003
	0+680.000	363,474.708	3,485,350.214
	0+700.000	363,493.363	3,485,357.425
	0+720.000	363,512.018	3,485,364.636
	0+740.000	363,530.673	3,485,371.846
	0+760.000	363,549.328	3,485,379.057
	0+780.000	363,567.983	3,485,386.268
	0+800.000	363,586.637	3,485,393.479
	0+820.000	363,605.292	3,485,400.689
	0+840.000	363,623.947	3,485,407.900
	0+860.000	363,642.602	3,485,415.111
	0+880.000	363,661.257	3,485,422.321
	0+900.000	363,679.912	3,485,429.532
	0+920.000	363,698.567	3,485,436.743
	0+940.000	363,717.222	3,485,443.954
	0+960.000	363,735.877	3,485,451.164
	0+980.000	363,754.532	3,485,458.375
	1+000.000	363,773.186	3,485,465.586
	1+020.000	363,791.841	3,485,472.797
	1+040.000	363,810.496	3,485,480.007
	1+060.000	363,829.151	3,485,487.218

	1+080.000	363,847.806	3,485,494.429
	1+100.000	363,866.461	3,485,501.639
	1+120.000	363,885.116	3,485,508.850
	1+140.000	363,903.771	3,485,516.061
	1+160.000	363,922.426	3,485,523.272
	1+180.000	363,941.081	3,485,530.482
	1+200.000	363,959.736	3,485,537.693
	1+220.000	363,978.390	3,485,544.904
	1+240.000	363,997.045	3,485,552.115
	1+260.000	364,015.700	3,485,559.325
	1+280.000	364,034.355	3,485,566.536
	1+300.000	364,053.010	3,485,573.747
	1+320.000	364,071.665	3,485,580.958
	1+340.000	364,090.320	3,485,588.168
	1+360.000	364,108.975	3,485,595.379
PC	1+372.778	364,120.893	3,485,599.986
	1+380.000	364,127.596	3,485,602.674
	1+400.000	364,145.780	3,485,610.991
	1+420.000	364,163.340	3,485,620.556
	1+440.000	364,180.190	3,485,631.323
	1+460.000	364,196.248	3,485,643.239
	1+480.000	364,211.435	3,485,656.246
	1+500.000	364,225.678	3,485,670.280
	1+520.000	364,238.908	3,485,685.274
	1+540.000	364,251.059	3,485,701.155
	1+560.000	364,262.073	3,485,717.844
	1+580.000	364,271.896	3,485,735.261
	1+600.000	364,280.480	3,485,753.320
PI	1+603.514	364,336.112	3,485,683.175
	1+620.000	364,287.783	3,485,771.935
	1+640.000	364,293.770	3,485,791.013
	1+660.000	364,298.412	3,485,810.463

	1+680.000	364,301.686	3,485,830.189
	1+700.000	364,303.575	3,485,850.096
	1+720.000	364,304.071	3,485,870.086
	1+740.000	364,303.172	3,485,890.061
	1+760.000	364,300.882	3,485,909.926
PT	1+761.265	364,300.690	3,485,911.176
	1+780.000	364,297.814	3,485,929.689
	1+800.000	364,294.744	3,485,949.452
	1+820.000	364,291.674	3,485,969.215
	1+840.000	364,288.603	3,485,988.978
	1+860.000	364,285.533	3,486,008.741
	1+880.000	364,282.463	3,486,028.504
	1+900.000	364,279.392	3,486,048.267
	1+920.000	364,276.322	3,486,068.030
	1+940.000	364,273.252	3,486,087.792
	1+960.000	364,270.181	3,486,107.555
	1+980.000	364,267.111	3,486,127.318
	2+000.000	364,264.041	3,486,147.081

Fig. 4.- Ejemplo de trazo, datos ya procesados (dos kilómetros)

Cálculo de la subrasante de proyecto (Fig. 5), basándose en las especificaciones actualizadas de proyecto geométrico de la SCT y en cuanto a pendiente y curvatura las Especificaciones Técnicas para la Construcción de Vías Particulares de Ferromex, que es la empresa concesionaria de la línea férrea México-Ciudad Juárez.

RASANTE DE PROYECTO

PUNTO	CADENAMIENTO	ELEV RAS.	ELEV. S.R.	TANGENTES VERTICALES	CURVAS VERTICALES

PIV=	0+107.200	1,195.38	1,194.85	PIV=	0+107.200		
	0+120.000	1,195.37	1,194.84	Elev=	1,195.38		
	0+140.000	1,195.35	1,194.82	P=	-0.090		
	0+160.000	1,195.33	1,194.80				
	0+180.000	1,195.31	1,194.78				
	0+200.000	1,195.30	1,194.77				
	0+220.000	1,195.28	1,194.75				
	0+240.000	1,195.26	1,194.73				
	0+260.000	1,195.24	1,194.71				
	0+280.000	1,195.22	1,194.69				
	0+300.000	1,195.21	1,194.68				
	0+320.000	1,195.19	1,194.66				
	0+340.000	1,195.17	1,194.64				
	0+360.000	1,195.15	1,194.62				
	0+380.000	1,195.13	1,194.60				
	0+400.000	1,195.12	1,194.59				
	0+420.000	1,195.10	1,194.57				
	0+440.000	1,195.08	1,194.55				
	0+460.000	1,195.06	1,194.53				
	0+480.000	1,195.04	1,194.51				
	0+500.000	1,195.03	1,194.50				
	0+520.000	1,195.01	1,194.48				
	0+540.000	1,194.99	1,194.46				
	0+560.000	1,194.97	1,194.44				
	0+580.000	1,194.95	1,194.42				
	0+600.000	1,194.94	1,194.41				
	0+620.000	1,194.92	1,194.39				
	0+640.000	1,194.90	1,194.37				
	0+660.000	1,194.88	1,194.35				
	0+680.000	1,194.86	1,194.33				
	0+700.000	1,194.85	1,194.32				
	0+720.000	1,194.83	1,194.30				
	0+740.000	1,194.81	1,194.28				
	0+760.000	1,194.79	1,194.26				
	0+780.000	1,194.77	1,194.24				
	0+800.000	1,194.76	1,194.23				
	0+820.000	1,194.74	1,194.21				
	0+840.000	1,194.72	1,194.19				
	0+860.000	1,194.70	1,194.17				
	0+880.000	1,194.68	1,194.15				
	0+900.000	1,194.67	1,194.14				
PCV=	0+910.000	1,194.66	1,194.13				
	0+920.000	1,194.65	1,194.12				
	0+940.000	1,194.61	1,194.08				
	0+960.000	1,194.56	1,194.03				
	0+980.000	1,194.49	1,193.96				
	1+000.000	1,194.41	1,193.88	PIV=	1+020.00	P=	-0.090

