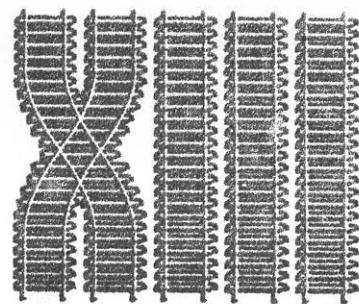


INTI-CID
1256
Y

CPF- 53 - B
Original: Español



Congreso
Panamericano
de Ferrocarriles
Caracas - Venezuela
13/22 de noviembre 1975

LA TRACCION DE LOS FERROCARRILES
EN EL CONTEXTO DE LA
CRISIS ENERGETICA

Ing. Livio Dante Porta
ARGENTINA

INTI-CID
1256
Y

Prefacio

El presente trabajo se refiere a una ingeniería avanzada de tracción a vapor que mira hacia el futuro. Esto puede sonar a una suerte de alquimia modernizada porque insiste en la locomotora alternativa de forma stephensoniana. Sin embargo, como se repite más adelante, no todas las cosas nuevas son buenas porque son nuevas, ni todas las viejas son malas porque son viejas. El redescubrimiento del viejo ferrocarril y del viejo tranvía como un medio útil de transporte aun para comunidades cuya vida se ha basado en el autotransporte, es un ejemplo brillante.

Se presume aquí un profundo conocimiento de la tecnología del vapor: se ha escrito para especialistas. También se supone que el lector está familiarizado con la obra de Chapelón, el hombre que logró un salto hacia adelante en el arte y cuyas locomotoras stephensonianas sobrevivieron a los numerosos intentos de reemplazarlas por máquinas especiales con turbinas, caldera y ciclo Loeffler y La Mont, a doble presión Henschel Schmidt, turboeléctrica con condensación, etc.

Se reiterará que la crisis energética-petrolera trasladará las tareas de transporte hacia los ferrocarriles y que el carbón emergerá como el nuevo joven gigante: una nueva generación de ingenieros ferroviarios se abalanzará sobre los viejos papeles para aprender que es lo que había de útil allí. A ellos se dedica este mensaje.

88008

la. parte.

El impacto de la crisis energética en la tracción

Livio Dante Porta
Argentina

30 1088

Resumen

La escasez mundial de energía, acentuada por la escasez de petróleo, producirá dificultades en la tracción diesel. Las locomotoras de vapor, que pueden no consumir petróleo, serán ciertamente buscadas como una alternativa, no solamente en términos de urgencia como ya ocurre, sino porque ofrecen posibilidades interesantes y relativamente olvidadas por un "management" que no está muy al corriente en la especialidad.

Volver a poner en servicio las máquinas aún existentes no puede ser sino una medida de corto alcance dadas las nuevas condiciones del tráfico y la falta del "buen" (viejo) carbón de vapor. La respuesta está en: 1º) mejorar las locomotoras existentes con pequeñas pero significativas mejoras conforme a la experiencia hecha en la Argentina e incorporando también el sistema de combustión a la gasógena, que permite una mejor performance con un carbón de "segunda clase", no coquizante y de pequeño grano; y 2º) nuevas máquinas construidas conforme a los principios de Chapelón pero que incorporen ese sistema de combustión así como todos los desarrollos llevados a cabo en silencio desde el año 40 en adelante. Los diseños de Chapelón deberían ser revisados para mejorar su accesibilidad, facilitando la construcción, con menor demanda en la calidad de los materiales, etc., considerando que la rica tradición francesa y su artesanía son ya difíciles de encontrar.

La leña debe ser seriamente considerada como "nuevo" combustible, dado que es una fuente renovable de energía pero, sin embargo, esto deberá ser pensado en términos de combustión mecanizada para lo cual también el sistema de combustión a la gasógena se presta bien. La electrificación puede ser tomada como una alternativa válida, que sin embargo será difícil de justificar en términos de las fuertes inversiones que se requerirán en la mayor parte de los ferrocarriles del mundo, no sin mencionar la escasez de cobre que se avecina y que, como la del petróleo, impone una pesada carga a las diferentes comunidades en términos de esfuerzos políticos y financieros, para no hablar del costo de la incertidumbre sobre la continuidad del suministro.

Sin embargo, el vapor no deberá caer en la trampa del pasado y descrita como "la ingeniería de lo suficientemente bueno": un progreso y desarrollo importante configura un rico campo de trabajo por delante, lo que es un desafío a los técnicos.

El vapor de segunda generación no es una vuelta al pasado sino un progreso para el futuro.

El mundo cambia:

-- La escasez de energía a costo creciente tenderá a hacer que los rendimientos térmicos sean más agudamente importantes y detendrán el derroche, particularmente en EEUU.

-- La carencia de petróleo incrementará la importancia del transporte ferroviario, hará del carbón una fuente de energía nuevamente atractiva, en tanto que se dará una creciente atención a aquellas que son renovables, especialmente la leña.

-- El incremento en el precio de las materias primas conducirá a un rápido crecimiento de los aspectos tecnológicos de la sociedad del tercer mundo, quizás dejando un poco de lado la eficiencia en aras de un sediento deseo de hacer.

-- Todos esos cambios ocurrirán a gran velocidad, no dando demasiado tiempo para pensar ni para trabajar muy bien, y las decisiones serán tomadas sin tiempo suficiente para una adecuada maduración.

-- Se da una tendencia mundial hacia el hecho de que los gobiernos tomen una mayor ingerencia en las decisiones de la comunidad por oposición a la situación liberal que colocaba el poder en manos de los propietarios.

Países desarrollados.

Por lo que concierne a los ferrocarriles, el tráfico crecerá violentamente como consecuencia de la escasez de productos petroleros necesarios para dar energía al autotransporte; la contaminación ambiental conformará una barrera, particularmente a la expansión del automóvil, en tanto que los intereses militares se desplazarán hacia los misiles, lo que resultará en una falta de apoyo a la aviación civil que ahora es subvencionada con fondos militares.

La carrera de las altas velocidades, que ahora consumen el 90% del esfuerzo técnico a escala mundial, cesará en razón de que la velocidad demanda energías en cantidades tremendas. Las altas velocidades han sido un deporte costoso en todos los medios de transporte y ahora se está convirtiendo en prohibitivamente caro y por lo tanto imposible de llegar a ser materia de satisfacción extendida y popular (las joyas y el polo nunca serán democratizados al alcance de las mismas). La red de 200 km/h por ahora no será construida en Europa, especialmente porque la austeridad vendrá a ser regla, y las costosas inversiones para nuevas líneas -- que serán pagadas por la comunidad para el uso de unos pocos privilegiados -- tampoco se harán.

El cobre, como materia prima, se hará cada vez más caro y, por lo tanto, los costos de electrificación es de esperar se aumenten. Será una gran contribución para la comunidad si los ferrocarriles pueden prescindir de la electricidad, la que así sería transferida a otras urgencias. Dado que la producción de electricidad también será más cara, el punto de

equilibrio de las decisiones se desplazará hacia condiciones más apremiantes esto es hacia mayores tráficos. La eficiencia en la conversión de energía desde la mina hasta el gancho de tracción de la locomotora no es muy alta para la tracción eléctrica si se consideran todas las pérdidas: no más de un 15%.

Sin embargo sus costos sociales totales son muy altos en razón de las altas inversiones. Por lo tanto, dado que las performances en forma de "ultra-altas" velocidades cesan de ser atractivas, cualquier forma alternativa de energía para los ferrocarriles que de un servicio razonablemente bueno será bien considerada.

La tracción diesel continúa siendo interesante en términos de la crecientemente importante eficiencia térmica (aprox. 21%); sin embargo, el precio del combustible se espera será diez veces más alto del que sirvió para los estudios anteriores, lo que la hará prohibitiva. Además, el petróleo está asociado a una alta, muy alta, carga política no expresada directamente en dinero a pagar por el usuario, además de una tremenda inseguridad en el suministro, todo lo cual hace que la expansión de la tracción diesel sea una proposición muy azarosa.

Los ejecutivos ferroviarios deberán considerar el vapor como una seria alternativa, especialmente porque puede ser un "no-utilizador-de-petróleo", y dado que la nueva generación no tiene mentalidad "vapor", su enfoque será diferente. Esa generación no puede fácilmente concebir o producir nuevos diseños de locomotoras de vapor y, por lo tanto, los comprarán. Por ello también será decisión inmediata el reproducir diseños ya existentes sin introducirles ninguna clase de mejoras. Esto acarreará dificultades: no existe ya más mano de obra capaz de poner en juego el conocimiento artesanal inherente al vapor en su forma clásica; el carbón de buena calidad no está tampoco disponible para adecuarse a los requerimientos de los diseños originales. Las pequeñas dificultades mecánicas que antes eran resueltas por toda la comunidad de ferroviarios harán que la calidad del servicio sea muy pobre dando lugar a un general disgusto que llevará a un callejón sin salida, especialmente en Inglaterra y EEUU y, algo menos, en Alemania, Francia y España. El vapor no puede ser presentado como una respuesta definitiva a las demandas de tracción si asume tal esquema.

Uno puede preguntarse cual será la actitud de los ejecutivos "diesel" en tales circunstancias. En orden a mantener sus negocios y contrarrestar las desventajas de las locomotoras diesel (conforme las comentamos aquí); ya aún en tiempos anteriores (1) debieron hacer un serio esfuerzo de ventas, poner la publicidad a pleno juego, hacer toda clase de presiones para desacreditar las locomotoras de vapor, etc. No es de esperar, en consecuencia, que permanezcan inactivos mientras el negocio se les va de las manos

(1) Withuhn, "Did we scrap steam too soon?". Trains, June 1974
Páginas 36-48.

como el agua se escurre de entre los dedos, y esto de la noche a la mañana; sin embargo, es difícil imaginar cuales serán los argumentos que contrarrestarían precios que se van a las nubes y la inestabilidad del mercado, inseguridad en el suministro, etc., del diesel oil, amén de un llamado a la comunidad para que haga el esfuerzo político necesario que garantice su suministro. Este, a diferencia de la gasolina, no tiene para el usuario la ventaja directa e inmediata en forma de satisfacción personal como es la de manejar su propio automóvil. Esta vez los intereses petroleros no tendrán necesidad de apoyar la tracción diesel ni le darán apoyo dado que ellos producen una mercancía que les será arrebatada de las manos y sin necesidad de buscar nuevos y más consumidores.

La tracción a vapor en los países desarrollados:

Pueden analizarse varias posibilidades:

- a) Poner en servicio las locomotoras existentes aún no enviadas a la chatarra; esta sería la situación que prevalecería en Francia, Alemania y España, y no parecería demasiado difícil restablecer los servicios al nivel de los viejos tiempos. No ha pasado un lapso demasiado largo desde que las locomotoras de vapor han sido retiradas del servicio; en Alemania y en España todavía existe buen número de ellas en trabajo corriente. El punto clave que hace a la mano de obra se resolverá mediando una renuente aceptación dado que todo el mundo está preparado para un sacrificio invocado en la austeridad; así las locomotoras alimentadas a pala volverán a trabajar.
- b) Construir tan rápidamente como sea posible nuevas locomotoras en base a los viejos planos, pero proveyéndolas de stokers en forma de ganar el lado amistoso de los maquinistas y fogoneros.
- c) Construir nuevas locomotoras sobre standards revisados, incorporándoles las mejoras chapelonianas así como las desarrolladas con posterioridad a su autor.

El esquema a) apenas puede ser visto como una respuesta de emergencia, ya que presenta serias falencias:

- Requiere el uso de un combustible de alta calidad del que no se dispone hoy; el tamaño del carbón ha decrecido en razón de que las industrias no lo requieren ya más en grandes trozos; además la fuerte mecanización de las minas determina una mayor proporción de finos. También es difícil de encontrar calidades de excelentes propiedades coquizantes, dado que los carbones que las poseen (aún en baja proporción) son enviados a muy altos precios para servir de combustible en los altos hornos y acerías.

- La calidad, puntualidad y confiabilidad de los servicios tomará por lo menos un tiempo para llegar a los standards de antaño, sobre todo en razón de las dificultades derivadas de la calidad del combustible.
- Las performances de las máquinas diseñadas hacia 1925 no serán suficientes para satisfacer demandas de tráfico fuertemente incrementadas.

El esquema b) presentará las mismas falencias que el esquema a), pero, sin embargo, la provisión del stoker, que representará una favorable contribución a los aspectos laborales del problema, también permitirá una marcha a plena carga por mayor tiempo, como en su momento ocurrió en EEUU. Las mayores demandas del tráfico en términos de velocidad, tonelajes y capacidad de línea podrán ser aliviadas con la provisión de stokers; pero desde el punto de vista de la eficiencia térmica esta respuesta no es satisfactoria. Además la fuerte emisión de carbonillas por la chimenea será severamente criticada al punto de que las máquinas a stoker no sean aceptadas para circular.

El esquema c), aún cuando no sea una respuesta definitiva, puede tomar ventaja de los desarrollos que se han producido con posterioridad a Chapelón, y esto en varios grados que comenzarían con muy baratas pero significativas mejoras tal como se ha hecho en la Argentina, hasta las reconstrucciones de ese autor y que incorporaban nuevos cilindros, calderas etc. Hay una amplia gama de posibilidades a elegir conforme a cada caso particular, pero algunos requisitos han de ser satisfechos si se quiere que el esquema dure un tiempo aceptable:

- Los principios generales de diseño deben tener en cuenta que el mundo ferroviario ha cambiado.
- El equipo de combustión ha de beneficiarse con el sistema de "combustión a la gasógena", única respuesta posible para el uso de combustibles "de segunda" y las mayores demandas de caldera.
- Es menester hacer mejoras de detalle que permitan largos recorridos sin atención.
- Por último, habrá de contarse con una poderosa voluntad de realización si se espera que el esquema tenga éxito.

El mejorar las locomotoras existentes no parece ser muy atractivo si ha de implicar alteraciones importantes dado que esto insumirá un gran esfuerzo por parte de la oficina de proyectos que difícilmente podrá asegurarse por la dificultad de encontrar técnicos proyectistas cuyo trabajo esté respaldado por la larga tradición de antaño. Además, los tipos de locomotoras son demasiado numerosos y diferentes como para ser tomados en mano rápidamente y conforme a una demanda exigente.

La aplicación de pequeñas modificaciones a las locomotoras diría algo así como lo muestran los siguientes ejemplos (potencia continua):

- BR, clase 8, 3800 CV_e. España, 151-3100, 4000
- BR, clase 5, 2000. " North British, 3000
- Alemania, clase 01, 3000. Argentina, PS11, 3000
- Francia, 141 R, 3300. en CV efectivos al gancho.

En general, un incremento de entre 40 y 60% o más es posible en la potencia continua al gancho. Las mejoras no necesitan ser desarrolladas sobre la base de largos ensayos porque ya hay suficiente experiencia como para garantizar una performance predicha desde el tablero de dibujo. El stoker, por supuesto, debe ser incorporado por cuanto el sistema de combustión a la gasógena con recorrido ciclónico de las llamas permite un control de las emisiones de carbonillas por la chimenea, bastándole un carbón no coquizante cuya medida puede descender hasta 1/4 de pulgada en tanto que los inconvenientes propios de la formación de escorias desaparecen.

Es evidente que el esquema en consideración es bastante atractivo en términos de inversiones (en razón de su modesta magnitud) y puede ser llevado a cabo muy rápidamente, demanda poco esfuerzo técnico y tiene alguna posibilidad de satisfacer requerimientos de tráfico mayores de los previstos para las locomotoras en su condición original, ya que el incremento de potencia y la mayor "vivacidad" de las máquinas hará que la tracción a vapor se parezca a una tracción eléctrica.

El esquema d), esto es nuevas locomotoras construídas conforme a los desarrollos de Chapelón, tendrá que llenar las siguientes condiciones si es que se quiere que sea una válida respuesta al problema:

- Hay pocas esperanzas de que el usuario haga, como en el pasado, alguna contribución al arte. Por lo tanto, los constructores de locomotoras deben ofrecer sus productos sin pequeños inconvenientes, con instrucciones completas de mantenimiento, técnicas de reparación hasta el más mínimo detalle, etc., dejando a los ferroviarios como única tarea la de "hacer dar vuelta las ruedas".

En tanto de que el hecho de que la locomotora de vapor es un "no-consumidor-de-petróleo" sea una buena base para su permanencia y continuidad, su menor eficiencia térmica es un inconveniente en un mundo escaso de energía. Por lo tanto, un gran avance en este terreno es más que deseable, no solamente en términos de cifras de ensayo sino de las que se refiere a todo un año de trabajo.

- La simplicidad o complejidad son cuestiones de menor importancia: una máquina puede ser muy compleja si es confiable. La complejidad no se mide por el esfuerzo mental necesario para comprender su trabajo o la teoría, sino por la cantidad de dificultades que se

cargan a los usuarios. Si estos últimos no tienen otros problemas que los derivados de hacer funcionar el ferrocarril, las locomotoras pueden ser tan complejas cuanto se quiera. Una vez más, si es que son absolutamente confiables.

Por supuesto, la máxima disponibilidad es esencial, especialmente expresada en términos de viajes largos.

- La posibilidad de trabajar con plena eficiencia y potencia en forma independiente de la calidad del combustible es imperativo. El diseño debe, por supuesto, estar preparado para trabajar con un combustible no cokizante que hace escorias, de tamaño no mayor de 6 mm. con un poder calorífico de 5500 Cal/kg. Se ha de considerar seriamente la utilización del lignito.
- El manejo por el personal ha de requerir un mínimo de entrenamiento que, sin embargo, debe ser realizado en una escuela cuidadosamente planificada y completamente distinta del viejo sistema de dejar que el hombre vaya en la máquina y aprenda los trucos por sí mismo.
- La mano de obra es ahora factor de poder y no debe ser tomada como un ingrediente desagradable. En tanto que la mano de obra "sucía" debe ser reducida a un mínimo, aún en países desarrollados se considera posible encontrar una buena cantidad de gente que quisiera cambiar su actual ocupación por un trabajo ferroviario a pesar de la suciedad.
- Si bien el manejo por un solo hombre puede ser deseable en ciertas circunstancias, hay que tener presente que en un tren hay demasiada gente (guardas, camareros, etc.) como para que el ahorro de un agente tenga importancia.

