

LA TRACCION A VAPOR MODERNA

UN DISEÑO PARA EL FUTURO

Tomo I - Texto

Ing. Livio Dante PORTA

Buenos Aires - 1966

CURRICULUM VITAE

Estudios Cursados:

Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Matemáticas, Rosario - República Argentina.

Estudios Especiales:

2 años Instituto de Matemática de Rosario con el Profesor Beppo Levi.

Curso Especial de mecánica de los Fluidos aplicados a la técnica ferroviaria en Instituto Aerotécnico de la Facultad de Ingeniería de La Plata (Rep. Argentina) con el Profesor Nicolás Krivoshein.

Trabajos publicados:

Una locomotora casi ortodoxa con 17 % de rendimiento térmico (1957).

Utilización del carbón de Río Turbio en los ferrocarriles (1960).

La combustión a la gasógena (1961).

Actividades profesionales:

Construcción de una locomotora a vapor de 2.000 HP. (Récord mundial de rendimiento térmico efectivo y potencia masiva efectiva), (1947).

Administrador del F.C. Río Turbio (1957/60).

Gerente de C.I.P.U.E.C. (Centro de Investigación para el Uso Eficiente del Combustible) - 1960 a la fecha.

Desarrollo del sistema de combustión a la gasógena (1960).

Remodelación de locomotoras alcanzándose la potencia máxima de 23 HP. por ton.

RESUMEN

El diseño propuesto por el autor muestra, sobre bases concretas, que la locomotora de vapor no está perimida ni ha llegado a su climax de perfeccionamiento como máquina calórica y, lo que es más importante, que los sensibles incrementos de rendimiento térmico pueden ser alcanzados sin la adición de órganos móviles adicionales, es decir manteniendo la tradicionalmente atractiva robustez y sencillez de este tipo de máquinas.

Desde un punto de vista energético y con miras al equilibrio de los recursos del país en esa materia, el diseño propuesto ofrece soluciones que, en lugar de exigir recursos de calidades de combustible cada vez sujetos a especificaciones más estrechas (y en consecuencia más caras), por el contrario muestra que es posible alcanzar muy elevadas cifras de rendimiento térmico en el servicio total empleándose combustibles de segunda o tercera calidad que localmente son atractivos, tales como la leña o carbones con altos contenidos de cenizas. De ese modo se contribuye a reservar el petróleo para aquellos usos en que no es sustituible por otros combustibles, liberando al país consumidor de los esfuerzos que se hacen para producirlo.

El diseño muestra asimismo que en orden de las potencias y topes del ciclo de vapor de que se trata, los rendimientos y consumos de vapor son superiores a los que se dan con turbinas, hecho este que no por conocido es suficientemente apreciado y cuyas repercusiones industriales sobre una reactivación del campo de aplicación de la máquina de vapor alternativa pueden ser considerables: gran parte de los aportes que se justifican desde el punto de vista de la energía necesaria para la producción del transporte son literalmente trasladables a dicho campo industrial.

Esos diseños se apoyan en una larga experiencia constructiva, lo cual les da un contenido de practicidad y posibilidad de realización que va mucho más allá de los simples esquemas teóricos.

Se destaca, desde el punto de vista puramente termodinámico, la forma de aprovechamiento de calores perdidos en base a una gran simplicidad mecánica sin el curso de las habituales instrumentaciones propias de las instalaciones fijas.

Se describe un posible diseño de locomotora de tamaño medio, destinado a cubrir buena parte de las necesidades de tráfico de países

en desarrollo. La descripción mecánica detallada muestra que es posible, incorporando a un mismo tiempo todos los adelantos logrados por la tecnología de la tracción a vapor en los últimos años, alcanzar una muy alta eficiencia térmica compatible todavía con la simplicidad mecánica constructiva de la locomotora tradicional.

El diseño prevé la utilización de combustibles de segunda clase, incluso el desarrollo de plena performance empleando leñas de "mala calidad".