	1+020.000	1,194.31	1,193.78	Elev=	1,194.56	Q=	-1.000
	1+040.000	1,194.19	1,193.66	P=	-1.000	M=	220.00
	1+060.000	1,194.06	1,193.53				
	1+080.000	1,193.91	1,193.38				
	1+100.000	1,193.74	1,193.21				
	1+120.000	1,193.56	1,193.03				
PTV=	1+130.000	1,193.46	1,192.93				
	1+140.000	1,193.36	1,192.83				
	1+160.000	1,193.16	1,192.63				
	1+180.000	1,192.96	1,192.43				
	1+200.000	1,192.76	1,192.23				
	1+220.000	1,192.56	1,192.03				
	1+240.000	1,192.36	1,191.83				
	1+260.000	1,192.16	1,191.63				
	1+280.000	1,191.96	1,191.43				
	1+300.000	1,191.76	1,191.23				
	1+320.000	1,191.56	1,191.03				
	1+340.000	1,191.36	1,190.83				
	1+360.000	1,191.16	1,190.63				
	1+380.000	1,190.96	1,190.43				
	1+400.000	1,190.76	1,190.23				
	1+420.000	1,190.56	1,190.03				
	1+440.000	1,190.36	1,189.83				
	1+460.000	1,190.16	1,189.63				
	1+480.000	1,189.96	1,189.43				
	1+500.000	1,189.76	1,189.23				
	1+520.000	1,189.56	1,189.03				
	1+540.000	1,189.36	1,188.83				
	1+560.000	1,189.16	1,188.63				
	1+580.000	1,188.96	1,188.43				
	1+600.000	1,188.76	1,188.23				
	1+620.000	1,188.56	1,188.03				
	1+640.000	1,188.36	1,187.83				
	1+660.000	1,188.16	1,187.63				
	1+680.000	1,187.96	1,187.43				
	1+700.000	1,187.76	1,187.23				
	1+720.000	1,187.56	1,187.03				
	1+740.000	1,187.36	1,186.83				
	1+760.000	1,187.16	1,186.63				
	1+780.000	1,186.96	1,186.43				
	1+800.000	1,186.76	1,186.23				
	1+820.000	1,186.56	1,186.03				
	1+840.000	1,186.36	1,185.83				
	1+860.000	1,186.16	1,185.63				
	1+880.000	1,185.96	1,185.43				
	1+900.000	1,185.76	1,185.23				
	1+920.000	1,185.56	1,185.03				

	1+940.000	1,185.36	1,184.83				
	1+960.000	1,185.16	1,184.63				
	1+980.000	1,184.96	1,184.43				
	2+000.000	1,184.76	1,184.23				

Fig. 5.- Ejemplo de datos ya procesados, calculo de sub-rasante del proyecto definitivo (dos kilómetros)

Las secciones de construcción (Fig. 6) se proyectaron tomando en cuenta, las Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte. No sin antes realizar los estudios geotécnicos correspondientes, la estratigrafía del sub-suelo y las condiciones que presenta el lugar, fueron determinadas por medio de una inspección de tipo visual y manual, de Los distintos materiales encontrados en base a 20 exploraciones repartidas en el área y realizadas a una profundidad máxima de 3.00 m a base de pozos a cielo abierto, se determinó el espesor de despalme en corte y terraplén (30 cm), la topografía general se considera como lomerío suave.