Por otra parte, la tendencia a hacer que las tripulaciones trabajen en turnos de ocho horas con las ruedas dando vuelta sin cesar, impone esfuerzos que están más allá de los límites y capacidades físicas del hombre que maneja.

- Toda locomotora deberá ser capaz de ser dejada con el fuego encendido sin atención por un período indefinido.

En tanto que las propuestas hechas por Chapelón en los años 40 representaban una seria mejora sobre la situación prevalente en los años 30, sus máquinas nunca fueron construidas en Francia porque ese país se volcó hacia la electrificación completa de sus líneas más importantes, introduciendo también como paso intermedio, la moda del diesel para las líneas no electrificadas. No corresponde aquí discutir los fundamentos de tal política.

¿Pueden las máquinas de Chapelón ser propuestas como respuesta? Si, en la medida en que esos diseños satisfagan las condiciones arriba enumeradas; sin embargo, se piensa que hay lugar para agregar mejoras en general no referidas a aspectos termodinámicos.

Las máquinas de Chapelón fueron pensadas para ser construidas, manejadas y mantenidas bajo una organización extremadamente bien desarrollada como la que entonces existía en Francia y que, en primer lugar, contaba con gente que en todos los niveles tenían su corazón dedicado al ferrocarril como un modo de vida. La consecuencia es que sus diseños deben ser revisados en aspectos tales como accesibilidad, facilidades de fabricación por maquinaria industrial común, menores exigencias en cuanto al arte de la conducción, etc. El autor, además, piensa que su sistema de combustión a la gasógena ciclónica debiera ser adoptado como un imperativo dictado por las mayores demandas de tráfico y el uso de combustibles de menor calidad.

Supongase que los diseños de Chapelón fueran complementados con todos los desarrollos que vinieron después de 1945. Tal esquema tendría posibilidades de ser respuesta para el futuro cercano, digamos desde ahora a diez años vista. Pero, ¿que puede predecirse para más allá? Hay que pensar que se harán tremendos esfuerzos para la producción de combustible líquido a partir del carbón, lo que estará violentamente empujado por los intereses de la industria del automóvil. Quizá los precios del combustible diesel sean artificialmente rebajados y, aún cuando la escasez prevalecerá, las preferencias quizás se vuelquen hacia enviar el carbón a transformarse en combustible líquido en lugar de ser usado como combustible en las locomotoras de vapor. La moraleja es que no habrá de caerse en la trampa "de quedarse en lo suficientemente bueno".

Si las locomotoras que se propongan han de tener un rendimiento térmico de 15% en condiciones de ensayo, ser capaces de producir las más altas performances con un combustible de 5500 Cal/kg. recorrer 2000 km. sin atención, trabajar dos mil horas sin requerir mantenimiento, tener absoluta confiabilidad, ser manejadas por tripulaciones sonrientes y gerenteadas por ejecutivos que se olvidan de ellas, las máquinas del futuro habrán todavía de tener características adicionales a las enumeradas más arriba para que su supervivencia quede garantizada.

Esas características apuntarían en las siguientes direcciones:

- Mayor eficiencia térmica que se piensa posible si se adoptan mayores presiones y temperaturas de vapor (60 ate, 550 °C).
- Total exclusión de mano de obra "sucias", que haya de manejar pesadas piezas de maquinaria, etc. Quizás lo mejor sea una solución a base de motores individuales para cada eje, al estilo de la máquina 2-8-2 de alta velocidad (175 Km/h) desarrollada durante la guerra en Alemania.

- Condensación, tanto para ganar en rendimiento térmico cuanto en autonomía.
- Mejor relación potencia/peso.
- Producción en masa.
- Mínimo requerimiento de la vía: bajo peso por eje, mínimas reacciones laterales, capacidad para correr bien a alta velocidad en vías mediocres.
- Manejo orientado hacia la técnica de "abotonera". Automatización. Mínimo requerimiento del ahora necesario "arte de la conducción".
- Costos operativos mínimos asociados a inversiones modestas.

No cabe duda de que tales objetivos están lejos de ser alcanzados, si bien se estima que algo se ha ganado con respecto al estado en que Chapelón dejara la técnica hacia los años 40: un neto progreso, se cree, ha sido desarrollado por el autor; los objetivos antedichos han sido explicitados y definidos en forma como hasta ahora no se había dado, además de establecerse una ruptura con la ingeniería de "lo suficientemente bueno".

Países en desarrollo.

La crisis energética mundial los afecta quizás más que a los países desarrollados, como que la necesidad de incrementar la productividad per capita es más aguda. Si los niveles de vida han de mejorar, esto se hará mediante la importante contribución de más energía. Los países desarrollados pueden, por lo menos, quedarse donde están, pero no así el resto del mundo. Algunos países en desarrollo tienen petróleo que cambiarán por tecnología - esperemos que sea de la productiva y no de lujo- pero esto no significa que los combustibles líquidos serán baratos, dado que los precios serán fijados por lo que ocurra en el mercado internacional. En otras palabras: por grande que sea la producción respecto del mercado interno, esos países han de cambiar su petróleo por mercancías en el mercado internacional y al mayor precio posible.

Muchos países tienen también importantes bosques como para proveer de leña para la producción de energía y que podría provenir de áreas destinadas a la agricultura con reforestaciones especialmente planeadas para producir leña combustible. (Benguela). Un ejemplo de esto han sido los bosques del Vietnam en los que, no sirviendo sus maderas para la construcción, han sido laborados para reemplazar los árboles existentes por especies más apropiadas a dicho fin.

En general, en esos países los carbones disponibles no son de primera clase conforme inevitablemente antes de pensaban necesarios para lograr altas performances con el vapor, para no mencionar que las escasas

variedades coquizantes van a parar a los altos hornos y acerías. En general, se dispone de mano de obra barata, pero sus exigencias se hacen cada vez más apremiantes.

La electrificación no puede considerarse atractiva excepto para las altas densidades de tráfico, en tanto que los crecientes costos del cobre harán más difícil la justificación de las inversiones. Un estudio de F. Kirbus (La Prensa, Argentina, 24-4-74) da la siguiente estimación del tiempo de agotamiento de las reservas de los distintos minerales de la tierra:

Carbón	111 años	Gas natural	22 años
Cromo	95	Plomo	21
Hierro	93	Cobre	21
Cobalto	60	Petróleo	20
Níquel	53	Zinc	18
Platino	47	Estaño	15
Manganeso	46	Plata	13
Aluminio	31	Oro	9

Si bien las cifras citadas pueden ser discutidas en cuanto a su validez absoluta, es sin embargo bien visible que el cobre está lejos de ser abundante y, consecuentemente, la tendencia de su precio seguirá a la del petróleo. Además, las exigencias de rentabilidad tenderán a ser más agudas en cualquier esquema que se dé y por lo tanto no habrá dinero fácil para proyectos de electrificación que no demuestren una alta prioridad y marcada ventaja sobre sus alternativas. Las perspectivas de una dieselización "per se" son aún más inciertas en razón de los mismos argumentos que se han mencionado al tratar la cuestión respecto de los países desarrollados. Es difícil imaginar a la industria de las locomotoras diesel tratando de vender máquinas, por ejemplo, al gobierno de la India, en términos de incrementos en las necesidades de divisas, importaciones de petróleo, sofisticada tecnología extranjera, etc., mientras tiene a su disposición una fábrica de locomotoras de vapor ya instalada, carbón de segunda clase en abundancia, bosques, etc.

Locomotoras de construcción nueva para países en desarrollo.

Estímase que la situación de los países del tercer mundo es diferente de la que prevalece en Europa. La tracción a vapor está todavía vigente en muchos de ellos y la dieselización ha sido empezada no hace mucho tiempo. Por lo tanto, no parece muy difícil reactivar la tracción "vapor", como que hay hechos recientemente citados por la prensa técnica que muestran un renovado interés. Las locomotoras existentes pueden, por ejemplo, dar un excelente servicio como el que se da en Nigeria o Sud Africa, pero cabe esperar considerables mejoras si se adopta un plan de modernización que incluya mínimas- pero significativas- mejoras en las máquinas tal como ya se ha dicho.

No es difícil entrever que la calidad del carbón va a empeorar dado que las altas calidades serán exportadas como ocurrió en el pasado, en tanto que la progresiva mecanización de las minas tendrá un efecto determinante. Por lo tanto, y como regla general los ferrocarriles estarán forzados a adaptar su parque motriz a los peores carbones de la lista si es que se quiere mantener un servicio de calidad razonable. Se piensa que esto es posible gracias al sistema de combustión a la gasógena. (Ver apéndice).

La leña crecerá en importancia como combustible. Aquí también el sistema de combustión a la gasógena puede representar una ayuda considerable, en tanto que una completa mecanización de los desarrollos iniciados otrora por la FAO conformará una interesante avenida de investigación en forma tal de posibilitar la alimentación de leña en máquinas grandes que no pueden ser atendidas manualmente. (1)

También puede pensarse en locomotoras nuevas. Los requisitos a satisfacerse no serían tan exigentes como los que se darían en el caso europeo, pero en cambio aparecen otros que valen por sí mismos:

- Los materiales deben ser en lo posible los más corrientes y comunes, y en ningún caso las performances deben ser condicionadas a ninguno de calidad especial, sea un acero o un lubricante.
- La accesibilidad del mecanismo debe tener en cuenta el tórrido clima prevaleciente en muchos países en desarrollo.
- No hay que pensar en una conducción unipersonal.
- Las performances espectaculares, especialmente en términos de velocidad, son de menor interés.

Hay que prever una mala calidad de vía como cosa corriente y una sofisticación llevada al mínimo nivel posible, esto en razón de las grandes distancias a los centros que pueden proporcionar ayuda técnica. Es posible por otra parte, contar con alguna ayuda de los usuarios para sobrepasar las diarias dificultades como se daba en el pasado. El ferrocarril es todavía un modo de vivir en esos países y no sólo una forma de ganar el dinero necesario para el sustento. Por lo tanto, cabe esperar una mayor cuota de corazón, quizás no tan grande como antaño, pero en no pequeña proporción.

(1) Economic Commission for Asia and the Far East: "The Economic Use of Firewood in Steam Locomotives". Joint FAO-ECARF Study. Inland Transport Committee. Railway Sub-Committee. First Session. 14-17 January 1952. Bandung, Indonesia.
También J. Van Stappen, The Railway Gazette, Mayo 1., 1953 p.507.

Nuevas máquinas que no requieran frecuentes atenciones serán por supuesto bienvenidas, pero su diseño requerirá oficinas técnicas con considerable experiencia en las circunstancias y hábitos locales.

Observaciones finales

El salto de la tracción diesel al vapor, por ser éste un "no-consumidor-de-petróleo", dejará libre una importante cuota de productos petrolíferos que incentivarán el interés de la industria automotriz. Como no habrá tiempo para madurar decisiones, ya mismo se debe hablar en términos de que "no hay petróleo". Esto es un buen punto de partida para tratar la cuestión en los más altos niveles de gobierno. Si bien la reciente alza de los precios del petróleo - a pesar de las grandes distorsiones que resultan de ser políticos- debe ser considerada al analizar los costos de tracción, la elección entre diesel y vapor no es materia de costos sino de:

- La extrema inseguridad de los suministros.
- Los precios que en términos de esfuerzos políticos son necesarios para conseguir petróleo.

Puede argumentarse que la electrificación es una alternativa válida frente al vapor, pero esto no es tan obvio como para darlo por sentado sin más ni más:

- No es inmediata. Las locomotoras de vapor pueden ser puestas en servicio de la noche a la mañana con pequeñas pero significativas mejoras; la electrificación toma años para su planeamiento y concreción.
- El vapor no afecta los planes existentes de electrificación, estos últimos llevados a cabo con considerable esfuerzo y gasto destinados a satisfacer la fuerte demanda del sector industrial y del doméstico.
- Si no se plantean requerimientos de ultra-performances (ultratone-lajes, potencias, velocidades, intensidades de tráfico, etc.) que son una minoría en los países desarrollados, el vapor moderno puede hacer exactamente el mismo servicio cualquiera sea él: push-pull en el suburbano, velocidad en marcha atrás igual que en marcha adelante, etc., son algunos ejemplos. La (famosa) comparación entre las Niagara y las Diesel en el New York Central también fue, en su momento, un ejemplo típico. Otro caso hubiera sido la propuesta (no llevada a cabo) sustitución de un juego multiple-unit eléctrico con la 3477 (FCGBM. Argentina).

- La electrificación demanda un mayor potencial de técnicos que el vapor. Los técnicos son escasos en el tercer mundo.
- Uno de los argumentos que avalan la electrificación en el sector industrial es su facilidad para dar respuesta a los problemas que se plantean en la industria. Las nuevas condiciones de austeridad correrán los umbrales de aplicación en ese campo.
- La técnica de la combustión se ha desarrollado de tal modo que ya no es necesario el paso intermedio de convertir la energía de los combustibles pobres en electricidad para tener energía mecánica en el gancho de tracción.
- En tanto que se hacen (y se han hecho) grandes esfuerzos para convertir la energía solar, la geotérmica y la fusión del átomo en una fácil realidad de todos los días, los pronósticos que corrientemente hacen las autoridades que tratan de la cuestión no muestran signos de que el éxito esté a la vuelta de la esquina.
- Finalmente, hay servicios que sí hay que electrificar.

Tenemos que ser responsables del bienestar de nuestros nietos y en consecuencia hacer sacrificios en el presente para preservarles la cosecha que les pertenece. Sin embargo, es bien aparente que existe una gran ansiedad en satisfacer hoy, ya mismo todas las necesidades del hombre, un pensamiento cuyo gatillo han apretado las iglesias, los izquierdistas y aún los capitalistas mediante la publicidad. Por lo tanto hay que hacer un cuidadoso balance en la hidroelectricidad, si es que se la requiere exclusivamente para proveer de energía al ferrocarril y otros usos: quizás el cemento que se destina a construir diques debiera ser desviado a la construcción de viviendas.?

El vapor no debe ser mirado como un desagradable retroceso, forzoso y penoso, sino como una propuesta progresista destinada a sobrepasar obstáculos y dificultades. Ahora que el diesel cede posiciones será posible ver algo mejor lo que resulta del trabajo silencioso llevado a cabo en los años pasados.

El sistema de combustión a la gasógena, ciclónica, sobre

Este desarrollo, llevado a cabo en la Argentina desde años atrás consiste en proveer un fuego de considerable espesor sobre la parrilla (aprox. 40 cm.). Un poco de vapor de escape, ya utilizado, es mezclado con el aire que entra al cenicero, lo que traduce en la producción de CO y gases combustibles que emerge del lecho de combustible, esto en proporción tan grande como posible. Estos gases se queman en el espacio de combustión mediante aire secundario que entra por la puerta y por toberas ubicadas en los costados del horno, aire que alcanza a ser de 60 al 70% del total. La combustión en fase gaseosa se da con gran turbulencia

inducida por un tiraje muy eficiente y violento obtenido por dispositivos tales como el Kylchap, Kylpor o Giesl. Se obtiene una llama muy blanca y potente.

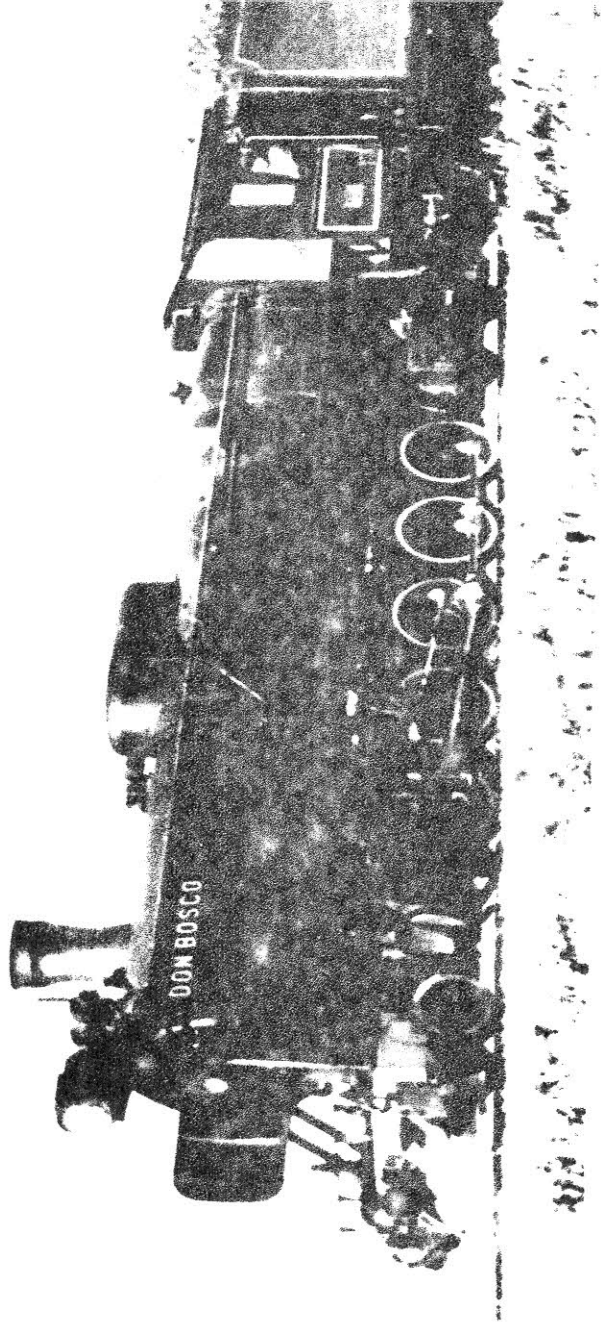
Dado que la adición de vapor al aire primario produce reacciones endotérmicas, la temperatura del lecho de fuego se mantiene por debajo del punto de fusión de las cenizas, las que, por lo tanto, pueden ser descargadas en forma continua, casi pulverulenta, a través de una parrilla móvil oscilante normal.