La posibilidad de una construcción seriada, al estilo de la construcción de locomotoras en Alemania durante la guerra, coloca la propuesta en un plano de suma atracción en orden a las inversiones necesarias para proporcionar energía a un servicio dado.

Se hace especial hincapié en la eficacia térmica, vista la creciente conciencia de un mundo que vorazmente consume sus mejores reservas energéticas, especialmente las petroleras, my mal empleadas en la dispendiosa- por unidad de transporte realizado- técnica auto-motriz.

El aprovechamiento de las reservas carboníferas, en mucho superiores a las reservas de combustibles líquidos, se impone como una consecuencia lógica destinar el petróleo solamente a los usos en que no es sustituible por combustibles sólidos o de menor poder calorífico.

El autor se coloca constantemente en el plano de la realidad con su irritante tendencia al mal mantenimiento y a lo largo del trabajo señala las principales medidas que resulten de una larga experiencia orientada en un esfuerzo constante a traducir la termodinámica en un hecho concreto y real de todos los días sin recurrir a los tradicionales expedientes de la disciplina, la organización, etc. El diseño debe ser tal que haya una sola manera de operarlo, sin alterativa mecánica posible. Para alcanzar esa meta supone un ponderable esfuerzo de oficina técnica con una profunda revisión de todos los detalles.

En resumen, se trata de una posible respuesta del vapor a las necesidades de tracción que plantea, en un futuro próximo, el mundo en desarrollo, todavía carente de una industrialización base para formas de tracción más sofisticadas y, lo que es mucho más importante, un mundo en el que el dinero para inversiones está siendo cada vez más caro.

Introducción

Esta introducción no técnica está dirigida a los funcionarios de los ferrocarriles o a otros que tengan atingencia y poder de decisión sobre el tema, así como a los industriales, entendiéndose que el presente trabajo expone un nuevo enfoque al problema del diseño de las locomotoras de vapor, y esperándose que merezca un reexamen.

La ingeniería puede, en este campo, ofrecer sustanciales avances sobre el alto nivel de perfeccionamiento alcanzado poco después de la guerra, especialmente en orden a conseguir mayores economías sobre la cuenta anual de combustible y medida en términos prácticos de consumos totales antes que los usuales valores de ensayo, cuyo valor académico no se discute, pero que necesariamente deben traducirse en los primeros. Una correspondientemente alta capacidad de operación expresada en términos de unidades de tráfico obtenibles por año y por máquina son consecuencia de un diseño de alta disponibilidad (viajes largos) y elevada potencia másica.

Un muy bajo coste inicial por unidad, más bajo todavía relacionada a la alta potencia específica, es posible de alcanzar mediante el uso de bien conocidas y experimentadas técnicas mecánicas, adaptadas a métodos de producción "semi-masa", en tanto que se considera posible ofrecer una gran simplicidad de operación y mantenimiento, haciendo en consecuencia una locomotora de eficiente operación a un en manos no especialmente calificadas y con solo un mínimo de entrenamiento.

Se pretende que una locomotora de vapor, diseñada sobre las bases indicadas en el presente trabajo, puede ser competitiva en un terreno económico con las más modernas diesel hidráulicas; aún tendrá a la ventaja adicional de ser capaz de operar en base a combustibles de mediocres cualidades pero de mayor disponibilidad en una escala nacional o mundial, para no hablar de precios altamente favorables.

El diseño presentado en este trabajo es sólo una versión de los posibles que, si hubiera mercado, cubrirían el campo completo de las necesidades ferroviarias de cualquier parte del mundo. La versión que aquí se da se espera cubra un importante campo de necesidades de países en expansión y que aún no han llegado al punto de justificar adecuadamente formas de tracción más evolucionadas. Los principios de diseño pueden, por supuesto, ser adaptados a los diferentes casos, tales como pudieran presentarse para cubrir transportes masivos en áreas

densamente pobladas o descendiendo hasta los requerimientos de pequeños ramales de fomento.