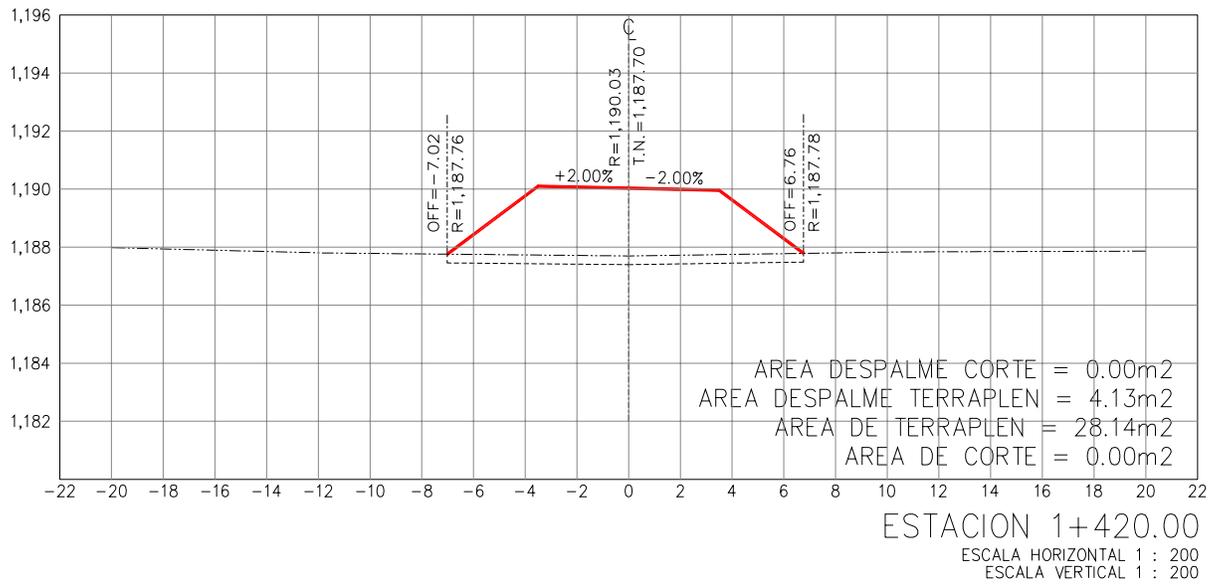
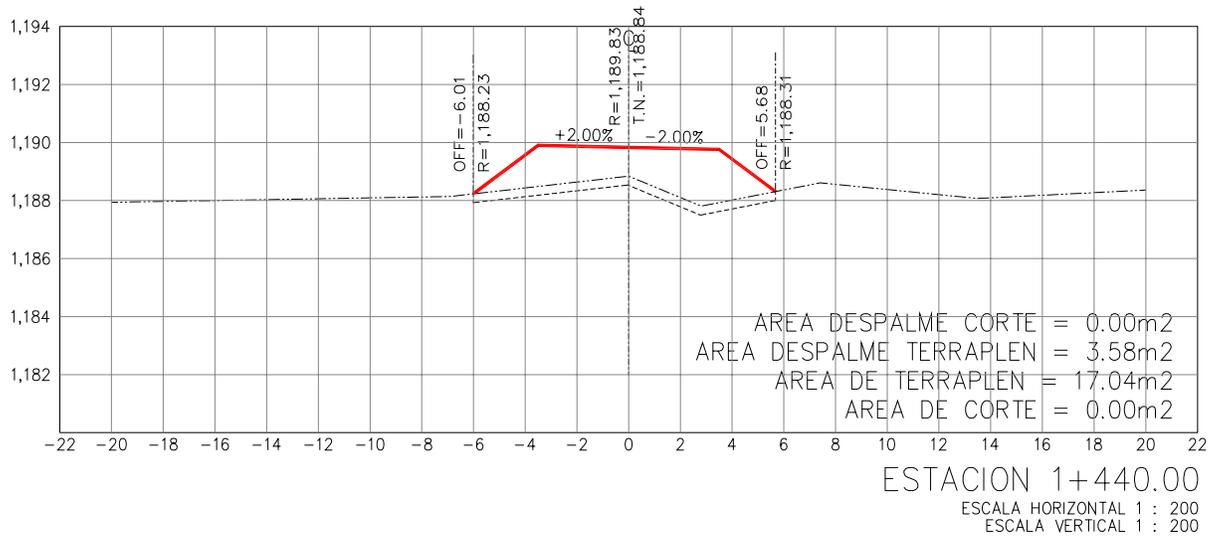


Fig. 6.- Secciones transversales de construcción en Terraplén

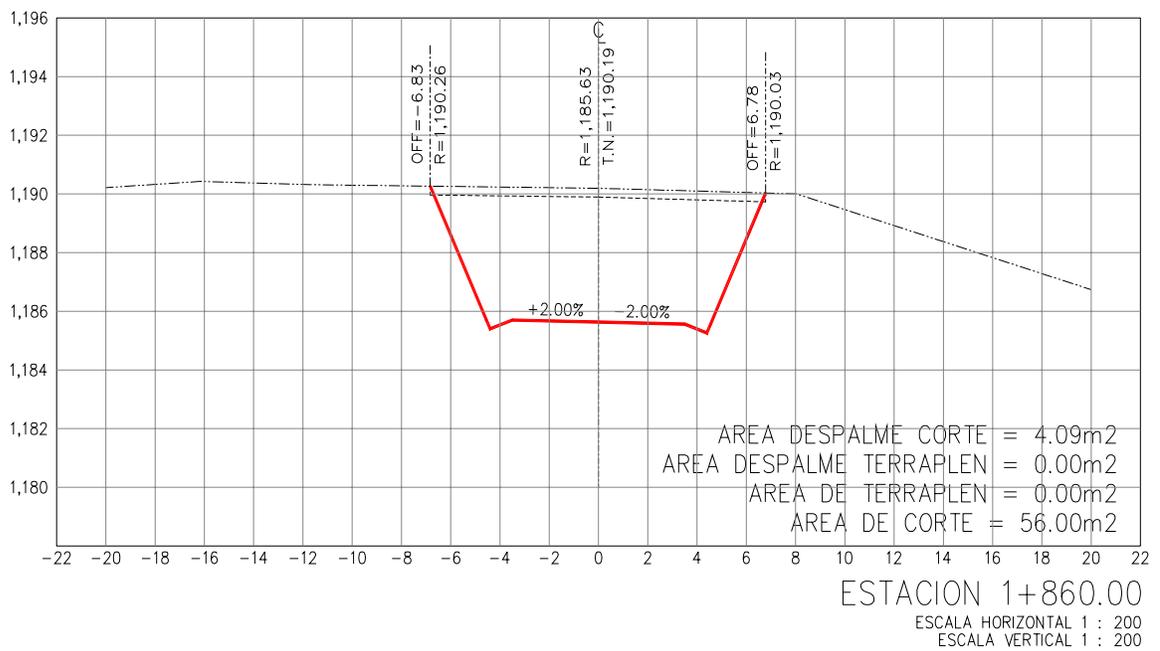
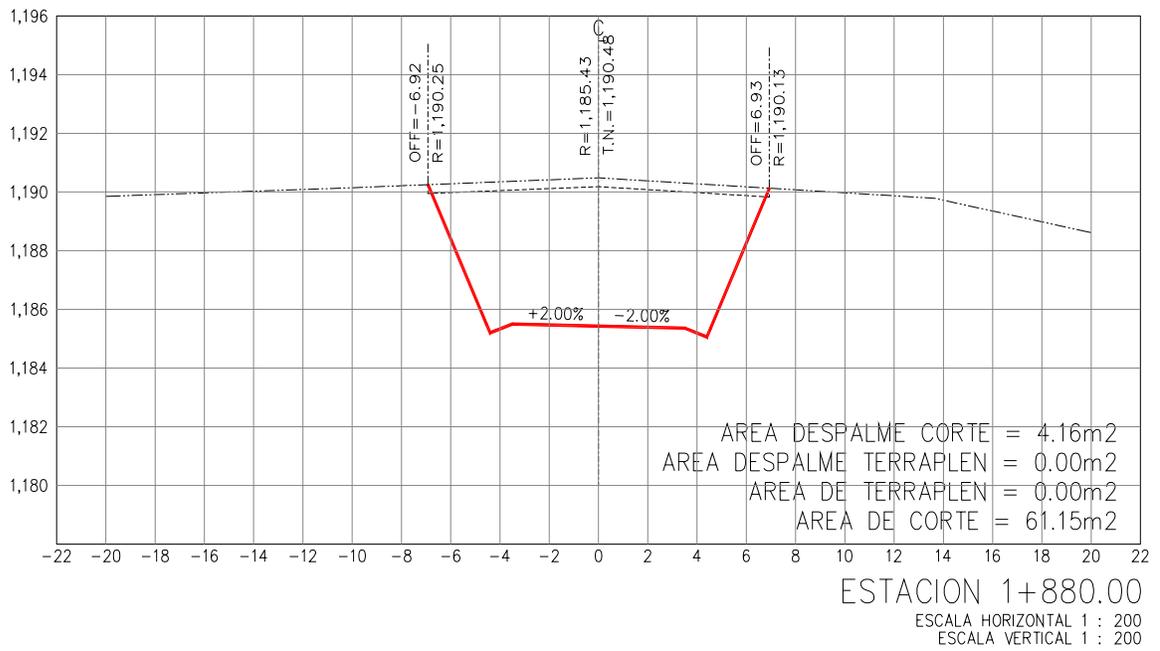