No se requieren reformas estructurales en la adaptación de las locomotras y las que ya tienen ese tipo de parrilla se prestan fácilmente al cambio. Si se hace entrar el aire secundario en forma tangencial a un círculo imaginario en el espacio de combustión, la llama asume un camino ciclónico y las carbonillas no pueden escapar.

Dado que el lecho de fuego es apenas perturbado por una parte del aire total, esto se traduce en que el arrastre de sólidos es menor, con favorables consecuencias sobre la máxima producción de vapor que de ello depende (grate limit). Esto también explica porque no se requieren buenas propiedades coquizantes para "armar" el buen fuego tradicional, así como una mayor tolerancia a menores tamaños de partícula.

La técnica de la conducción del fuego impone menores requisitos a la habilidad del foguista, al punto de tolerar un cierto grado de descuido. La capacidad de producir "buen vapor" aumenta, en general, de modo apreciable; es muy raro que se produzca humo, aún intencionalmente y la emisión de carbonilla por la chimenea se reduce a una décima parte o aún menos.

Por primera vez en la historia ha sido posible desarrollar vaporizaciones indefinidamente continuas, y recorridos sin paradas de hasta 2000 km, han sido alcanzados en los ensayos finales. También ha sido posible trabajar con recortes de aserradero, finos de carbón de leña, aglutinados (sin briqueteado) con petróleo y finos de leña, lo que ensancha el campo de posibilidades: se trata de la biomasa del bosque y sólo de los "troncos", lo que duplica el rendimiento del aprovechamiento.



Locomotora 2-10-2 del F.C. Rfo Turbio, Argentina (1956)

Trocha 0,75 m, riel 17 kg/m. Peso por eje 7.6 t. Potencia continua al

Sistema de combustión a la gasógena

2a. parte.

Características fundamentales de las modernas y futuras
locomotoras de vapor en respuesta a la crisis energética

Livio Dante Porta
Argentina

Resumen

A pesar de la disminución de la importancia de la locomotora de vapor, durante los últimos treinta años hubo un silencioso progreso en su tecnología. Esto dió lugar a avances que se tradujeron en una completa revisión de su filosofía conforme se da cuenta en el presente trabajo.

La crisis energética ha abierto una brillante oportunidad para la tracción a vapor porque no usa petróleo y también mostró el acierto de los anteriores esfuerzos. El autor, que ha trabajado durante los últimos treinta años en el desarrollo tecnológico de la tracción a vapor en la Argentina, está firmemente convencido de que la clásica concepción stephensoniana está lejos de haber agotado sus posibilidades y de que ofrece todavía un amplio campo para mayores progresos.

Se cita como ejemplo el del ferrocarril carbonero de Rio Turbio (Argentina) para el cual el vapor moderno es más barato en relación 1:2 que el disel o la electricidad en razón de utilizar mixtos no comercializables de 4000 Cal/Kg.

Indice

1. Introducción.
2. Objeto del diseño de una locomotora.
3. Ecuaciones fundamentales y conceptos básicos.
4. La Caldera.
5. El Motor.
6. El eyector de tiro.
7. Adherencia.
8. Diseño de los mecanismos.
9. Las máquinas de maniobra.
10. Contaminación del ambiente.
11. Sobre hombres y máquinas.
12. Operación.
13. Rendimiento térmico.
14. Notas finales.

Apéndices.

- A1. Un ejemplo de adición de efectos.
- A2. Tracción moderna para el FC Rio Turbio, Argentina.
- A3. Notas complementarias.
- A4. Locomotoras existentes . Su mejora.

1. Introducción

En el presente trabajo el autor trata de resumir su filosofía en el diseño de locomotoras de vapor modernas, vasto tema que es tratado en un libro en preparación. (1). Inevitablemente se ha impuesto la limitación de tratarlo sólo cualitativamente, como que el análisis cuantitativo de cada subtema constituiría un trabajo en si mismo. No es intención polemizar, ni tampoco analizar las diferencias entre el presente esquema y cualquier otro actual o vigente en el pasado, ese pasado glorioso que ha hecho posible mirar con confianza hacia el futuro; puede verdaderamente creerse que la locomotora de vapor tiene capacidad potencial para aportar su contribución a las crisis de energía, petróleo y contaminación.

2. Objeto del diseño de una locomotora.

El espectro de las condiciones que deben ser satisfechas en el diseño de locomotoras se extiende sobre amplísimos límites de potencias, velocidades, pesos por eje, combustibles, etc. En consecuencia aquí sólo se puede hablar de las características que son más o menos comunes. Una locomotora es una máquina de remolcar tráfico y debe ser diseñada para satisfacer su objetivo con un mínimo de inversiones y costos (totales, sociales), lo que se traducirá en una máxima potencia másica (relación potencia/peso de máquina), mínimo mantenimiento, máxima confiabilidad, alta eficiencia térmica (que ahora está adquiriendo creciente y excepcional importancia en razón de la crisis energética), máxima disponibilidad, mínimo de esfuerzo humano, reducida demanda a la vía y a las obras de arte, etc.

Todo proyectista está contraído por exigencias conflictivas entre sí, y su habilidad para optimizarlas: una completa lista de principios fundamentales debe guiar su trabajo, principios que han sufrido muchos cambios a lo largo de tiempos y países.

Antes de definir que es un buen diseño de locomotora cabe llamar la atención sobre el siguiente principio (2): "se ha dicho que el solucionar problemas no es tanto el conseguir la respuesta correcta, cuando de hacer la pregunta correcta. Si un problema es definido en forma precisa, los buenos técnicos podrán resolverlo; pero si la cuestión es vaga o está fuera de lugar, ningún conjunto de buenas soluciones podrá ser de ayuda en una situación incorrectamente planteada".

3. Ecuaciones fundamentales y conceptos básicos.

La ecuación fundamental de la locomotora de vapor es la que sigue:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Potencia bruta} \\ \text{útil al gancho} \\ \text{(CV}_b\text{)} \end{array} \right\} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Vapor producido por hora (Kg/h)} \\ \text{Consumo específico de vapor por} \\ \text{caballo hora (Kg/CV}_b\text{ h)} \end{array} \right\}}{\quad} \quad (1)$$

Esta ecuación ha sido conocida y utilizada desde los primeros tiempos. Sin embargo su profunda significación nunca ha sido realizada en forma tal que se constituya en la llave maestra de toda la ingeniería del vapor. De hecho, siempre fue una idea corriente la de que para conseguir caballos de fuerza era menester una caldera grande, con lo que se jugaba sólo en el numerador. Más raro ha sido comprender que actuar sobre el denominador era exactamente lo mismo. En tal sentido, cabe recordar que se ha oído hasta el cansancio que "los dispositivos y aparatos que ahorran vapor (combustible, calor, etc.) sirven esencialmente solo a propósitos de economía", olvidándose su influencia sobre la potencia por cuanto actúan sobre el denominador de la ecuación (1).

La fig. 1, muestra que, para una potencia dada que define la parte motriz de la locomotora, todos los elementos incluidos en el área rayada son proporcionales, en su tamaño, al consumo específico de vapor (de combustible). (1).

Cabe notar que se habla de "potencia bruta" como algo diferente de la "potencia neta" (obtenida en horizontal, recta y movimiento uniforme). La primera es la que juega realmente en orden al remolque de tráfico. Dado que la masa de la locomotora juega en contra de su performance cuando, como es frecuente, hay que considerar la aceleración o la tracción en rampa, es evidente que una pobre eficiencia térmica tiene fuertes efectos en la gama de altas velocidades, ya que el esfuerzo de tracción se hace más pequeño.

Otra ecuación fundamental es la relativa al peso adherente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Potencia transmisible} \\ \text{por las llantas} \\ (CV_j) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Velocidad x Coeficiente de adherente} \\ \text{x peso adherente} \end{array} \right\} \text{ Ecuación (2)}$$

Se ve inmediatamente que el coeficiente de adherencia juega un rol fundamental y que, en consecuencia, deben extremarse las providencias que hacen a los numerosos factores que intervienen (ver (3)), el más importante de los cuales es la contaminación producida por los agentes atmosféricos, por la locomotora misma, por las pérdidas de aceite de las cajas de eje y de los motores de tracción, por la influencia del paso y las hojas, etc. La ecuación (2) muestra que la influencia de la velocidad es muy grande sobre la potencia transmisible, tanto en favor cuando en contra. No hay manera de transmitir altas potencias en baja velocidad sino mediante importantes pesos adherentes, en tanto que en el caso de locomotoras de alta velocidad basta con pequeños valores de los mismos. También hay que notar que toda adherencia que sobra "no se la ve", como que así ocurría con las locomotoras de vapor que en el pasado tenían calderas pequeñas.

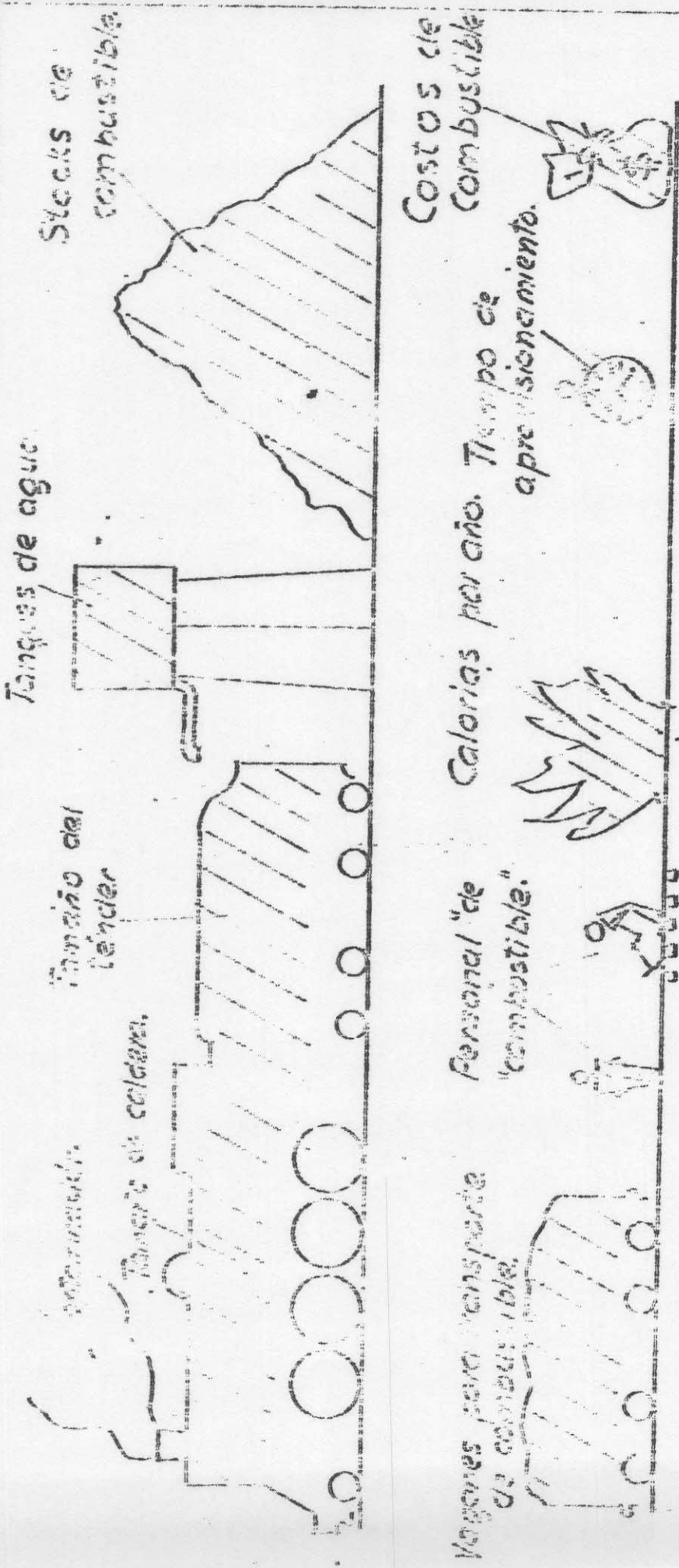


Fig 1. Impulsión del consumo específico de vapor (combustible) de acuerdo a la ecuación (1).

El peso adherente debiera ser reducido al mínimo porque entraña mayores inversiones y gastos operativos y de conservación que el peso no adherente: este es un concepto común a todas las formas de tracción.

Otro principio fundamental que no hay que temer en calificar de importantísimo, es el que habla de la superposición aditiva de los múltiples factores que inciden en la performance de una locomotora de vapor. La familiar ecuación conforme a la cual un rendimiento final es igual al producto de los rendimientos parciales es bien conocida, pero mucho menos lo es el hecho de que hay numerosos casos en que esa superposición se da, y de entre los cuales hemos extractado el ejemplo mostrado en el apéndice A1. Debe comprenderse claramente que los efectos favorables se suman entre sí y que raramente son materia de elección de alternativas: así no se puede agregar el incremento que da, en el rendimiento, un calentador de agua de alimentación y un inyector a vapor de escape.

La completa significación del precedente principio reside en el hecho de que, frente a un problema dado, deben hacerse jugar todos los recursos conocidos: esto implica la necesidad de una muy completa información y la de dejar de lado toda actitud basada en orgullos regionales o nacionales que en el pasado causó considerable perjuicio al progreso de la ingeniería en general.

La mayor parte del consumo de combustible se da en la línea durante el remolque de tráfico y es hacia la cual se ha dirigido el grueso de los esfuerzos técnicos. Sin embargo, hay una sorprendente larga lista de consumos que no son productivos y que empañan los mejores afanes técnico-científicos antedichos. Así, por ejemplo, es inútil ganar un último punto en el rendimiento térmico que se mide en condiciones de ensayo cuando lo que realmente cuenta es el consumo anual total referido al tráfico realizado. Los consumos secundarios son importantes principalmente debido al hecho de que la locomotora es una máquina termodinámica de funcionamiento intermitente. Esos consumos son los que siguen:

- .. Calentamiento de la masa de los cilindros y partes asociadas después de cada parada.
- Importantes efectos (nocivos) "de pared" que se dan a cada parada por causa de condensaciones.
- Aislación no adecuada del block de cilindros, comprendiendo la parte de bastidor que lo integra (para no mencionar las aislaciones ausentes del todo).

- Pequeñas fugas de vapor que se dan en cada válvula, grifo, etc., incluida la fuga de la válvula del regulador, la unión de los elementos sobrecalentadores al colector, los purgadores, etc.
- Imperfecta o ausente aislación de la caldera y cañerías.
- Fugas en los aros de válvulas y pistones que se incrementan a lo largo del kilometraje recorrido luego de las grandes reparaciones.
- Trabajo de la masa de la máquina, el tender y las provisiones de agua y combustible en contra de la gravedad en las rampas.
- Energía mecánica destruída en el frenado y en marcha en pendiente nociva, el primero particularmente en cada detención.
- Consumo extravagante en los desplazamientos que se dan en los depósitos, usualmente efectuados con la máquina en condición "fría".
- Consumo de la bomba de aire en momentos en que no es necesaria su marcha.
- Marcha de la locomotora "liviana" desde el depósito hasta la cabecera del tren y regreso.
- Encendido despues de cada lavado de caldera.
- Arrastre de frenos de tren imperfectamente flojos.
- Consumo excesivo de combustible con la máquina detenida y en presión por causa de puertas de cenicero no herméticas.
- Incorrecto uso de los aparatos calentadores de agua de alimentación.
- Combustión deficiente durante los períodos de máquina detenida en presión (humo, exceso de aire, etc.)
- Tonelajes de remolque mal apropiados.
- Baja disponibilidad y utilización.

Es obvio de que si la lista antedicha no ha tenido plena vigencia en la conciencia de los técnicos mal ha podido atacársela en forma de reducir su importancia a proporciones despreciables o al menos razonables. Por de pronto, no hay constancia de que se hayan efectuado mediciones y evaluaciones experimentales, a pesar de que nos sea familiar la cantidad de combustible faltante en el tender a cada mañana en comparación con la que había en la víspera. Chapelón parece haber sido el único que ha medido

la diferencia entre el consumo total de un ensayo y el que se da en condición de "máquina caliente", encontrando valores del orden de 10%. Es así que poco esfuerzo se ha hecho explícitamente en el sentido de lograr que toda locomotora pueda reproducir día tras día los resultados que se consiguen en el de los ensayos, ni tampoco en asegurar que su performance, tanto en potencia cuanto en economía, se mantenga invariada hacia el final del kilometraje entre reparaciones. A lo sumo esto ha sido materia de una "conducción cuidadosa" (definida por imprecisas reglas) y las vaguedades de lo que se llama "un buen mantenimiento".

Todo eso conduce al principio de que se debe diseñar una locomotora para que sea eficiente cuando deba trabajar en las condiciones más desfavorables. La secuencia lógica es 1) hacer que la locomotora sea lo más eficiente posible cuando las condiciones son ideales y, 2) hacer que esa eficiencia se mantenga lo mas alta posible cuando esas condiciones se apartan de las ideales.