Quienes tienen experiencia en el diseño de locomotoras aprecian sin duda que nunca puede sentarse la hipótesis de que la última palabra ha sido dicha en técnicas de diseño, o que se ha llegado a un tope en la eficiencia y rendimiento. En este caso, muchos de los componentes individuales del diseño son bien conocidos y probados, pero nunca han sido aplicados e incorporados a un diseño particular a un mismo tiempo. Por ello las mejoras anticipadas en la performance son la consecuencia de una nueva combinación de técnicas bastante conocidas.

Un punto que debe tenerse presente al justificar un nuevo enfoque en el diseño de la locomotora de vapor, es la rápida utilización de las reservas de petróleo del mundo. El incremento del consumo -a tasa de interés compuesto- es tal que no pocos expertos predicen escasez para dentro de 20 o 30 años, y en consecuencia parece lógico considerar cuales de los consumidores de petróleo y sus derivados pueden ser abastecidos por combustibles alternativos, estimándose que la tracción ferroviaria es un ejemplo verdaderamente ajustado al caso, máxime si se excluyen las performances y casos extremos de velocidad o capacidad de arrastre.

Una performance comparable a otros tipos de tracción puede ser obtenida por una locomotora del tipo descrito en el trabajo, tal como sería una eficiencia térmica en el gancho de 16 % medida en ensayo. El punto a fijar en atención es que tales cifras pueden ser obtenidas utilizando combustibles de calidad apenas pasable, tal como sería la leña, en lugar de valiosos combustibles que es necesario hacer pasar a través de refinerías a considerable costo, combustibles que por otra parte requieren estabilidad política internacional para asegurar una continuidad de suministro.

No se pretende, por supuesto, que las propuestas que aparecen a lo largo del trabajo estén exentas de crítica, dado que a pesar de la considerable experiencia que gran parte de las mismas incorporan, se trata aquí de un estudio y no de los resultados de un prototipo. No se duda de que muchos de los problemas individuales que presenta el diseño pueden tener soluciones diferentes de las elegidas sin por ello alterar la sustancia y médula generales: en esto la opinión de otros expertos será bienvenida y su positiva contribución, apreciada.

1.- BASES PARA UN NUEVO DISEÑO

1.1. Generalidades

Es opinión bastante corriente que la ingeniería de locomotoras ha llegado a la cima de su desarrollo: la premisa básica del presente trabajo es que tal hipótesis es falsa.

Hay muchas partes del mundo en las que aún hay amplio campo para la tracción a vapor, especialmente considerando la disponibilidad de combustibles locales, de bajo costo y cualidades técnicas.

Países tales como los que se encuentran en Africa, Asia y América Latina, en los que la industria y las comunicaciones no están suficientemente desarrolladas como para asegurar la provisión, local y con adecuado grado de confiabilidad, de combustible diesel, pueden presentar condiciones generales y económicas en las cuales no sea posible obtener la tan pretendida relación de costos de 3 a 1 que se declara en áreas altamente industrializadas.

Es así que, al explorar las posibilidades de un nuevo diseño de la máxima simplicidad y con aceptable grado de aplicabilidad, se ha escogido una disposición de ruedas del tipo 0-6-0 ó 0-8-0, para lo cual las siguientes ideas y datos resultan justificativos:

- a) El diseño 0-6-0 sin ejes libres para guía ha sido probado en años recientes a velocidades del orden de los 100km/h (Clase Q, B.R.). En el pasado, las famosas Gladstone aseguraban trenes expresos a velocidades que rayaban los 130km/h, siendo su tipo 0-4-2. Y para fundamentar estas demostraciones prácticas, la ciencia de la ingeniería mecánica ha avanzado considerablemente en los últimos años de manera que la marcha estable a altas velocidades en vías no necesariamente de primera clase puede ser realizada con un mucho mayor grado de certidumbre que el que se daba anteriormente,
- b) La potencia máxima alcanzable utilizando las técnicas explicadas aquí, es considerablemente más alta que en los diseños existentes, y así no se hace necesario proveer de ejes libres adelante o debajo de la caja de fuego solamente con propósitos portantes. El peso total de la locomotora disminuye al punto en que, aún para locomotoras de velocidad relativamente elevada, puede ser completamente dedicado a funciones de adherencia.