Fig. 6.- Secciones transversales de construcción en Corte
 MOVIMIENTOS DE TIERRA (VOLUMENES)

ESTACION	AREAS (M ²)		DISTANCIA	VOLUMENES (M ³)		ORDENADA CURVA MASA
	CORTE	TERRAPLEN		CORTE	TERRAPLEN	
0+107.19	1.20	-9.69	0.00	0.00	0.001	000,000.00
0+120.00	0.94	-85.27	12.80	13.73	-607.73	999,406.00
0+140.00	0.00	-15.74	20.00	9.42	-1,010.09	998,405.33
0+160.00	0.00	-22.79	20.00	0.00	-385.29	998,020.03
0+180.00	0.00	-21.03	20.00	0.00	-438.19	997,581.84
0+200.00	0.00	-17.55	20.00	0.00	-385.74	997,196.11
0+220.00	0.00	-13.00	20.00	0.00	-305.47	996,890.63
0+240.00	0.00	-12.10	20.00	0.00	-251.02	996,639.61
0+260.00	0.00	-6.82	20.00	0.00	-189.18	996,450.43
0+280.00	3.78	-2.30	20.00	37.85	-91.13	996,397.15
0+300.00	8.78	0.00	20.00	125.70	-22.96	996,499.89
0+320.00	13.04	0.00	20.00	218.21	0.00	996,718.10
0+340.00	17.66	0.00	20.00	306.94	0.00	997,025.04
0+360.00	22.20	0.00	20.00	398.54	0.00	997,423.58
0+380.00	30.03	0.00	20.00	522.27	0.00	997,945.85
0+400.00	117.54	0.00	20.00	1,475.76	0.00	999,421.61
0+420.00	32.97	0.00	20.00	1,505.12	0.001	000,926.72
0+440.00	38.36	0.00	20.00	713.27	0.001	001,639.99
0+460.00	37.62	0.00	20.00	759.84	0.001	002,399.83
0+480.00	32.28	0.00	20.00	699.06	0.001	003,098.90
0+500.00	25.85	0.00	20.00	581.33	0.001	003,680.22
0+520.00	25.15	0.00	20.00	510.01	0.001	004,190.24
0+540.00	16.04	0.00	20.00	411.92	0.001	004,602.15
0+560.00	15.59	0.00	20.00	316.31	0.001	004,918.46
0+580.00	14.40	0.00	20.00	299.91	0.001	005,218.37
0+600.00	14.98	0.00	20.00	293.85	0.001	005,512.23
0+620.00	16.83	0.00	20.00	318.13	0.001	005,830.36
0+640.00	14.39	0.00	20.00	312.13	0.001	006,142.49
0+660.00	15.36	0.00	20.00	297.43	0.001	006,439.92
0+680.00	17.27	0.00	20.00	326.31	0.001	006,766.23
0+700.00	20.85	0.00	20.00	381.25	0.001	007,147.48
0+720.00	20.90	0.00	20.00	417.55	0.001	007,565.04
0+740.00	22.34	0.00	20.00	432.41	0.001	007,997.44
0+760.00	24.54	0.00	20.00	468.78	0.001	008,466.22
0+780.00	22.93	0.00	20.00	474.71	0.001	008,940.93
0+800.00	28.13	0.00	20.00	510.62	0.001	009,451.55
0+820.00	32.26	0.00	20.00	603.92	0.001	010,055.47
0+840.00	24.35	0.00	20.00	566.13	0.001	010,621.60
0+860.00	23.71	0.00	20.00	480.67	0.001	011,102.27
0+880.00	17.16	0.00	20.00	408.70	0.001	011,510.97
0+900.00	21.03	0.00	20.00	381.84	0.001	011,892.81
0+920.00	11.08	0.00	20.00	321.06	0.001	012,213.87
0+940.00	8.09	0.00	20.00	191.67	0.001	012,405.53
0+960.00	0.00	-3.09	20.00	80.88	-30.871	012,455.54
0+980.00	0.00	-5.43	20.00	0.00	-85.151	012,370.39
0+000.00	0.00	-5.09	20.00	0.00	-105.201	012,265.19
1+020.00	0.47	-4.06	20.00	4.73	-91.491	012,178.43
1+040.00	0.00	-11.77	20.00	4.73	-158.231	012,024.94
1+060.00	0.00	-6.66	20.00	0.00	-184.281	011,840.65
1+080.00	0.00	-14.47	20.00	0.00	-211.331	011,629.33