El obtener una máxima potencia de una masa dada es equivalente a diseñar la máquina que, siendo la más pequeña posible, sea capaz de satisfacer un servicio dado. Esto empieza con la habilidad del Departamento de operación para llevar adelante un programa de transporte con un mínimo de trabajo mecánico en el gancho: esto está fuera del alcance del presente trabajo.

La ecuación que relaciona la potencia indicada con los varios factores que la condicionan es;

$$\left. \begin{array}{c} \text{Potencia máxima} \\ \text{indicada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Máximo empuje} \\ \text{del pistón} \end{array} \right. \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Número de} \\ \text{cilindros} \end{array} \right. \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Carrera} \\ \text{de pistón} \end{array} \right. \times \left\{ \begin{array}{l} \frac{\text{Presión media indicada}}{\text{Presión de diseño}} \times \text{Velocidad máx.} \\ \text{de rotación} \end{array} \right. \right\}$$

Ecuación (3).

Dado que una parte importante del mecanismo tiene dimensiones definidas por el empuje máximo del pistón (ejes, bielas, bastidor, crucetas, paralelas, etc.) es obvio que éste debe ser el menor posible; de ahí que se deba trabajar sobre los restantes factores de la ecuación (3).

- a) Un mayor número de cilindros es favorable, pero deben tomarse adecuadas medidas para evitar una menor eficiencia termodinámica.
- b) Cabe tomar la máxima carrera posible: 750...800 mm. son valores realizados en la práctica.
- c) Una máxima velocidad de rotación es conveniente, pero sujeta a algunas condiciones:

- Adecuado equilibrio de las masas alternativas en relación con la resistencia de la vía.
- Amplias secciones de paso de vapor (ver d)).
- Mínimo juego en las articulaciones del mecanismo.

A igualdad de otras condiciones, son esperables mayores costos de mantenimiento del mecanismo en razón de la mayor cantidad de vueltas por km., si bien la moderna ingeniería de locomotoras puede hacer frente a esto como para balancarlo con las ventajas ganadas. Las ruedas acopladas de pequeño diámetro permiten colocar el hogar por encima de ellas, lo que resulta en una locomotora mas corta.

d) La relación presión media indicada/ presión de diseño debe ser la mayor posible. Esto depende de:

- La capacidad de "desahogo" del circuito de vapor, en el que la sección de la boquilla de escape es el más importante condicionante.
- El valor usual de la admisión. Las pequeñas admisiones son esenciales en las máquinas de simple expansión si es que no se quiere tener pérdidas exageradas por expansión incompleta, en tanto que las compound son naturalmente económicas aún con grandes admisiones porque la relación (presión de admisión/presión de escape) es más pequeña. Incluso hay trabajo expansivo aun con la admisión máxima.
- La capacidad de la caldera para suministrar vapor tanto cuanto los cilindros sean capaces de "digerir" eficientemente, esto con adecuadas condiciones de confiabilidad, eficiencia, rapidez de respuesta, capacidad del fogonero, pureza del vapor, etc.

Es oportuno discutir aquí cuales son las condiciones de diseño conducentes a una capacidad máxima en el "desahogo", las que se condensan bajo la expresión "aerodinamismo interno".

1. Las secciones nominales de pasaje de vapor deben ser las mayores posibles. Chapelón propone $1/5$ del área de pistón, pero el autor, conforme a su experiencia, ha adoptado el valor de $1/4$. (4).
2. Debe tomarse el máximo cuidado en evitar filos, curvas cerradas, etc. El empleo de modernos antibullicivos resulta en un vapor de muy alta pureza, lo que se traduce en una sección de paso libre en los elementos sobrecalentadores sin incrustaciones ni depósitos.

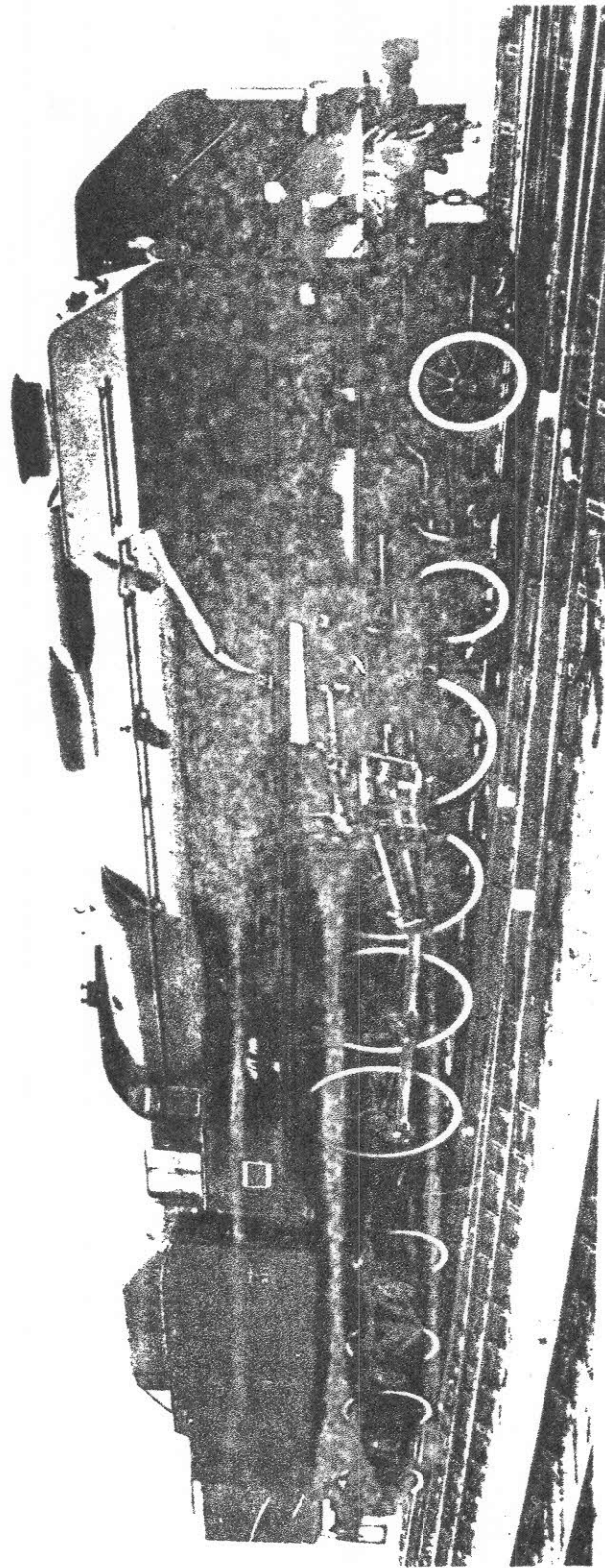


Fig. 3. Locomotora 240 P de alta velocidad diseñada por Chapelon en 1935 (SNCF)
Se observa una gran proporción del peso para adherencia como consecuencia
de su muy alta potencia máfica (29 CVe/t);

3. Las válvulas de distribución deben ser lo mas grandes posible, esto es: tener la máxima carrera (recubrimiento); adecuado avance lineal (p.ej. 7 mm.); el filo de las lumbreras redondeado; en tanto que el area nominal no debe ser restringida por un mediocre diseño del cuerpo de la válvula; no reducir el área disponible por barrotes muy grandes, etc. Por lo tanto el mecanismo de distribución debe ser proyectado teniendo en cuenta importantes fuerzas de inercia.
4. La contrapresión al escape debe ser lo más reducida posible lo que fuerza a adoptar el eyector de mayor rendimiento que de un máximo vacío con una contrapresión razonable. Esta última, cuando se trabaja a pleno régimen, no debiera exceder de 500...600 gf/cm². (el tiro disponible en caja de humos define en gran medida las dimensiones de la caldera).

Una gran capacidad de desahogo se traduce en altas potencias no solamente porque es posible hacer pasar grandes cantidades de vapor a través de los cilindros (numerador de la ecuación (1), sino porque se hacen mínimas las pérdidas termodinámicamente irreversibles, lo que contribuye a obtener un mínimo consumo específico (denominador de la ecuación (1)). Este fundamentalísimo concepto fue por primera vez mostrado por Chapelón en toda su profundidad (4).

El peso mínimo de la locomotora es el peso adherente, que es definido por la ecuación (2). Si el peso de la parte motriz más el peso de la caldera, está en exceso al requerido por la adherencia, no hay otra alternativa que emplear ruedas portantes. Por lo tanto se tiene:

$$\begin{array}{l} \text{Peso sobre} \\ \text{ruedas portantes} \end{array} = \text{Peso total} - \text{peso adherente}$$

También es:

$$\begin{array}{l} \text{Peso de la} \\ \text{locomotora} \end{array} = \text{Peso adherente} + \text{peso portante.}$$

Si el peso adherente es menor que el peso total, el resto debe cargarse sobre las ruedas portantes, como se ha dicho. También se tiene que

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Peso de la} \\ \text{caldera} \end{array} \right\} = \left\{ \frac{\text{Vapor que ha de producirse (Kg/h)}}{\text{Vapor producido por t de peso de caldera (Kg/ h t)}} \right\}$$

Ecuación (4)

Dado que siempre se trata de reducir todo lo posible el peso cargado sobre las ruedas portantes, se deduce que es menester tratar de reducir el peso de la caldera en cuanto sea posible. Para una potencia dada, la ecuación fundamental (1) dice que la caldera puede ser tan pequeña cuanto lo permite un menor consumo específico de la máquina, lo que incide sobre el numerador de la ecuación (4). Si la caldera puede producir más vapor por tonelada de peso propio, su peso total (agua incluida) puede ser todavía menor, con lo que se incrementa el denominador de la ecuación (4); la conclusión de todo esto es que el peso en (número de) las ruedas portantes depende grandemente de cuan económico es el motor y de cuanto vapor puede producirse por unidad de peso de caldera. Esto condiciona, en un primer brochazo, el tipo de máquina: puede ser uno con más ejes portantes que acoplados (4-4-2) o, alternativamente, uno de adherencia casi total (2-10-0), esto para otras condiciones mantenidas invariadas.

Pero el incrementar el vapor producido por hora por unidad de peso de caldera, toda vez que se ha previsto una parrilla ampliamente dimensionada, todo lo que se requiere es un tiro fuerte. Esto posibilita una gran velocidad de los gases a través de los tubos y también una buena turbulencia conforme lo exige una buena combustión en un reducido espacio. Un fuerte tiro solo puede obtenerse si el rendimiento de bombeo del eyector es elevado. Por lo tanto, una de las últimas consecuencias de proveer un eficiente eyector de tiro es la de reducir el peso total de la locomotora y en consecuencia el que va cargado sobre ruedas portantes. A título de ejemplo ilustrativo cabe mencionar que así se explica el porque las 240 P de Chapelon tenían sólo una pequeña proporción de su peso total como portante. (fig. 3), esto a pesar de tratarse de una máquina de alta velocidad (140 Km/h).

Toda locomotora de vapor, se ha dicho, es una máquina de conversión de energía en trabajo. Es posible, sin embargo, diseñarla sin recurrir a los principios fundamentales, como se dio en el pasado aun hasta después de la guerra. Por fortuna, cada máquina incorpora su cuota de "conocimiento no aprendido" para así comportarse conforme a las intenciones del proyectista, bien que no siempre conforme a sus razonamientos.

La cenicienta de todas las locomotoras fue, en ese sentido, la máquina de maniobras, cuyo diseño fue siempre tratado empíricamente agregando una pulgada aquí y quitando otra allá cambiando ligeramente los proyectos anteriores a lo largo de orientaciones consideradas como correctas. Pero, nadie es capaz de diseñar un avión jet sin recurrir a la termodinámica más fina: veamos que se puede hacer en relación a la de la locomotora y respecto de lo cual el ejemplo mencionado puede servir de motivación.

Una de las finalidades de una máquina de conversión de calor en trabajo es la de producir el máximo de este en relación al combustible consumido. En el pasado se disponía de carbón y petróleo baratos, lo que condujo al falso concepto de que el rendimiento térmico era más bien cosa de interés académico; pero ahora la crisis energética ha realzado la importancia

de este punto a su climax. Para incrementar el rendimiento térmico se requiere:

1. Incrementar el rendimiento térmico de la evolución teórica del vapor (ciclo teórico): mayor presión y temperatura, menor contrapresión, calentamiento (regenerativo) del agua de alimentación, calentamiento del aire con vapor de escape, etc. Esto en esencia es extender los límites teóricos del ciclo tanto en la zona de alta como en la de baja temperatura.
2. Mejorar el rendimiento - siempre menor que 100% con el que la máquina real se inscribe dentro de la teórica, esto es: hacer que los límites prácticos del ciclo se acerquen en todo lo posible a los teóricos, no solo en las favorables condiciones de ensayo, sino a lo largo de toda la vida de la locomotora.
3. Reducir en todo lo posible las pérdidas mecánicas que se dan entre las caras del pistón y el gancho de tracción.

Esto es exactamente lo que ha hecho Chapelón y también su máxima lección. Habría también un sub-item en 2): el pleno reconocimiento de que la locomotora, en virtud de su intrínseca naturaleza como máquina ferroviaria, es una máquina de operación intermitente lo que da lugar a no pequeñas pérdidas cada vez que reinicia su ciclo de trabajo.

Si un diseño es innecesariamente largo se paga un precio extra en peso (masa), para no hablar de las dificultades de inscripción en curva. Consecuentemente se debe buscar desarrollar el proyecto en una mínima longitud a menos que los puentes impongan limitaciones. La posibilidad de colocar el hogar por encima de las ruedas acopladas es un poderoso recurso para lograrlo.

Finalmente, cabe tener bien presente que todo margen de seguridad (o de ignorancia) innecesario tiene su precio. Un sobreespesor de las chapas de caldera, un ancho extra de los largueros del bastidor, mayores diámetros en los ejes, etc., significan una mayor masa que debe pagarse en dinero contante y sonante y paseada a lo largo de toda la línea a expensas de energía y dinero. Quienes gustan trabajar "sobre seguro" deben ser conscientes de que esa escuela de pensamiento era forzosa cuando la naturaleza de los fenómenos era mal conocida.

Sin embargo, hay también que prever un rudo trato en el trabajo diario, lo que puede variar conforme a las circunstancias locales.

4. La caldera.

Los objetivos perseguidos en el diseño de la caldera son:

- a) Producir la cantidad de vapor (calor) requerida para alcanzar la potencia de diseño.
- b) Tener un peso mínimo, siempre satisfaciendo las reglamentaciones de seguridad, alcanzado con el empleo menor posible de materiales críticos y dentro de la menor longitud posible.
- c) Producir vapor (calor) con el mayor rendimiento calórico posible dentro del rango usual de operación, si bien aceptando se una razonable reducción en esa eficiencia cuando se requieren las (no frecuentes) potencias máximas.
- d) Ocasionar un mínimo de mantenimiento, tener adecuada confiabilidad mecánica y operacional así como máxima disponibilidad lo que se consigue principalmente gracias a los modernos tratamientos de agua y al sistema de combustión a la gasógena.
- e) Contribuir a la solidez de toda la locomotora absorbiendo una parte importante de los momentos de torsión y de flexión que le transfiere el bastidor.

Factor esencial en el diseño de la caldera es una amplia parrilla. Esto siempre ha sido válido por múltiples razones, pero la más importante de ellas es el hecho, puesto de manifiesto por Lawford Fry (5) hacia 1926, de que la eficiencia de la combustión cae por debajo de toda razonabilidad cuando la intensidad de la combustión es muy elevada, cosa que condiciona el techo o capacidad de máxima vaporización. Una parrilla de gran superficie permite más fácilmente el uso de combustibles de menor calidad, leñas que dan carbón de pobre calidad, etc., y hace a la locomotora menos dependiente de la atención del fogonero.

El volumen del hogar es también cosa de importancia porque la perfección de la combustión en la fase gaseosa depende de él en relación con la energía consumida para producir turbulencia y el exceso de aire necesario. Conviene disponer de la mayor posible superficie de calefacción en el hogar dado que la transmisión de calor por radiación no consume energía de tiraje; también una menor carga calórica por unidad de superficie de hogar es conducente a un mantenimiento "cero" si está asociada a un tratamiento de aguas que garantice una total ausencia de incrustaciones.

La transmisión de calor por convección en los tubos solo puede darse si hay caída de presión (tiro). Esta debería ser la mayor posible para poder reducir al mínimo la importancia de las superficies de calefacción. Por lo tanto la secuencia de diseño es:

1. Las más pequeñas superficies de calefacción posibles;
2. esto requiere la mayor pérdida de tiro posible;
3. lo que exige el más eficiente dispositivo de bombeo de gases (eyector de tiro);
4. Trabajando con la más alta contrapresión tolerable,
5. sin perjuicio de tratar de crear el vacío con la energía disponible en forma de expansión incompleta del vapor en el cilindro.

Gran parte del tamaño de la caldera está condicionado por el espacio ocupado por el haz tubular. La sección de paso de gas determina largamente el consumo de tiro en el haz, en tanto que la relación longitud/ diámetro hace lo propio con el rendimiento de la absorción, siendo su valor usual alrededor de 100 a 120. Como conviene hacer que el haz tubular sea lo más corto posible, si la relación anterior ha de mantenerse, el diámetro de los tubos ha de ser el más pequeño. La experiencia del autor indica que aún diámetros de 20 mm. son aceptables si se adoptan adecuadas disposiciones para evitar los taponamientos. Esta cifra se traduce en que la longitud del haz tubular es apenas mayor que 2000 mm., lo que confiere al proyectista una gran elasticidad de diseño.

El volumen de la cámara de vapor no está ya más asociado a la humedad de este porque los antibullicivos ahora disponibles garantizan un vapor de pureza casi absoluta en cualquier circunstancia. Sin embargo debe preverse un adecuado margen para tener en cuenta el volumen de las burbujas de vapor (10% del volumen de agua), el volumen a preverse entre el nivel máximo y el mínimo y un margen de seguridad adicional que haga innecesario un manejo cuidadoso.