MOVIMIENTOS DE TIERRA (VOLUMENES)

=====

ESTACION	AREAS (M ²)		DISTANCIA	VOLUMENES (M ³)		ORDENADA CURVA MASA
	CORTE	TERRAPLEN		CORTE	TERRAPLEN	
1+100.00	0.00	-20.45	20.00	0.00	-349.251	011,280.07
1+120.00	0.00	-13.07	20.00	0.00	-335.231	010,944.85
1+140.00	0.00	-16.09	20.00	0.00	-291.541	010,653.31
1+160.00	0.00	-15.57	20.00	0.00	-316.571	010,336.74
1+180.00	0.00	-20.04	20.00	0.00	-356.131	009,980.61
1+200.00	0.00	-18.02	20.00	0.00	-380.601	009,600.01
1+220.00	0.00	-17.55	20.00	0.00	-355.641	009,244.37
1+240.00	0.00	-16.29	20.00	0.00	-338.381	008,905.99
1+260.00	0.00	-17.88	20.00	0.00	-341.761	008,564.23
1+280.00	0.00	-19.40	20.00	0.00	-372.881	008,191.36
1+300.00	0.00	-24.44	20.00	0.00	-438.421	007,752.94
1+320.00	0.00	-22.67	20.00	0.00	-471.051	007,281.89
1+340.00	0.00	-37.58	20.00	0.00	-602.451	006,679.44
1+360.00	0.00	-37.31	20.00	0.00	-748.891	005,930.55
1+380.00	0.00	-33.55	20.00	0.00	-708.601	005,221.96
1+400.00	0.00	-30.05	20.00	0.00	-635.991	004,585.96
1+420.00	0.00	-28.14	20.00	0.00	-581.901	004,004.06
1+440.00	0.00	-17.04	20.00	0.00	-451.841	003,552.22
1+460.00	0.00	-11.34	20.00	0.00	-283.811	003,268.41
1+480.00	0.00	-5.17	20.00	0.00	-165.031	003,103.37
1+500.00	0.00	-3.79	20.00	0.00	-89.571	003,013.81
1+520.00	5.71	0.00	20.00	57.09	-37.901	003,032.99
1+540.00	7.87	0.00	20.00	135.75	0.001	003,168.74
1+560.00	10.00	0.00	20.00	178.69	0.001	003,347.43
1+580.00	13.41	0.00	20.00	234.12	0.001	003,581.56
1+600.00	19.53	0.00	20.00	329.42	0.001	003,910.97
1+620.00	24.40	0.00	20.00	439.29	0.001	004,350.26
1+640.00	28.13	0.00	20.00	525.25	0.001	004,875.51
1+660.00	34.94	0.00	20.00	630.66	0.001	005,506.17
1+680.00	36.04	0.00	20.00	709.82	0.001	006,215.99
1+700.00	37.46	0.00	20.00	735.04	0.001	006,951.03
1+720.00	28.56	0.00	20.00	660.22	0.001	007,611.25
1+740.00	0.00	-4.43	20.00	285.62	-44.261	007,852.61
1+760.00	0.00	-8.71	20.00	0.00	-131.371	007,721.25
1+780.00	0.00	-26.74	20.00	0.00	-354.521	007,366.73
1+800.00	0.00	-18.00	20.00	0.00	-447.421	006,919.31
1+820.00	0.00	-7.17	20.00	0.00	-251.721	006,667.59
1+840.00	44.65	0.00	20.00	446.50	-71.721	007,042.36
1+860.00	56.00	0.00	20.00	1,006.48	0.001	008,048.84
1+880.00	61.15	0.00	20.00	1,171.46	0.001	009,220.30
1+900.00	57.44	0.00	20.00	1,185.85	0.001	010,406.15
1+920.00	55.51	0.00	20.00	1,129.52	0.001	011,535.67
1+940.00	56.79	0.00	20.00	1,123.06	0.001	012,658.73
1+960.00	36.72	0.00	20.00	935.12	0.001	013,593.84
1+980.00	7.68	0.00	20.00	443.97	0.001	014,037.81
2+000.00	5.18	0.00	20.00	128.58	0.001	014,166.39

TOTAL VOLUMEN CORTE = 28,674.19 m³

TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -14,507.80 m³

COEF. ABUNDAMIENTO EN CORTE: 1.00

MOVIMIENTOS DE TIERRA (ESPESORES)