Dado que no existe peligro alguno en tener una locomotora con el centro de gravedad alto, cabe tomar ventaja de ello para hacer coincidir la parte superior del cuerpo cilíndrico y del hogar con el límite del gálibo: esto facilitará la provisión de un amplio de hogar.

5. El motor

La ecuación (1) dice que la potencia depende de la habilidad del motor para trabajar con el mínimo consumo específico de vapor ($Kg/CV_i h$). Si se provee amplia capacidad de desahogo, es posible obtener muy altas potencias indicadas con cilindros y empujes de pistón comparativamente pequeños, esto a expensas de una mayor pérdida por expansión incompleta, mayor consumo específico, etc. (No existe cosa tal como "potencia de los cilindros" (cylinder horsepower curve)). Por lo tanto el tamaño de los cilindros es un compromiso entre una alta presión media indicada y una razonable pérdida por expansión incompleta, la

que puede ser bastante pequeña en la gama de las potencias usuales de trabajo, especialmente si se trata de locomotoras compound.

Para lograr un mínimo consumo de vapor se dispone de los recursos que siguen:

- Una máxima caída entálpica posible: más alta presión y temperatura del vapor, (esta última tan alta como lo permita la lubricación de las superficies rozantes bajo vapor), mínima contrapresión al escape, etc.
- Una mínima fuga de vapor a través de aros de válvulas y pistones, lo que se consigue con diseño y materiales calidad "diesel".
- Un mínimo de pérdidas por efecto de pared, lo que se obtendría gracias a un sobrecalentamiento lo suficientemente alto como para asegurar temperaturas de pared por encima del punto de saturación.
- La más pequeña pérdida por expansión incompleta (pequeño volumen de los espacios nocivos).
- Una aislación térmica a ultranza.
- El compounding.

La expansión en dos etapas contribuye a facilitar el logro y materialización de las antedichas disposiciones con una ganancia no menor de 10% en el rendimiento termodinámico interno. Esto tiene suma importancia a la luz de la ecuación (1), porque actúa directamente sobre el denominador de la misma. Pero el diseño de una máquina compound no puede ser hecho en base al empirismo del pasado y que determinará su abandono generalizado hasta que Chapelón mostrara de lleno todas sus posibilidades. El más importante defecto de los diseños compound anteriores a 1935 ha sido el precario aerodinamismo interno aguas abajo del cilindro de alta. La teoría de la termodinámica enseña que esta clase de pérdidas, las que se dan por ese mal aerodinamismo, tienen importancia creciente a medida que la evolución del vapor se acerca al límite inferior del ciclo.

Otro punto clave del compounding es que el rango de su operación económica (esto es, su usual empuje medio de pistón) es comparativamente mayor del que se da en las máquinas de simple expansión. Esto se traduce en que la curva velocidad-esfuerzo de tracción no es una alargada parábola y por lo tanto la última consecuencia es que la velocidad a la que puede marcharse a plena admisión es algo así como el 40% de la máxima de la locomotora. Cuando esta situación se da en máquinas de muy alta potencia másica, ocurre que, para una locomotora de adherencia total,

es posible desarrollar el máximo esfuerzo nominal de tracción de una velocidad tan alta como 45 km/h. Consecuentemente no es posible diseñar máquinas que realicen grandes esfuerzos de tracción a bajas velocidades a menos que se las lastre considerablemente. O, en otras palabras, la fuerza que es posible de realizar al límite de adherencia puede mantenerse hasta tales 45 km/h.

6. El eyector de tiro.

El corazón de toda locomotora es su dispositivo de tiro, cosa que fue comprendida desde los tempranos días de Jorge Stephenson. Sin embargo, una insuficiente comprensión de la importancia de este punto condujo a las grandes calderas de los diseños americanos como un modo de compensar con el numerador de la ecuación (1) el alto valor del denominador que allí (en EEUU) se daba cuando se requerían altas potencias.

La eficiencia del dispositivo de tiro como máquina de bombeo de gases puede ser expresada, en el lenguaje de la especialidad, mediante la curva de contrapresión-vacío. La fig. 2 muestra los resultados experimentales alcanzados por el autor.

Dado que, como ya se ha dicho, el último paso de la evolución del vapor se da en el eyector y acerca del cual la termodinámica enseña tiene la máxima importancia, no cabe escatimar esfuerzos para mejorar su eficiencia de bombeo.

7. Adherencia.

El peso adherente debe ser el mínimo posible porque es caro de construir y mantener. La adherencia es un fenómeno que solo recientemente ha empezado a ser científicamente estudiado, habiendo una considerable experiencia conducente a satisfacer la desiderata arriba expresada (4). Esta situación se agudiza en los diseños modernos en los que la relación (potencia/ peso de máquina) es muy elevada y que ha pasado desde unos (clásicos) 18 CV_e/t a cerca de 50 CV_e/t en los últimos diseños del autor.

Cabe repetir una vez más que el condicionante más importante de la adherencia es la contaminación del par riel-rueda: una capa de apenas algunas moléculas es suficiente para desmejorar el cuadro y por lo tanto cabe agotar todos los recursos que tiendan a asegurar la máxima limpieza. En esto, el Departamento de Vía y Obras debe asumir su parte en el juego.

8. Diseño de los mecanismos

Todavía deja mucho que desear el nivel alcanzado en orden a conseguir la máxima confiabilidad durante largos períodos de trabajo sin inspección. Esto es fácilmente comprendido cuando se comparan

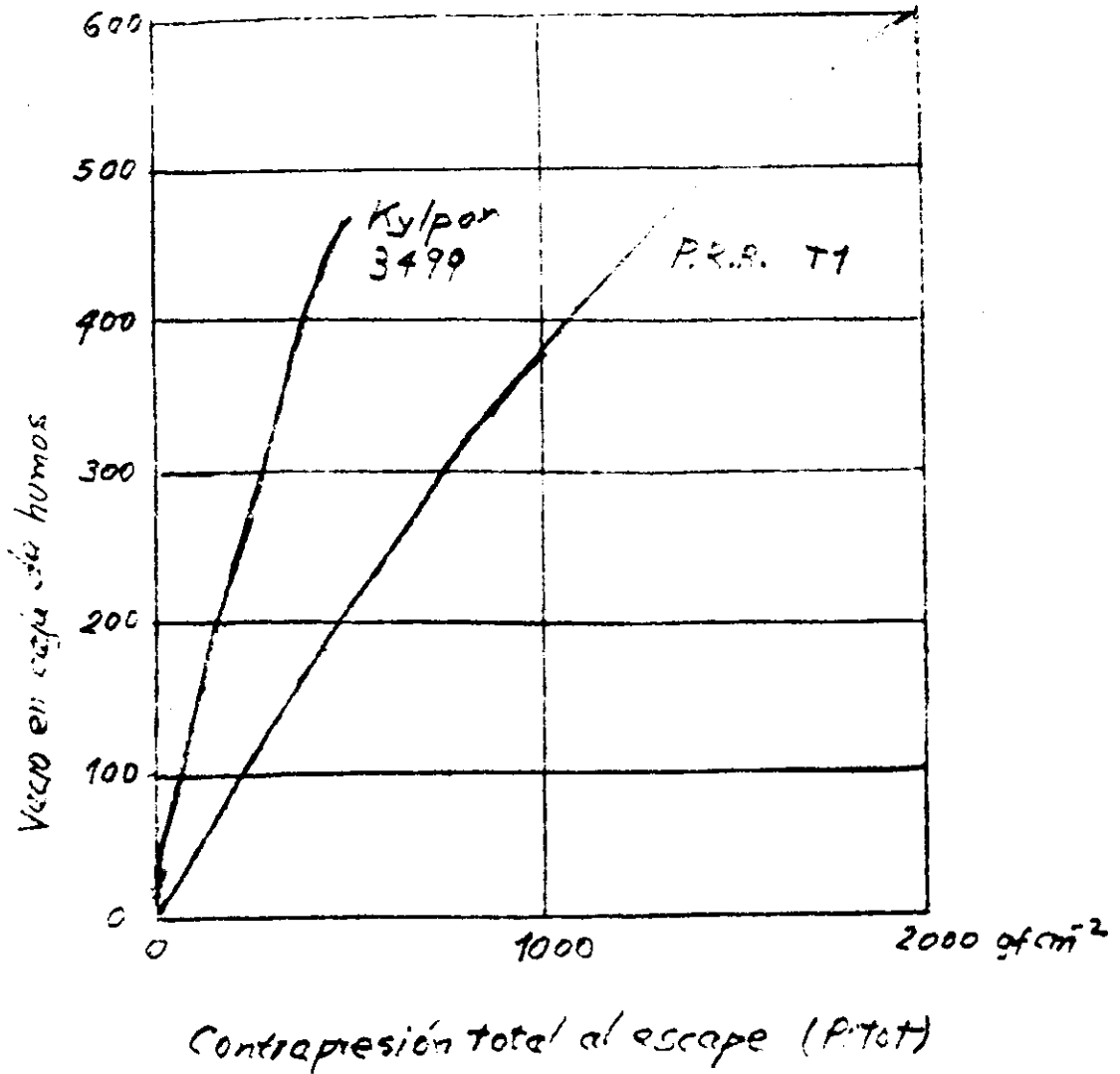


Fig 2 Característica del eyector Kylpor. (experimental)
(desarrollado por el autor)

los millones de vueltas que hace un motor de combustión interna antes de requerir inspección de las partes interiores. Puede tolerarse el desgaste, pero no el aflojamiento o la rotura de elementos mecánicos. Dos puntos afectan en forma clave la confiabilidad de los mecanismos:

1. La necesidad de alcanzar un mucho más perfecto diseño de los detalles; los ferroviarios se acostumbran a convivir con sus enfermedades y prefieren cambiar una pieza rota o apretar un bulón que se afloja por centenares de veces antes que corregir la falla.
2. La tornillería de las locomotoras deja mucho que desear.

Es un error creer que la cuestión reside en impedir que la tuerca gire. Aun cuando se atravesaren clavos en las tuercas, no hay bulón que tarde o temprano no se afloje; esto ocurre porque se dan pequeñas deformaciones plásticas. La construcción en acero fundido es una válida alternativa porque el problema de las uniones abulonadas aun no ha recibido una completa solución, y esto es cierto para el (maravilloso) bastidor integral fundido en una sola pieza de acero.

Confiabilidad tiene poco que ver con "robustez" entendida en el sentido de agregar espesores extras por todas partes.

Toda locomotora debe ser diseñada para exigir un mínimo de requerimiento a la vía, para no mencionar el tolerar un bajo nivel de mantenimiento de esta conducente a una marcha insegura y dura en velocidad. Si bien no debiera recurrirse a las altas cargas por eje del pasado (sobre todo en EEFUU), es menester tener presente que no es el peso nominal lo que cuenta sino las fuerzas que actualmente se dan durante la marcha. Los impactos laterales son mucho más dañinos que los verticales, y por lo tanto la incorporación de disposiciones que otorgan una flexibilidad lateral controlada debe ser vista favorablemente. Pero la cuestión fundamental es la de tener una marcha estable, esto es: que cualquier oscilación sea natural y fuertemente amortiguada sin intervención de las pestañas. Si esto se consigue, no habrá desgaste de pestañas y será posible prever un importante juego entre rueda y riel, como se demostrara con éxito en la locomotora experimental 4-8-0 construida por el autor (fig. 4). La consecuencia práctica es que el guiado no es asegurado por las pestañas y de que es innecesario tener una (costosa) alineación de precisión en la vía. Esto es contrario a la tendencia mundial en la materia, pero obviamente más barato. Cabe recordar que la vía es la parte más costosa del ferrocarril y que debiera, en consecuencia, ser lo más liviana posible a fin de reducir las inversiones.

Las altas velocidades de rotación imponen un cuidadoso diseño de las masas alternativas, las que en el pasado han sido innecesariamente pesadas. Aun sin recurrir a aceros especiales, es posible alcanzar una sensible disminución de esas masas a tiempo que pueden adoptarse mayores tensiones de trabajo si se garantiza una adecuada protección contra el mal trato y contra los esfuerzos parásitos originados en los desalineamientos del mecanismo.

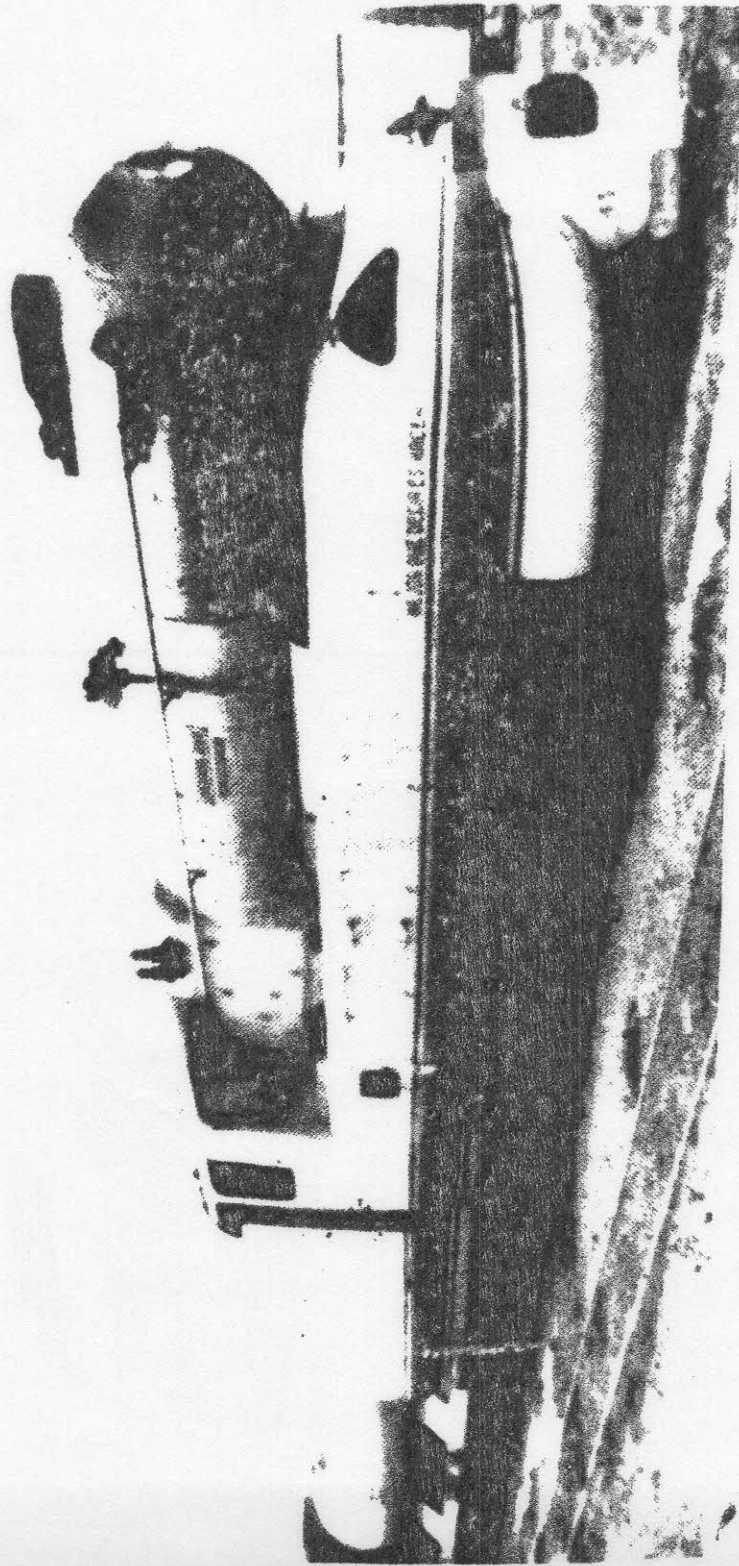


Fig. 4. Locomotora 4-8-0 construída por el autor. (Argentina)
Trocha métrica. Potencia continua 2 200 CV al gancho. Velocidad máxima 120 km/h
Potencia máxima 31 CV_e/t . Peso por eje 13,8 t

Las fuerzas de inercia generadas por las masas alternativas determinan dos tipos de oscilaciones: 1) de adelante-atrás; 2) de serpienteo. Es interesante reducir su importancia y para ello se disponen de contrapesos en las ruedas. El equilibrado en el plano horizontal se consigue a expensas de la uniformidad en la carga de la rueda sobre el riel. Por lo tanto, el primer paso es determinar cual es el incremento dinámico que puede absorber la vía, lo que, como es obvio, depende de su robustez. Este incremento dinámico- que debe ser uniformemente distribuido sobre todas las ruedas acopladas- es de una naturaleza "blanda" por oposición a las fuerzas de impacto a que dan lugar los motores suspendidos por la nariz a pesar de su incremento dinámico "cero".

Los contrapesos "alternativos" quedan definidos por dos parámetros (grados de libertad): su masa y su calaje (ángulo). Se puede jugar con ambos parámetros en forma de controlar las vibraciones de que se habla más arriba; en cualquier caso es interesante incrementar la masa sacudida por las fuerzas, lo que conduce a hacer participar al tender de los movimientos de la máquina. Esto se consigue gracias a acoplos capaces de transmitir fuerzas verticales y horizontales-laterales.

Las máquinas de tres o cuatro cilindros son naturalmente equilibradas en relación a los movimientos de adelante-atrás.

La correcta secuencia en el proyecto del equilibrado de las masas alternativas es la que sigue: 1) definir el máximo incremento dinámico tolerado por la vía; 2) reducir la importancia de las masas alternativas en todo lo posible; 3) solidarizar la masa del tender con la de la máquina mediante un acoplamiento apropiado; 4) colocar tanto contrapeso alternativo cuanto pueda tolerar la vía; 5) calcular las aceleraciones y amplitudes de los movimientos resultantes; 6) controlar si sus valores están dentro de lo admisible. Tales límites admisibles están aún definidos subjetivamente. No es posible tolerar muy fuertes aceleraciones en razón de los incrementos de tensiones que aparecen por doquier y debiera ser posible definir esas máximas aceleraciones en relación con dichos incrementos. Las vibraciones son fuente de desgastes, aflojamientos, fugas en las uniones de las cañerías, etc., con lo que se reduce la confiabilidad y aumenta la necesidad de mantenimiento "menudo". El problema puede ser atacado desde dos aspectos: reducir las vibraciones y hacer la maquinaria resistente a ellas. Los ingenieros americanos estuvieron en algun momento "hipnotizados" por los problemas del equilibrado en razón de la introducción de servicios de alta velocidad efectuados con locomotoras ordinarias, lo que resultaba en rieles rotos y torcidos. Pero, a su vez, el nuevo "diesel" trajo consigo otros problemas que les crean propios a pesar de su incremento dinámico "cero". No tiene mucho sentido exigir locomotoras de vapor sin incremento dinámico.

Ninguna cadena es más fuerte que su eslabón más débil. En un servicio caracterizado por largos recorridos, denso tráfico, etc. que demanda un estricto cumplimiento del horario y una gran confiabilidad, la falla del más pequeño detalle puede causar una catastrófica desarticulación del tráfico, esto cualquiera sea la bondad y excelencia del diseño del resto de la locomotora. Tómese el clásico ejemplo de los cojinetes que dan lugar a recurrentes recalentamientos. Si bien los parámetros que afectan el diseño de tales partes pueden ser manejados bajo control (por ejemplo proveyendo superficies más amplias), para alcanzar un alto grado de performance integral es menester que una larga cadena de factores sea adecuadamente resuelta y garantizada gracias a una seria disciplina técnica y conocimientos profundos. Es imposible, en el presente estadio de la tecnología de las locomotoras de vapor, asegurar la satisfacción de un servicio de calidad si tales providencias no son adoptadas, y esto cualquiera sea la cantidad de dinero puesta en juego. Por lo tanto, si las circunstancias son tales que tal know how no existe, la inevitable consecuencia será que los recorridos tendrán menos extensión; los kilometrajes mensuales, más bajos; el número de locomotoras necesario para un servicio dado, mayor; mayores costos y exigencias de mantenimiento y reparaciones, etc., y una aceleración del promedio paraíso de una (innecesaria) electrificación o dieselización. Sin duda, hay todavía un largo camino a recorrer antes de que las locomotoras de vapor puedan ser operadas, como los automóviles, por personal no especialmente entrenado.

Las máquinas no titularizadas (pooled) no tienen dueño. En el pasado, la afectación de cada locomotora a una pareja de maquinista y fogoneero fue un poderoso recurso para hacer frente a diseños imperfectos y puntos débiles. Las locomotoras americanas demostraron en Francia, una gran superioridad en ese respecto, lo que conduce a tratar de copiar esa técnica. No obstante, no hay que despreciar ninguna oportunidad para aplicar, siquiera parcialmente, algún tipo de titularización.

Los constructores de locomotoras diesel tuvieron una temprana y desagradable experiencia: equipos bien probados en la práctica de las instalaciones fijas fallaban prematuramente sobre los rieles por causa de las vibraciones. Por lo tanto, todo criterio mecánico basado en la experiencia habida con esas máquinas fijas no puede así como así ser aplicado al diseño de las locomotoras. La correspondiente teoría falta aún, pudiendo decirse que uno de los puntos más importantes se refiere a las uniones abulonadas.

9. Las máquinas de maniobra.

Este grupo está caracterizado por:

- Una gran parte de su vida transcurre en la gama de bajas velocidades.
- La operación es fuertemente irregular e intermitente.
- La velocidad máxima es pequeña.

Es obvio que no se puede diseñar máquinas de maniobra con los mismos criterios que se aplican a las locomotoras de línea. La administración del ferrocarril debe decidir si el servicio de maniobras no es más conveniente y barato sea efectuado por las locomotoras de línea como complemento de su rotación de trabajo principal. Si se considera necesario recurrir a diseños especiales, es menester hacer una completa revisión del insatisfactorio estado actual de la cuestión empezando por reconocer que una tal locomotora es una máquina termodinámica cuyo objeto es producir tráfico. Las varias mejoras a implementar deben tener presente la necesidad de reducir las pérdidas por condensaciones y acción de las paredes y que ocurren a cada enfriamiento subsiguiente a toda interrupción del servicio; como obtener el máximo sobrecalentamiento bajo régimen de caldera; compounding; alimentación por agua caliente para mejorar el ciclo; cortos esfuerzos muy elevados que excedan del límite de adherencia; trabajo expansivo del vapor; pérdidas insignificantes cuando la unidad está bajo servicio y presión pero detenida; largo tiempo de trabajo sin atención ni preparación; conducción unipersonal, etc. Esta última condición es muy fácilmente realizable como lo prueba una larga experiencia, pero está sujeta a las relaciones laborales.

10. Contaminación del ambiente.

En primer lugar es menester relacionar la contaminación con el trabajo realizado y apreciar de lleno su creciente importancia. Por lo tanto el grado de contaminación puede ser medido en gramos de contaminante / CV_b h conforme a la ecuación que sigue:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Contaminación} \\ \text{g/CV h} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo especif.} \\ \text{de combustible} \\ \text{g/ CV}_b \text{ h} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \% \text{ de materia} \\ \text{contaminante por} \\ \text{unidad de} \\ \text{combustible quemado} \end{array} \right\}$$

Este debe ser relacionado con el tiempo de marcha, y se echa de ver que una alta eficiencia térmica es un factor favorable. El otro factor es la perfección de la combustión. La moderna tecnología permite materializar chimeneas limpias sin humo o gases contaminantes y apenas una traza de CO, hidrocarburos no quemados u óxidos de nitrógeno.

Otra fuente importante de contaminación es la emisión de carbonillas. El bajar el consumo específico de combustible, una amplia parrilla y el sistema de combustión a la gasógena permite una reducción de 5 a 50 veces. Las cenizas pueden ser incorporadas a la mayor parte de los cementos.

11. Sobre hombres y máquinas.

El presente estudio debiera versar sobre "...hombres y locomotoras": esta asociación es inevitable. En el actual estado de la tecnología de las locomotoras de vapor, su correcta operación depende en no poco de los hombres que están en la línea; esto en forma distinta de la que se da con las locomotoras diesel o las eléctricas: en éstas, los fabricantes han incluido una mayor proporción de esfuerzo propio para resolver la mayor cantidad de problemas que pueden presentarse. Ellos han puesto detrás del diseño de tales máquinas una enorme montaña de know-how cuyo costo se reparte sobre una gran cantidad de unidades iguales producidas en masa. Por el contrario, los problemas del vapor deben ser enfrentados por los hombres de cada ferrocarril, y aquí hay que tener en cuenta un importante hecho: hay poco intercambio de información a escala internacional, en tanto que la lozanía de la literatura técnica de los competidores del vapor es más que brillante.

Los hombres son capaces de cualquier esfuerzo con tal de no pensar, principio este que por su carácter fundamental debe ser incorporado y tenido presente en todo diseño. Esto es válido para los siguientes tres grupos:

- La administración general y técnica
- Las fuerzas operativas.
- El personal de conducción

Otro principio fundamental dice que la acción pasa por la línea del mínimo esfuerzo, lo que implica que todo debe ser pensado de antemano en forma de hacer coincidir los procedimientos de trabajo más eficientes con la línea del menor esfuerzo. Es absolutamente esencial cambiar los métodos prevalentes de entrenamiento del personal. Por una parte las locomotoras debieran ser diseñadas para requerir una conducción hecha en base a menos exigentes conocimientos y entrenamientos especializados; y por otra, ese entrenamiento debe ser hecho por maestros competentes que sustituyan el actual "arréglese como pueda". Pero una enseñanza detallada implica que haya definidos y firmes conceptos a enseñar, algo que faltó en el pasado (recordar las vaguedades acerca de la forma de bajar el regulador).

La máxima proporción de energías físicas y psíquicas de que disponen los hombres que hacen la conducción y el manejo debe destinarse a incrementar la eficiencia de su trabajo y no a luchar contra el calor

ambiente, asientos no confortables, frías corrientes de aire, "nerviosismo" de la máquina, mala producción de vapor, combustible fuera de norma, bajo mantenimiento, incorrecta operación del tráfico, precauciones de vía que no son razonables, pobre visibilidad de las señales, falta de incentivación para encontrar alegría en el trabajo diario, suciedad, lluvia, humo, insuficiente capacitación del compañero, falta de cooperación de los demás, falta de comprensión de parte de los superiores, carencia de visión de lo que puede esperarse de la vida por delante, etc.

La línea del mínimo esfuerzo pasa, para la administración, no precisamente por las cifras de costo, sino por la zona de los "dolores de cabeza": la mejor locomotora es aquella de la cual uno puede olvidarse. De hecho, las decisiones de alto nivel son sujeto de presiones de la publicidad, intereses y otras no técnicas. El proyectista debe tener presente todo lo que antecede empezando por recordar el desagradable efecto que se da con las inevitables dificultades iniciales que dan lugar a las críticas de los que no hacen nada.

12. Operación

El viejo esquema conforme al cual una locomotora es encendida, engrasada, preparada, provista de agua y carbón, etc., antes de efectuar un servicio para ser luego guardada a su regreso, reparada, reaprovisionada, etc., ciclo que se repite cada vez, debe ser reemplazado por otro completamente nuevo.

- a. Debiera ser posible operar a plena potencia máxima por tiempo indefinido, hora tras hora, día tras día; para esto se requiere:
 - El diseño de la parte mecánica debe ser capaz de aguantar semejante tratamiento sin desgastes no razonables y con entera confiabilidad.
 - Los intervalos de lubricación, provisión de combustible y agua, preparación, etc., deben ser lo más largos posible y organizados de tal modo de aprovechar las naturales detenciones impuestas por el tráfico, haciéndose las mencionadas operaciones sin desacoplar la máquina de su tren.
 - La caldera debe ser capaz de una vaporización continua e indefinida sin requerir interrupciones para limpiar fuegos, tubos, etc., lo que es ahora posible gracias a la combustión a la gasógena.

También debe ser posible mantener una locomotora en presión por un tiempo razonablemente largo y sin vigilancia.

- b) La disponibilidad de máxima potencia debiera ser instantánea como se da en una locomotora eléctrica.
- c) La longitud de recorrido continuo debe ser mayor que la exigida por las circunstancias locales.
- d) La misma velocidad debe poderse alcanzar en ambos sentidos de marcha.

En otras palabras: no debiera haber ninguna razón por la cual una locomotora de vapor no sea capaz de satisfacer a una locomotora eléctrica o aún trenes de unidades múltiples. Se considera que está desiderata es posible dentro del esquema stephensoniano actual y tradicional, habiendo el autor alcanzado en su experiencia un punto no demasiado lejano a la misma.

El trabajo en múltiple ha sido en múltiple conocido desde los primeros tiempos del vapor, y aún lo que ahora se llama "locomotras esclavas", sólo que con la previsión de personal en cada máquina. Si bien es posible desarrollar controles por radio y computerizados, una solución intermedia puede ser atractiva en numerosas circunstancias. La automatización requiere que todo un país satisfaga la gran cantidad de condiciones que deben servirle de soporte para no caer en esa gran cantidad de "automáticos manejados a mano" que el autor conoce muy bien.

La forma en como se corre un tren ha sido materia dejada a la discrecionalidad de los maquinistas: sin embargo hay maneras de hacerlo mejor o peor. Desde los primeros días de la tracción eléctrica se puso en juego un importante bagaje matemático para elegir las mejores variantes de conducción. Por lo que hace al conocimiento del autor, sólo en Inglaterra se desarrollaron métodos científico-técnicos destinados a resolver este problema con el vapor, que también recibió atención por parte de Chapelón (6). La generalización de la tracción diesel, así como de la eléctrica, y también el uso del petróleo, separó la relación anteriormente existente entre el esfuerzo de la máquina y el de los hombres conforme era de regla en la época del vapor a carbón o leña y que se traducían en una economía de energía porque de ella resultaba un ahorro de energía humana y fatiga. Trabajar una locomotora al máximo de su capacidad implicaba un esfuerzo de atención, tensión nerviosa, esfuerzo físico, etc., lo que se traducían en una definida tendencia a utilizar el mínimo de combustible.

Antes de atacar el antedicho problema, deben explicarse los fundamentos que definen "correr bien un tren".:

- a. Proceder dentro de las normas de seguridad tanto para las vidas cuanto para el material.

- b. Observar el horario dentro de un significativo grado de precisión conforme al tipo de servicio de que se trata.
- c. Consumir el mínimo de energía (combustible), esto con importancia crecientemente dramática.
- d. Esforzar lo menos posible los hombres y la máquina.

Varios son los factores que inciden en la corrida de trenes:

- 1. El tiempo avanza solo en una dirección: hacia adelante. Una vez que se ha perdido no puede recuperarse.
- 2. Una velocidad uniforme es conducente a una buena economía energética. De aquí la conveniencia de una aceleración rápida, fuerte marcha cuesta arriba, frenado rápido en las detenciones, no correr demasiado cuesta abajo, no tener reducciones de velocidad causadas por el tráfico o precauciones de vía, etc.
- 3. El tiempo perdido en llegar a la velocidad de régimen depende de la potencia (CV/t de tren) y no de la máxima aceleración inicial. Un alto esfuerzo de arranque es solo utilizado por un corto tiempo, en tanto que un buen y sostenido esfuerzo en velocidad es necesario para tener aceleración apreciable en la gama de alta velocidad. La consecuencia fundamental es que la vara de medida de la capacidad aceleratriz es la potencia al gancho y no el esfuerzo inicial. Esto es aproximadamente válido para todas las formas de tracción. Por ejemplo, si se ponen 3000 CV_e en un tren de servicio suburbano, no importa que esa potencia esté concentrada en una locomotora o distribuida en un gran número de ejes a lo largo del mismo. Y la máquina puede ser de vapor, diesel o eléctrica. No es cierto que la aceleración dependa de la adherencia; es responsabilidad del proyectista proveerla en forma suficiente para transmitir la potencia instalada.
- 4. Todo frenado innecesario consume energía.
- 5. Las pequeñas demoras suman haciendo un gran total.
- 6. Lo que cuenta es la velocidad media respecto del tiempo y no respecto del espacio.
- 7. Los requerimientos de potencia (inversiones financieras en la tracción eléctrica) crecen fuertemente con la velocidad. Los consumos de energía, no tanto. Por ello es mucho mejor "hacer caminar los trenes cuando están detenidos" que correrlos a gran velocidad y perder tiempo en detenciones.

8. Las preocupaciones permanentes afectan severamente la co-
rrida de trenes. Por lo tanto los trabajos de vía deben ser
realizados en tiempo calendario mínimo.
9. La experiencia prueba que un mismo horario se hace con menor
trabajo dinamométrico y menor potencia de punta cuando la
locomotora es más pequeña. (6).
10. El personal de conducción debe ser consciente de los antedi-
chos principios.

13. Rendimiento térmico.

En el pasado, el menor consumo de combustible ha sido argumento clave cuando se ha comparado la tracción a vapor con la eléctrica o la diesel. La menor eficiencia térmica de la primera, asociada a la necesidad de utilizar carbones de alta calidad (cokizantes) no podía ser negada. Había diesel-oil en abundancia y la electricidad producida, era recursos hidráulicos, era por combustibles pobres quemados al pie de mina, era competitiva sobre la base de menores costos.

El rendimiento térmico es algo de naturaleza académica, principal-
mente si se habla del que se obtiene en las corridas de ensayo: lo que
cuenta es el consumo total anual en relación al tráfico realizado y esto
expresado como esfuerzo social de la comunidad. Sin embargo, es intere-
sante saber cuales son los valores alcanzables entre la pila de combusti-
ble y el trabajo dinamométrico bruto cuando se considera la totalidad de
las pérdidas:

<u>Tipo de tracción</u>	<u>Rendimiento térmico</u>
- El mejor vapor clásico (no chapeloniano)	Aprox. 6 %
- El vapor considerado en el presente trabajo	" 10,5%
- Tracción eléctrica	" 17 %
- Tracción diesel	" 21 %
- Tracción a vapor en el futuro	" 15 %

Todavía las precedentes cifras debieran ser corregidas para poder referirlas a la energía primaria disponible en la propia fuente tal co-
mo se la encuentra en la naturaleza. Esto tendría en cuenta la energía
perdida en las operaciones de minería, refinación, transporte, etc.,
del combustible y que están lejos de ser despreciables. Es más: debiera

computarse la energía insumida en el equipo de tracción.

También por una parte, debe tenerse presente que el vapor nuevo, del que aquí se habla, no solamente obtiene un mejor rendimiento térmico que el clásicamente considerado, sino que también esto es conseguido con menores inversiones, combustibles de calidades menos "nobles", mejor performance en tráfico, etc.,. Por otra parte la tracción diesel está en seria desventaja por causa de un forzoso uso de productos derivados del petróleo, en tanto que la electrificación acusa la carga de muy altas inversiones y de la escasez de cobre y aluminio que ya se vislumbra.

Podrían todavía anticiparse mayores progresos a darse en un vapor de tercera generación y que incluiría importantes novedades técnicas, algunas de las cuales ya fueran sugeridas por Chapelón: más alta presión del vapor, condensación a presión menor que la atmosférica, mayor temperatura del vapor, etc., que resultarán en cifras de rendimiento térmico (en ensayo) cercanas a 25%.