=====

ESTACION	ELEVACIONES		ESPESORES	
	TERRENO	SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN
0+107.19	1,194.40	1,194.85	----	0.45
0+120.00	1,194.13	1,194.84	----	0.71
0+140.00	1,193.31	1,194.82	----	1.51
0+160.00	1,192.79	1,194.80	----	2.01
0+180.00	1,192.98	1,194.78	----	1.80
0+200.00	1,193.24	1,194.76	----	1.53
0+220.00	1,193.62	1,194.75	----	1.13
0+240.00	1,193.65	1,194.73	----	1.08
0+260.00	1,194.15	1,194.71	----	0.56
0+280.00	1,194.63	1,194.69	----	0.06
0+300.00	1,195.37	1,194.68	0.69	----
0+320.00	1,195.94	1,194.66	1.28	----
0+340.00	1,196.10	1,194.64	1.46	----
0+360.00	1,196.33	1,194.62	1.71	----
0+380.00	1,197.93	1,194.60	3.33	----
0+400.00	1,197.09	1,194.59	2.51	----
0+420.00	1,197.31	1,194.57	2.74	----
0+440.00	1,198.19	1,194.55	3.64	----
0+460.00	1,197.62	1,194.53	3.09	----
0+480.00	1,197.23	1,194.51	2.72	----
0+500.00	1,196.66	1,194.50	2.17	----
0+520.00	1,196.07	1,194.48	1.59	----
0+540.00	1,195.78	1,194.46	1.32	----
0+560.00	1,195.54	1,194.44	1.10	----
0+580.00	1,195.66	1,194.42	1.24	----
0+600.00	1,195.74	1,194.41	1.33	----
0+620.00	1,195.82	1,194.39	1.43	----
0+640.00	1,195.33	1,194.37	0.95	----
0+660.00	1,195.55	1,194.35	1.20	----
0+680.00	1,195.73	1,194.34	1.39	----
0+700.00	1,196.25	1,194.32	1.94	----
0+720.00	1,196.05	1,194.30	1.75	----
0+740.00	1,196.07	1,194.28	1.79	----
0+760.00	1,196.30	1,194.26	2.04	----
0+780.00	1,196.15	1,194.25	1.90	----
0+800.00	1,196.47	1,194.23	2.24	----
0+820.00	1,197.91	1,194.21	3.70	----
0+840.00	1,196.23	1,194.19	2.03	----
0+860.00	1,196.19	1,194.17	2.02	----
0+880.00	1,195.50	1,194.16	1.35	----
0+900.00	1,195.49	1,194.14	1.35	----
0+920.00	1,194.94	1,194.12	0.82	----
0+940.00	1,194.31	1,194.08	0.22	----
0+960.00	1,193.95	1,194.03	----	0.09
0+980.00	1,193.57	1,193.97	----	0.39
0+000.00	1,193.51	1,193.88	----	0.37
1+020.00	1,193.88	1,193.78	0.10	----
1+040.00	1,192.51	1,193.66	----	1.16
1+060.00	1,193.30	1,193.53	----	0.23
1+080.00	1,192.05	1,193.38	----	1.32

MOVIMIENTOS DE TIERRA (ESPESORES)

ESTACION	ELEVACIONES	ESPESORES
----------	-------------	-----------

	TERRENO	SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN
1+100.00	1,191.44	1,193.21	----	1.77
1+120.00	1,192.23	1,193.03	----	0.80
1+140.00	1,191.48	1,192.83	----	1.35
1+160.00	1,191.18	1,192.63	----	1.45
1+180.00	1,190.69	1,192.43	----	1.74
1+200.00	1,190.66	1,192.23	----	1.58
1+220.00	1,190.41	1,192.03	----	1.63
1+240.00	1,190.42	1,191.83	----	1.41
1+260.00	1,190.02	1,191.63	----	1.61
1+280.00	1,189.73	1,191.43	----	1.70
1+300.00	1,189.15	1,191.23	----	2.09
1+320.00	1,189.65	1,191.03	----	1.38
1+340.00	1,187.93	1,190.83	----	2.90
1+360.00	1,187.79	1,190.63	----	2.84
1+380.00	1,187.78	1,190.43	----	2.65
1+400.00	1,187.79	1,190.23	----	2.44
1+420.00	1,187.70	1,190.03	----	2.34
1+440.00	1,188.84	1,189.83	----	0.99
1+460.00	1,188.57	1,189.63	----	1.06
1+480.00	1,189.03	1,189.43	----	0.40
1+500.00	1,189.03	1,189.23	----	0.21
1+520.00	1,189.34	1,189.03	0.31	----
1+540.00	1,189.34	1,188.83	0.51	----
1+560.00	1,189.32	1,188.63	0.69	----
1+580.00	1,189.49	1,188.43	1.06	----
1+600.00	1,189.88	1,188.23	1.65	----
1+620.00	1,190.09	1,188.03	2.05	----
1+640.00	1,190.15	1,187.83	2.32	----
1+660.00	1,190.57	1,187.63	2.94	----
1+680.00	1,190.47	1,187.43	3.04	----
1+700.00	1,190.38	1,187.23	3.14	----
1+720.00	1,188.46	1,187.03	1.43	----
1+740.00	1,186.54	1,186.83	----	0.29
1+760.00	1,186.26	1,186.63	----	0.37
1+780.00	1,184.17	1,186.43	----	2.26
1+800.00	1,184.66	1,186.23	----	1.57
1+820.00	1,185.55	1,186.03	----	0.48
1+840.00	1,189.78	1,185.83	3.95	----
1+860.00	1,190.19	1,185.63	4.56	----
1+880.00	1,190.48	1,185.43	5.05	----
1+900.00	1,190.02	1,185.23	4.79	----
1+920.00	1,189.87	1,185.03	4.83	----
1+940.00	1,189.64	1,184.83	4.81	----
1+960.00	1,188.13	1,184.63	3.50	----
1+980.00	1,184.92	1,184.43	0.49	----
2+000.00	1,184.45	1,184.23	0.22	----

MOVIMIENTOS DE TIERRA (DESPALMES)

ESTACION	DESPALME (M ²)	DISTANCIA	DESPALME (M ³)
----------	----------------------------	-----------	----------------------------