Es de esperarse que el carbón y la leña, a costos razonables, aunque elevados, sirvan en las próximas décadas; pero a medida que pase el tiempo los precios que prevalecerán serán los de escasez. En consecuencia es necesario empezar ahora el desarrollo del vapor de avanzada si es que esta forma de energía para los ferrocarriles ha de sobrevivir.

14. Notas finales.

El diseño de locomotoras es un asunto que debe integrarse en la vida ferroviaria como un todo. Si bien este es un principio importante, ha sido muchas veces olvidado en el pasado. El proyectista ha de tener muy presente las características más generales del problema que le ha sido encomendado especialmente en lo que hace a los aspectos humanos. Los materiales disponibles, los hábitos de la gente del país, la forma del tráfico, el combustible, etc., son importantes condiciones. En otras palabras: dos diseños de iguales características de tracción pueden ser muy diferentes si han de trabajar en Londres o en Pakistán. Sin embargo, si el proyecto se prepara para las más desfavorables condiciones dará óptimos resultados caudno las circunstancias sean mejores. Por ello, hay que diseñar para lo peor.

Mucha gente pensó que la locomotora de vapor estaba ya fuera de la escena ferroviaria. Sin embargo, pocos se han dado cuenta del progreso llevado a cabo hacia el final de lo que se llamó su era (hay todavía 40.000 locomotoras trabajando en el mundo) o de la plenitud de sus potencialidades. Un pequeño grupo de ingenieros continuo estudiando e investigando (7) habiéndose ganado considerable experiencia en los últimos 25 años, la que no solo se ha mostrado en forma de ideas

nuevas (p. ej., el sistema de combustión a la gasógena) sino como la adaptación a las nuevas condiciones técnicas y sociales. En tanto que una línea de pensamiento fue el desarrollo de nuevas formas avanzadas, también se dio el proceso de consolidación de la clásica máquina alternativa de escape libre, sin condensador. Este proceso fue iniciado en 1930 por Chapelón, quien mejoró el ciclo teórico de trabajo y la eficiencia conforme a la cual la máquina real se inscribe en él, esto último obtenido gracias a la magia de lo que se ha dado en llamar el "aerodinamismo interno".

El proceso ha continuado con el refinamiento del pensamiento chapeloniano y especialmente gracias a la incorporación de información sacada de otros campos científicos, para no hablar de un denodado esfuerzo en integrar los mejores desarrollos tecnológicos habidos en distintos países. Esto es lo que ha resultado en la completa revisión del diseño que se da cuenta en el presente trabajo: hay poca duda de que apreciar de lleno su significación hay que referirlo a lo que era en el pasado la corriente tecnología del vapor.

La presente crisis de la energía y el petróleo ("un terremoto a plazo fijo") ha resucitado de un solo golpe la locomotora de vapor porque es un modo de energía para ferrocarriles que no requiera petróleo y que permite dejarlo para los usos en que no es sustituible. Si bien muchos están preparados para aceptarla bajo alguna forma nueva -por ejemplo algo que se aproxime a la altamente sofisticada y eficiente tecnología de las usinas productoras de electricidad- el autor cree firmemente que la locomotora clásica con mecanismo alternativo y caldera stephensoniana todavía tiene un honorable lugar bajo el sol.

Se trata, en substancia, de una clase de ingeniería que ya mismo está disponible para enfrentar la crisis del petróleo, en tanto que esas nuevas formas requieren no poco desarrollo. Esto justifica el presente trabajo por el cual se espera transmitir una experiencia duramente adquirida y asimismo apretar el gatillo de nuevas líneas de pensamiento.

El diseño de locomotoras debe todavía ser más completamente integrado en el contexto de la crisis de energía y petróleo (8) y también dentro de los tiempos de austeridad que se avecinan:

"...La crisis energética ha venido a constituir la garantía de una vuelta
" al riel, quizá a marcha forzada en los próximos años en no pocos casos.
" Con ella se conjuga una creciente escasez de materias primas, la crisis
" alimentaria que afecta a media humanidad y, en fin, la inquietante con-
" ciencia de que vivimos en un mundo limitado que, en pocas décadas más,
" difícilmente podrá albergar una cantidad indefinida de habitantes y me-
" nos aún garantizarles el alto nivel de vida que ha llegado a ser común.

La crisis energética implica:

1. El fin de la era del petróleo barato. En rigor, si nos sentimos responsables de la generación que hoy nace, su retaceo y reserva para los casos en que pueda calificarse de insustituible será erigido en principio político corriente.

Ni siquiera los países con abundancia de tan precioso recurso se han de sentir ajenos al proceso. Un precio quintuplicado (internacional) desde dos años antes de iniciarse la progresiva brecha entre la oferta y la demanda es argumento incontestable para preferir alternativas basadas en su prescindencia.

2. El recurso a sustitutos a su vez limitados, pero que permitirán afrontar el problema por un tiempo suficientemente largo - con buena probabilidad más de un siglo- hasta que otras alternativas tales como la (aún lejana) energía de fusión atómica se vuelvan económicamente utilizables, si es que para entonces, además de sus problemas propios, se resuelven los de su distribución, puesta en duda por la escasez en ciería del cobre y del aluminio.

El carbón, la energía hidráulica y la leña del bosque ecuatorial y tropical llevarán el peso de la nueva era sin petróleo. Otros recursos, tales como la energía atómica de fisión, la energía eólica y la geotérmica han de aportar lo suyo, bien que con toda probabilidad en cuantía modesta.

Ante ese cuadro, hasta ayer reservado a unos pocos especialistas y hoy en trance de divulgación generalizada, el ferrocarril ofrece:

- Su limitado consumo por unidad de tráfico y distancia, 4 veces menor que las mejores alternativas del autotransporte y menos aún si se la coteja con el automóvil y el avión.
- Su aptitud para prescindir totalmente del petróleo y sus derivados, ofreciendo eficientes técnicas ya puestas a punto y adecuadas a los diversos rangos de densidad de transporte.

Es entonces perfectamente posible imaginar una nueva era del transporte terrestre en la que el ferrocarril recobre el papel preponderante que tuvo otrora y con una calidad de los servicios que necesariamente ha de reflejar los adelantos tecnológicos de los últimos treinta años, muchos de los cuales aún a la espera de la oportunidad de manifestarse en insospechable alcance.

Falta de dinero para inversiones, crisis energética, escasez de petróleo, recursos limitados en materias primas, creciente población mundial, escasez de alimentos, amplias reservas de carbón y leñas de bajo rango, austeridad, transferencia del tráfico a los ferrocarriles, etc., son problemas en los cuales un vapor de segunda generación puede ofrecer una definida, ya disponible, respuesta dentro del marco de la filosofía que este trabajo anticipa.

Pero todo tiene un inmenso y gran condicionante; hace falta para todo ello las ganas de hacerlo. "the will", como dicen los ingleses.

A P E N D I C E S

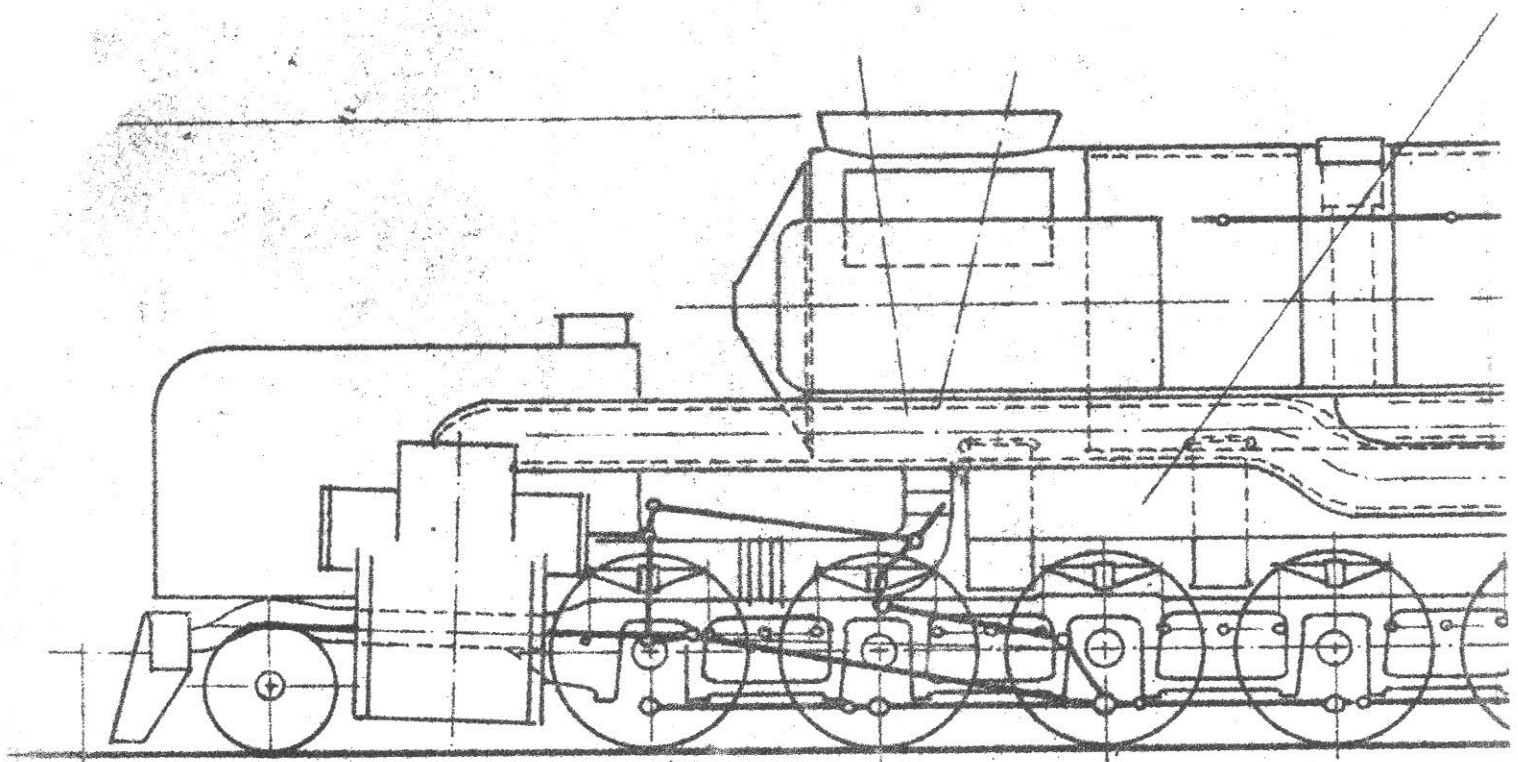
Apéndice Al. Un ejemplo de adición de efectos.

Supóngase que la temperatura del vapor es incrementada, reduciéndose en consecuencia el consumo específico teórico de vapor y también el práctico. Este era un restringido enfoque conforme al cual la cuestión se veía en el pasado pero se puede mostrar una lista de efectos aditivos a modo de explicación:

Para una potencia indicada dada se tiene:

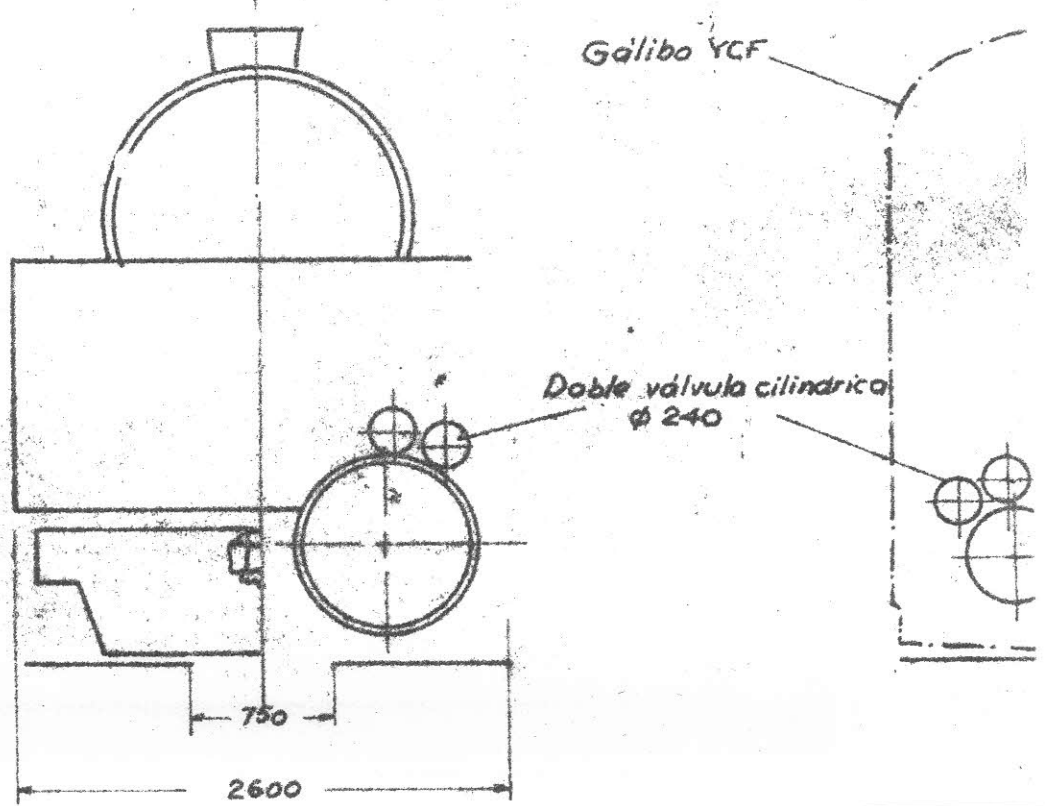
- La menor densidad del vapor conduce a menores pérdidas de presión en las cañerías, lumbreras de cilindro, válvulas, conductos de escape, etc.
- La mayor temperatura del vapor de escape da lugar a una mayor capacidad de trabajo y en consecuencia una menor contrapresión.
- La temperatura de las paredes del cilindro son mas altas, tanto que si el punto de saturación es sobrepasado hay una importante reducción en el consumo específico a causa de la supresión del efecto de condensación sobre las paredes.
- Menor cantidad de vapor se requiere para hacer un trabajo dado: de allí que el volumen de la cámara de vapor en la caldera pueda ser menor, y así también el tamaño general de esta y el de las partes que le están asociadas (fig.1).
- Las fugas de vapor a través de los aros son menores.
- La evolución del vapor en el cilindro es más cercana a la adiabática, lo que se traduce en menor pérdida por expansión incompleta.

La lista podría continuar, pero la cuestión cabría condensarla en la expresión siguiente: "los efectos favorables superpuestos obran sinérgicamente entre sí".



Cil B.P. 870 x 640 ± 30 Beugnot ± 30 Beugnot ± 30 Beugnot
 Peso por eje, tf 8 14 14 14 14

Presion receiver 50 at. Empuje del piston 29,5 tf.

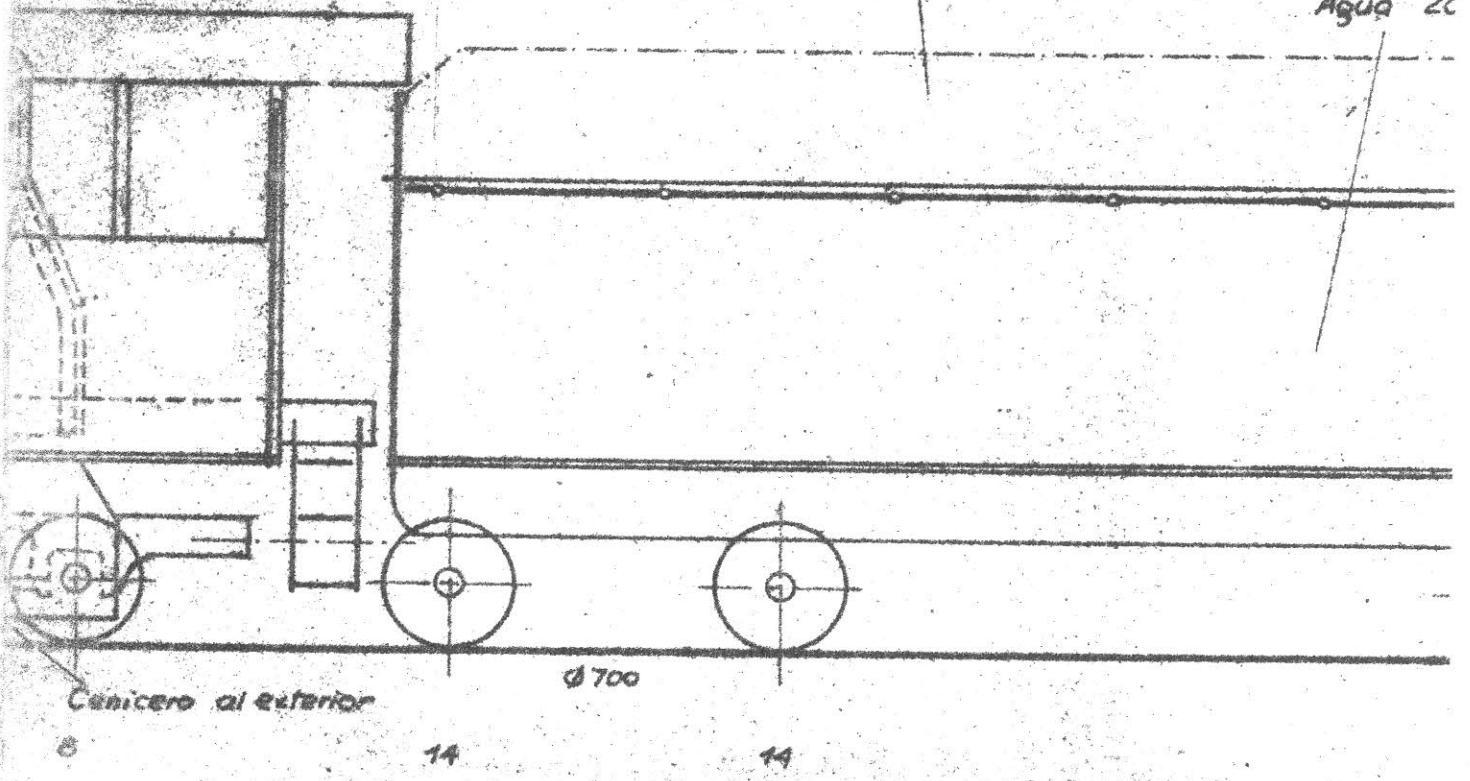


53-6

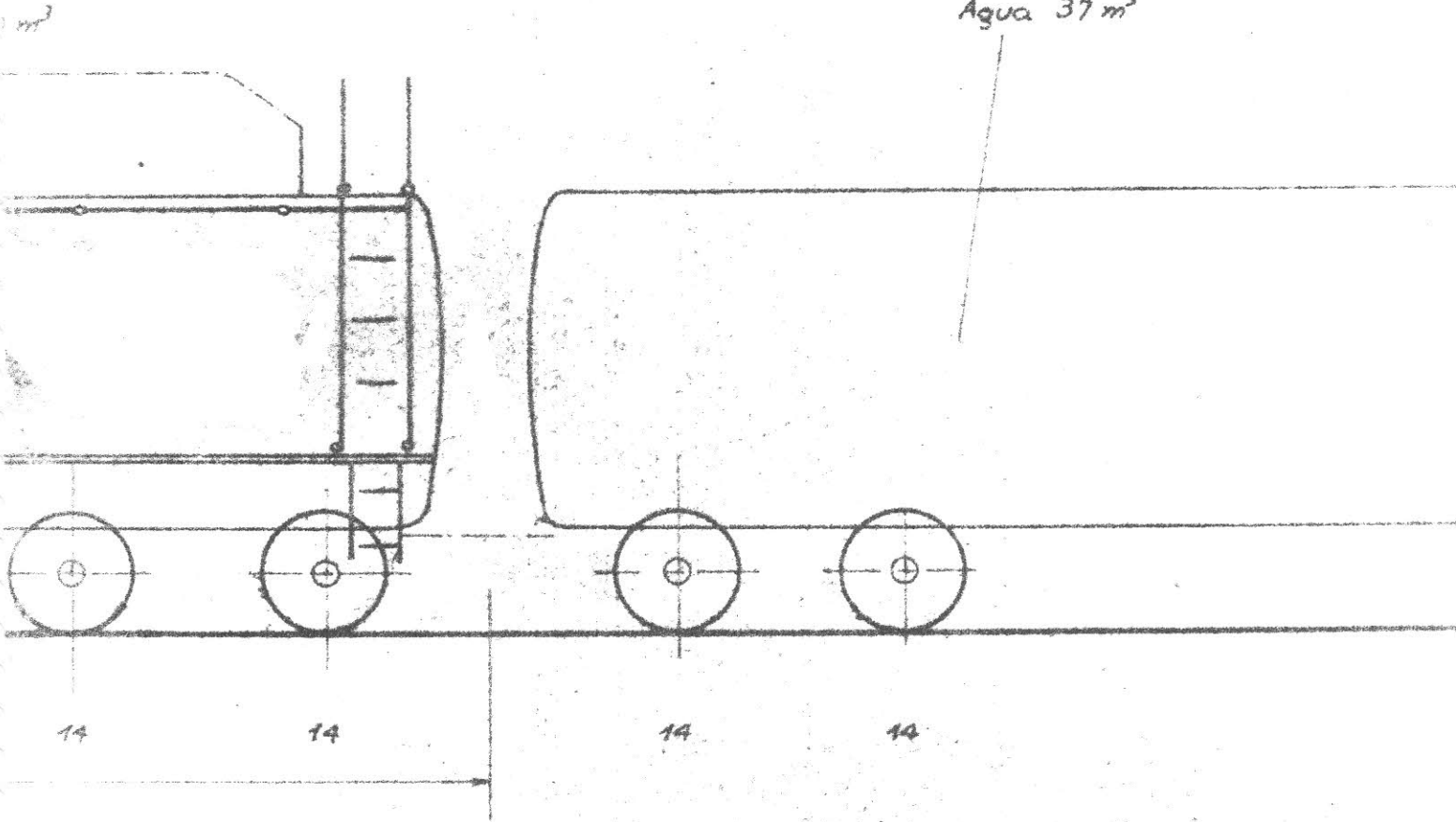
grilla

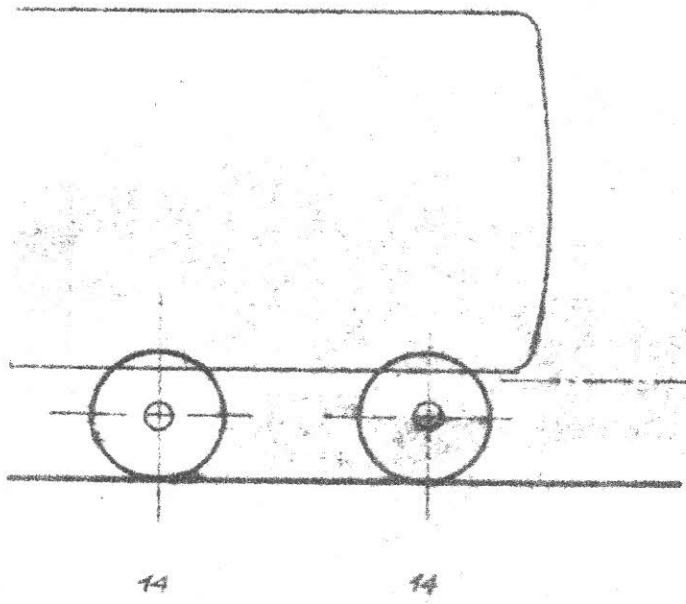
Carbón 25t

Agua 20



-53-0





Características:

- Esfuerzo máx al arranque 38000 kgf.
- Velocidad máxima: 70 Km/h
- Potencia continua al gancho: 4000 CVe

Instituto	Fecha	Nombre	Firma	Yacimientos Carboníferos Fiscales.	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL Dto. de Termodinámica.
Escala 1:40	Locomotoro MALLET Trocha 0,75 m			Edición	
				Fecha	
				Sustituye a:	
				Sustituido por	

Apendice A2. Tracción moderna para el Ferrocarril Rio Turbio.
Argentina.

La expansión de la producción de carbón de las minas de Rio Turbio a 3 Mt/año pone sobre el tapete la cuestión de decidir sobre cual es la tracción que se ha de adoptar. La línea de 280 km. de longitud, es de trocha de 750 mm. (2 ft 6 in) y está armada con riel de algo más de 30 kg/m (60 lb/yard); las rampas en contra de los trenes cargados serán de hasta 2,5 o/oo. Se ha propuesto correr regularmente trenes de hasta 7200 t. habiéndose estudiado exhaustivamente tres alternativas: 1) vapor moderno, 2) diesel y 3) electrificación integrada con la red nacional a construirse.

Los estudios han consistido en una detallada descripción de las mejores técnicas posibles para cada caso, lo que es especialmente significativo para la tracción a vapor que incorpora los progresos posteriores a 1935. Tanto ésta cuanto la eléctrica se servirán de carbón no comercializable (mixtos de lavado de 4000 Cal/kg.). La tasa de interés de las inversiones, luego de un estudio muy profundo, fue fijada en un 15% anual, valor algo elevado comparado con las cifras usuales, pero ciertamente real.

Las inversiones y gastos totales son los que se indican en los cuadros que siguen:

Aprox.	:	1 dól.	15 \$	(de 1973)
		<u>Inversión</u>	<u>Gastos</u>	
Tracción		M\$. (1973)	M\$ (1973)	
Vapor		40	15	
Diesel		70	30	
Eléctrica		120 (3)	30	

(3) No se computa la inversión de la parte alícuota de la usina y de la línea de 132 kV (\approx 120 M\$) lo que haría un total de 240 M\$.

La fig. A21 muestra las líneas generales de las locomotoras Mallet que se han propuesto: tres unidades asegurarán el tráfico y responden al pensamiento expuesto en el presente trabajo. La tracción diesel está en desventaja por causa de los crecientes precios del gasoil a nivel internacional, en tanto que la electrificación es subutilizada.

Apendice A3. Notas complementarias.

La fricción interna juega un rol no despreciable en contra de la performance de la máquina. Se tiene que:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Rendimiento} \\ \text{mecánico} \end{array} \right) = 1 - \left(\frac{\text{Presión media de rozamiento}}{\text{Presión de diseño} \left(\frac{\text{Presión media indicada}}{\text{Presión de diseño}} \right)} \right)$$

Ecuación (5)

La presión media de rozamiento es más o menos independiente de la velocidad y la carga y puede tomarse como una fracción de la presión de diseño. De ahí que cuanto más "inflados" sean los diagramas de indicador, tanto mejor. Esto implica que, para una expansión total dada, las máquinas compound tienen mejor rendimiento orgánico que las de simple expansión, particularmente aquellas con máxima capacidad de desahogo.

La fricción interna depende también de la energía perdida en choques, vibraciones generales y patinajes elementales que se dan a cada vuelta de rueda. Por lo tanto, un chasis indeformable, bien tomado a la caldera, y la aplicación de cojinetes a rodamiento que no dan lugar a juegos en las articulaciones, son favorables. Esa fricción depende también del tamaño del mecanismo, el que está largamente condicionado en sus dimensiones por el empuje del pistón. Por lo tanto, cuanto menor sea éste, tanto mejor (ver comentarios de la ecuación (3).)

El diseño de locomotoras está sujeto a la "ley de las utilidades decrecientes" (The "law of diminishing returns"). Esto significa que a medida que se avanza en el perfeccionamiento y la optimización, cada "punto" ganado cuesta esfuerzos cada vez mucho mayores y tanto que se tiene la sensación de tocar un plafond. La experiencia secular de la humanidad prueba que no es así, y el mejor ejemplo lo da la industria automotriz; en ella se gastan enormes sumas para lograr mejoras apenas perceptibles, las que, sin embargo, adicionadas han dado lugar a logros impensables poco tiempo atrás. Esto ha sido posible gracias a que el costo de la investigación y el desarrollo ha sido distribuido sobre un enorme número de unidades producidas en masa. Históricamente, el diseño de locomotoras de vapor siempre estuvo colocado en el extremo opuesto, siendo la regla la de muy pocas unidades iguales entre sí. La moraleja es que todo autoriza a pensar que el día en que tal proceder se aplique al campo que nos concierne se darán considerables progresos todavía por encima de los muy importantes que hoy apenas se vislumbran.

Puede arguirse que muchas de las ideas propuestas han fallado en el pasado. La respuesta a esta cuestión está en un cambio en la actitud mental: ¿que hay que hacer para superar esos fracasos y convertirlos en éxitos? . Otro siempre presente enemigo del progreso es la tentación

de quedarse en "lo suficientemente bueno" (algo que cáusticamente fue denominado "the good enough steam locomotive engineering"). Esta actitud dio a los oponentes del vapor "el cuchillo por el lado del mango". Los tecnólogos del diesel y de la electricidad están en permanente lucha por el progreso aún si las demandas del mercado concurrencial no provee de incentivos.

Apéndice A4. Locomotoras existentes. Su mejora.

Hay unas 40.000 locomotoras de vapor todavía trabajando en el mundo. Chapelón mostró de un modo brillante el camino de la remodelación . (6). De hecho, sus famosas 231 E y PO 4700 que alcanzaron 28 CV / tonelada de peso de máquina, eran diseños del año 1915 mejorados. Sin embargo, mucha experiencia se ha ganado desde entonces habiéndose desarrollado criterios revisados para tener presente circunstancias cambiadas.

Algunas de las remodelaciones de Chapelón ha sido verdaderas reconstrucciones que han incluido nuevas calderas y cilindros, etc., e involucrando operaciones mayores no demasiado apartadas de construir locomotoras completas nuevas. Se consiguió duplicar la potencia de diseños de por sí muy buenos, pero a costa de un considerable trabajo de oficina de dibujo: esto condicionaría su extensión a causa de la escasez de técnicos para tales tareas.

Chapelón propuso el cambio en el diseño de partes que habrían de ser substituidas por desgastes, etc., pero en las circunstancias presentes y las que se pueden vislumbrar, parece mejor destinar ese esfuerzo calificado a la construcción de locomotores nuevas. Los diseños existentes, aún cuando fueren mejorados tanto como se pueda incorporándoles alteraciones importantes, estarán siempre constreñidos por algunas de sus características estructurales o de detalle e inherentes al modelo original. La oficina de dibujo estará forzada a llevar a cabo esfuerzos considerables y limitados a la aplicación en unas pocas unidades. Esto va en contra del principio de la producción en masa comentado en el punto 11. Es posible prever que la puesta a punto y las pequeñas dificultades iniciales sean difíciles y no pocas, todo lo cual conformará un cuadro no merecedor de opiniones favorables.

La aplicación parcial de principios de diseño desarrollados para nuevas construcciones ha dado al autor excelentes resultados cuando se los ha aplicado a la mejora de locomotoras existentes sin recurrirse a cambios estructurales. La potencia ha sido incrementada en una 40-80 % y las economías han alcanzado hasta 35 % en el combustible (7).

Los principios fundamentales de tales mejoras pueden detallarse como sigue:

1. Es necesario tener un completo y cabal conocimiento de lo que debe ser la locomotora nueva ideal.
2. Se requiere una exhaustiva encuesta relativa a los pequeños defectos a corregir.
3. Aplicar tantas pequeñas mejoras cuantas sean posibles conforme a la lista que se da más adelante.
4. Debe tratarse de proponer el mínimo de cambios respecto de las prácticas mecánicas existentes. Por ejemplo, si un ferrocarril no practica la aplicación de metal blanco, debe evitarse de introducirla.
5. Se debe preparar una completa e intensa campaña educacional para explicar a todo el mundo cuales son los principios básicos que alimentan las nuevas mejoras tecnológicas. La gente no actúa sino es empujada por motivaciones y actitudes mentales. En el caso de locomotoras existentes mejoradas hay que erradicar viejos hábitos y actitudes.
6. Parte de los resultados son consecuencia de la corrección de malas prácticas. Una de las más frecuentes es el trabajo a regulador parcialmente abierto.
7. La necesidad o conveniencia de mejorar las locomotoras existentes puede deberse a una gran variedad de causas. Sólo la suma de numerosas pequeñas mejoras (disponibilidad, confiabilidad, economía de combustible, incrementos en toneladas y velocidades) tendrán influencia en modificar la estructura del tráfico. Un razonable 20% de progreso difícilmente se traducirá en dinero contante y sonante. Para alcanzar el objetivo final perseguido, se requiere un considerable esfuerzo en todos los niveles del ferrocarril. Desgraciadamente esto no encaja en las actuales tendencias que se dan en la vida ferroviaria y conforme a las cuales los problemas tienden a ser derivados a las industrias que proveen equipos.

A41. Principales mejoras no estructurales experimentadas en locomotoras existentes.

- Mejoras en el lubricador hidrostático de cilindros para incrementar su confiabilidad. Recorrido: 2000 km.
- Mejoras en la lubricación del mecanismo: recorrido de 2000 km. sin atención y eliminación de la lubricación manual sin recurrir al empleo de bombas.
- Lubricación de la suspensión.
- Cajas de eje de bronce "sólido". Lubricación por esponja.
- Pequeñas modificaciones a la distribución para permitir mayores desgastos de pernos y obtener un mejor diagrama de indicador.
- Aros de pistón angostos y en el mayor número posible: tantos cuantos caben.
- Aerodinamizado de la válvula de distribución
- Seguro para los bulones de cuñas.
- Tratamiento de aguas INTI. Antiebullicivos (poliamidas).
- Varias mejoras para facilitar el confort del manejo.
- Empleo de "bulones largos elásticos" en la unión de los elementos sobrecalentadores al colector y caños de admisión a fin de garantizar una hermeticidad duradera.
- Aislación mejorada de los cilindros.
- Perfil de llantas "Rio Turbio", autolimpiante y de mayor duración.
- Sistema de combustión a la gasógena (carbón y leña).
- Quemador RS (petróleo).
- Mínimo de enladrillado en el hogar (petróleo)
- Deflectores de humo.
- Escape Kylpor o Lempor.
- Descarga suave de las válvulas de seguridad.
- Robinetería con asientos de acero inoxidable.

Referencias

- (1) Porta, L.D.: "Ingeniería moderna de locomotoras de vapor"
Libro en preparación.
- (2) 4 Withuhn, W.: "Did we scrap steam too soon?" *Trains*,
June 1974, p. 34.
- (3) Porta, L.D.: "Adherencia". Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Buenos Aires, 1968.
- (4) Chapelón, A: "Locomotives a grande vitesse, etc.". *Rev. Gen. Ch. Fer, Fv. et Mars.* 1935.
- (5) Lawford Fry: "A study of the locomotive boiler". Simmons Boardmann Publ. Corp. New York.
- (6) Chapelón, A: "La locomotive a vapeur". Boilliere et Fils, Paris, 1938, p.849.
- (7) Porta, L.D.; "Steam Locomotive development in Argentina, its contribution to the future of railway technology in the under-developed countries". *the Journal of The Institution of Locomotive Engineers*, paper 721, vol.59, Pt. No.2 pp 205-256 (1969-1970).

"Improvements in steam traction in Argentina". *The Railway Gazette*, April 4, 1969, 271-273.

"Steam Traction for Poor countries". *Engineering*. March 7, 1969, p. 383.
- (8) Adaptado de estudios hechos por el Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Buenos Aires, Junio 1975.

301088