	CORTE	TERRAPLEN		CORTE	TERRAPLEN
0+107.19	-0.54	-2.91	0.00	0.00	0.00
0+120.00	-0.45	-76.72	12.80	-6.35	-509.64
0+140.00	0.00	-3.16	20.00	-4.53	-798.87
0+160.00	0.00	-3.66	20.00	0.00	-68.24
0+180.00	0.00	-3.76	20.00	0.00	-74.18
0+200.00	0.00	-3.46	20.00	0.00	-72.17
0+220.00	0.00	-3.14	20.00	0.00	-65.99
0+240.00	0.00	-3.00	20.00	0.00	-61.36
0+260.00	0.00	-2.54	20.00	0.00	-55.43
0+280.00	-1.43	-1.37	20.00	-14.35	-39.14
0+300.00	-2.86	0.00	20.00	-42.91	-13.69
0+320.00	-3.00	0.00	20.00	-58.51	0.00
0+340.00	-3.15	0.00	20.00	-61.46	0.00
0+360.00	-3.33	0.00	20.00	-64.85	0.00
0+380.00	-3.48	0.00	20.00	-68.11	0.00
0+400.00	-89.82	0.00	20.00	-933.02	0.00
0+420.00	-3.55	0.00	20.00	-933.73	0.00
0+440.00	-3.63	0.00	20.00	-71.82	0.00
0+460.00	-3.67	0.00	20.00	-73.03	0.00
0+480.00	-3.55	0.00	20.00	-72.16	0.00
0+500.00	-3.39	0.00	20.00	-69.32	0.00
0+520.00	-3.65	0.00	20.00	-70.35	0.00
0+540.00	-3.08	0.00	20.00	-67.29	0.00
0+560.00	-3.13	0.00	20.00	-62.12	0.00
0+580.00	-3.05	0.00	20.00	-61.87	0.00
0+600.00	-3.05	0.00	20.00	-61.08	0.00
0+620.00	-3.16	0.00	20.00	-62.18	0.00
0+640.00	-3.18	0.00	20.00	-63.45	0.00
0+660.00	-3.10	0.00	20.00	-62.78	0.00
0+680.00	-3.16	0.00	20.00	-62.52	0.00
0+700.00	-3.23	0.00	20.00	-63.89	0.00
0+720.00	-3.25	0.00	20.00	-64.81	0.00
0+740.00	-3.31	0.00	20.00	-65.55	0.00
0+760.00	-3.40	0.00	20.00	-67.12	0.00
0+780.00	-3.31	0.00	20.00	-67.14	0.00
0+800.00	-3.47	0.00	20.00	-67.79	0.00
0+820.00	-3.59	0.00	20.00	-70.62	0.00
0+840.00	-3.35	0.00	20.00	-69.41	0.00
0+860.00	-3.32	0.00	20.00	-66.69	0.00
0+880.00	-3.18	0.00	20.00	-65.07	0.00
0+900.00	-3.36	0.00	20.00	-65.43	0.00
0+920.00	-2.97	0.00	20.00	-63.32	0.00
0+940.00	-2.97	0.00	20.00	-59.40	0.00
0+960.00	0.00	-2.23	20.00	-29.66	-22.35
0+980.00	0.00	-2.45	20.00	0.00	-46.87
0+000.00	0.00	-2.43	20.00	0.00	-48.80
1+020.00	-0.41	-2.13	20.00	-4.06	-45.61
1+040.00	0.00	-2.93	20.00	-4.06	-50.63
1+060.00	0.00	-2.78	20.00	0.00	-57.09
1+080.00	0.00	-3.19	20.00	0.00	-59.70

MOVIMIENTOS DE TIERRA (DESPALMES)

ESTACION	DESPALME (M ²)	DISTANCIA	DESPALME (M ³)
----------	----------------------------	-----------	----------------------------

	CORTE	TERRAPLEN		CORTE	TERRAPLEN
1+100.00	0.00	-3.65	20.00	0.00	-68.38
1+120.00	0.00	-3.37	20.00	0.00	-70.12
1+140.00	0.00	-3.40	20.00	0.00	-67.62
1+160.00	0.00	-3.19	20.00	0.00	-65.92
1+180.00	0.00	-3.62	20.00	0.00	-68.13
1+200.00	0.00	-3.48	20.00	0.00	-71.02
1+220.00	0.00	-3.38	20.00	0.00	-68.69
1+240.00	0.00	-3.40	20.00	0.00	-67.86
1+260.00	0.00	-3.39	20.00	0.00	-67.94
1+280.00	0.00	-3.54	20.00	0.00	-69.28
1+300.00	0.00	-3.98	20.00	0.00	-75.17
1+320.00	0.00	-4.12	20.00	0.00	-80.99
1+340.00	0.00	-4.69	20.00	0.00	-88.11
1+360.00	0.00	-4.72	20.00	0.00	-94.15
1+380.00	0.00	-4.48	20.00	0.00	-92.06
1+400.00	0.00	-4.26	20.00	0.00	-87.47
1+420.00	0.00	-4.13	20.00	0.00	-83.97
1+440.00	0.00	-3.58	20.00	0.00	-77.18
1+460.00	0.00	-2.87	20.00	0.00	-64.51
1+480.00	0.00	-2.40	20.00	0.00	-52.69
1+500.00	0.00	-2.28	20.00	0.00	-46.86
1+520.00	-2.80	0.00	20.00	-28.04	-22.84
1+540.00	-2.88	0.00	20.00	-56.82	0.00
1+560.00	-2.95	0.00	20.00	-58.28	0.00
1+580.00	-3.04	0.00	20.00	-59.89	0.00
1+600.00	-3.20	0.00	20.00	-62.42	0.00
1+620.00	-3.34	0.00	20.00	-65.47	0.00
1+640.00	-3.46	0.00	20.00	-67.99	0.00
1+660.00	-3.61	0.00	20.00	-70.65	0.00
1+680.00	-3.63	0.00	20.00	-72.41	0.00
1+700.00	-3.67	0.00	20.00	-73.05	0.00
1+720.00	-3.48	0.00	20.00	-71.52	0.00
1+740.00	0.00	-2.34	20.00	-34.79	-23.43
1+760.00	0.00	-3.08	20.00	0.00	-54.19
1+780.00	0.00	-3.96	20.00	0.00	-70.35
1+800.00	0.00	-3.41	20.00	0.00	-73.73
1+820.00	0.00	-2.71	20.00	0.00	-61.19
1+840.00	-3.77	0.00	20.00	-37.73	-27.06
1+860.00	-4.09	0.00	20.00	-78.59	0.00
1+880.00	-4.16	0.00	20.00	-82.47	0.00
1+900.00	-4.08	0.00	20.00	-82.45	0.00
1+920.00	-4.01	0.00	20.00	-80.91	0.00
1+940.00	-4.05	0.00	20.00	-80.61	0.00
1+960.00	-3.57	0.00	20.00	-76.22	0.00
1+980.00	-2.87	0.00	20.00	-64.42	0.00
2+000.00	-2.80	0.00	20.00	-56.76	0.00

TOTAL VOLUMEN CORTE CAJON = 0.00 m³
TOTAL VOLUMEN DESPALME EN TERRAPLEN = -3,950.68 m³
TOTAL VOLUMEN DESPALME EN CORTE = -5,303.31 m³

PLANTA, PERFIL Y CURVA MASA

PLANOS EN AUTO CAD 2000

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE TERRACERIAS EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE TERRACERIAS EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE OBRAS DE DRENAJE EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE VIA EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE VIA EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

CATÁLOGO DE CONCEPTOS

PRESUPUESTO DE VIA EN EXCEL

ARCHIVO ANEXO

En la elaboración de los catálogos de conceptos se tomaron en cuenta los costos de los materiales, renta de equipo y mano de obra que prevalecen en la región; la longitud de vías corresponde a la alternativa No. 6 (Fig. 7), de donde el costo total de la obra denominada “**Acceso de Ferrocarril a la Planta Electrolux**” sería el siguiente:

Trabajos de terracerías.....	\$ 24'210,598.03
Estructuras y obras de drenaje.....	\$ 1'547,924.00
Armado y tendido de vía.....	\$ 7'247,337.98
Adquisición materiales de vía.....	\$ 19'042,367.68
Obras de protección (instalación de terceros)....	\$ 4'932,700.00
TOTAL DEL PRESUPUESTO.....	\$ 56'980,927.69

LONGITUD DE VIAS		
VIA	TRAMO	LONGITUD
LADERO	PST= A 1943+493.211 AT PC= 0+003.507 AD — PT= 0+582.600 AT PST= A 1944+071.920 AD	579.093 m
BRAZO "Y"	PST= A 1943+968.466 PC= 0+478.905 — PT= 0+794.779 AT PST= 0+423.528 AD	315.874 m
PRINCIPAL	PST= A 1943+596.702 PT= 5+012.213 AT PC= 0+107.200 PST= 2+525.734 AD PSC= 8+360.000	10,739.279 m
ESPUELA (2)	PSC= 8+360.000 — PI= 8+780.464	420.464 m
NAVE 1	PC= 8+438.560 — PI= 8+869.954	431.394 m
NAVE 2	PC= 8+626.842 — PI= 8+780.716	153.874 m
TOTAL		12,639.978 m

Fig. 7.- Desglose de la longitud de las vías

CONCLUSIONES



FERROCARRILES

CONCLUSIONES

El desarrollo de la cadena de producción y movimiento de mercancías, se ha orientado hacia la integración del transporte, del almacenamiento y de la distribución por medio de los servicios multimodales. En este proceso los ferrocarriles mantienen una importancia estratégica, por su vasta capacidad de carga y bajo costo relativo, en especial para el traslado masivo de bienes en largas distancias, las estadísticas de transporte en materia ferroviaria, permiten observar que en los últimos años, la demanda ha crecido en forma consistente y que el ferrocarril ha contribuido a mejorar la competencia de los productos transportados por este medio. Prueba de ello es que, los productos mexicanos que se exportan hacia los EUA y Canadá, aunque están sujetos a un entorno altamente competitivo, utilizan el ferrocarril como medio de transporte preferencial.

Del trabajo desarrollado se concluye lo siguiente:

1.- La importancia que tiene el transporte ferroviario en México, para competir favorablemente en el esquema económico mundial, dado el gran interés que tiene nuestro país por integrarse a cualquiera de los cuatro grandes HUBS.

2.- La necesidad de actualizar los elementos de sujeción y fijación en las vías principales de la Red Ferroviaria Nacional, para convertirlas en Vías Férreas Modernas.

3.- La urgente necesidad de aumentar la credibilidad de este sistema de transporte.

4.- La terminación de los proyectos faltantes para mejorar el transporte de mercancías y solucionar los cuellos de botella existentes en la frontera Norte.

5.- Así como la urgencia latente, de la intervención del ferrocarril a corto plazo en el transporte suburbano de pasajeros, sobre todo en las grandes ciudades. Uno de los mayores problemas ambientales con los que la humanidad se está enfrentando, es el cambio climático y el calentamiento global y sus terribles secuelas económicas, ambientales y sociales, que padecemos todos. Este fenómeno tiene en la quema de combustibles fósiles y en la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono, entre otros, a sus principales responsables, por lo que la explosión automotriz está agravando el proceso de deterioro global de las condiciones del ambiente.

Según datos de la agencia Europea de Medio Ambiente, se establece que desplazar una persona un kilómetro en coche, supone unas emisiones de 120 gramos de CO₂ el principal causante del calentamiento global, si el desplazamiento se realiza en ferrocarril estas emisiones se reducen hasta cinco veces.

BIBLIOGRAFÍA

- Normas y especificaciones.....Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- Conservación de Vía.....S. C. T.
- Especificaciones para durmiente de concreto.....S. C. T.
- Manual de Calidad para Materiales...Instituto Mexicano del Transporte
- Ferrocarriles.....Ing. Francisco M. Togno
- Vías de Comunicación.....Ing. Carlos Crespo villalaz
- Ingeniería de Ferrocarriles.....William W. Hay
- Manual del Ingeniero Civil.....Frederick s. Merrit
- A.R.E.A.....AmericanRailway Engineering Association
- AREMAManual For Railway Engineering
- MulticalzadorasElectrónicas.....Ferroconstrucciones Nacionales
- Tecnologías de Tendido de Vías.....Harsco Track Construction
- North Americas Great Railroad.....Thomas York
- Reguladoras de Balasto.....Matisa Material Industrial S.A.
- Soldadura aluminotérmica.....Railtech International
- Soldadura Eléctrica.....Máquinas Schlatter
- Fijaciones para vía Elástica.....Pandrol Limited
- Pórticos Hidráulicos.....Maquivias, S. A.
- Los Ferrocarriles de México.....F. N. de M.
- Reglamento de conservación de vías.....F. N. de M.
- Series Estadísticas.....F. N. de M.
- Red Ferroviaria Noreste.....T. F. M.
- Red Ferroviaria Pacífico Norte.....Ferromex
- Red Ferroviaria Sureste.....Ferrofur
- Desarrollo del Durmiente de Concreto.....ITISA