- c) El autor se considera con larga experiencia en su haber en relación a condiciones ferroviarias tales como las que pueden presentarse en la Argentina donde a veces el mantenimiento no alcanza a ser satisfactorio, de modo que ha incorporado todas las medidas necesarias para hacer el diseño lo más posible independiente de un mal manejo o atención descuidada.
- d) Esta larga experiencia ha indicado con claridad que la perfección termodinámica no necesariamente es incompatible con una adecuada robustez y simplicidad de diseño y construcción. Todo lo que se requiere es una aguda supervisión del diseño de detalle en la Oficina Técnica de proyecto, supervisión que debe ser hecha por personal de todos los niveles a fin de asegurar que cada componente o pieza individuales sea finalmente manufacturada contemplando todas las exigencias del manejo, el servicio y el mantenimiento: una extensa investigación de las prácticas aceptadas se impone urgentemente a fin de hacer que la frecuencia de la intervención humana sea comparable a la que se da en las máquinas de combustión interna en términos de igual cantidad de millones de revoluciones.
- e) La base de todo diseño debe ser la producción de mecanismos simples y de alto grado de confiabilidad, que en la práctica sólo puedan ser operados, ajustados y montados por maquinistas, foguistas, ajustadores o peones en un único modo según la intención del proyectista. Todo refinamiento y complicación teórica debe ser racionalizado y traducido para alcanzar tales condiciones.

En ese sentido, no debe confundirse la complejidad teórica con la práctica.

- f) Como consecuencia del enorme trabajo realizado por Charle-
ton, existe ahora suficiente conocimiento y datos experimentales como para producir, dentro de un estrecho margen, el comportamiento y performance de elementos de caldera, cilindros, calentadores, etc. Y esto en base a desarrollos de cálculo y teoría basados en un exacto conocimiento de cada función y dominio de las leyes de la mecánica de fluidos, etc. El diseño no necesita ya apoyarse en vagas reglas empíricas y es así que se ha progresado considerable

mente desde las gloriosas épocas (pero empíricas) de Gresley y Churchward.

Se considera hoy posible diseñar una locomotora en base a los mismos refinados métodos empleados en la aeronáutica, industria que precisamente ha conseguido traducir las más complicadas matemáticas en términos de aviones que vuelan todos los días.

- g) La ciencia y práctica diarias del tratamiento de aguas han asimismo progresado de modo que diseños de caldera de más simple construcción son ahora posibles removiendo la necesidad de separar la caldera del bastider para proceder a reparaciones. Una más barata construcción selada en reemplazo de las viejas uniones abulonadas son ahora posibles y atractivas.

Los puntos más arriba enumerados implican la afirmación de que hay suficiente campo para un sustancial avance en la tecnología de la locomotora de vapor y que ésta no tiene porque estar sujeta y restringida a limitaciones del diseño clásico y aceptadas hasta ahora como esenciales.

Dada una clara idea de los objetivos que deben alcanzarse, un nuevo diseño o mejor, escuela de diseño puede ser concretados, aprovechando de la experiencia del pasado, especialmente recordando que de las muchas mejoras que pueden ser hechas, los diseños hasta ahora conocidos rara vez han incorporado a un mismo tiempo más de la mitad de los conocidos o posibles.

1.2. Objetivos específicos del diseño

Estos pueden ser condensados en los siguientes trece puntos:

- I) La más alta potencia másica posible
- II) Consumo mínimo anual de combustible (no solamente en condiciones de ensayo)
- III) La máxima velocidad compatible con un diseño 0-6-0 ó 0-8-0 y con un mecanismo de dos cilindros.
- IV) Un diseño sin posibilidades de alternativas de manejo o montaje o mantenimiento (p.ej. elementos mecánicos con un solo modo de montaje).

- V) Incorporación de detalles que hacen alla operación y que la experiencia práctica haya consagrado.
- VI) No uso de materiales especiales de difícil obtención para hacer frente al mantenimiento en áreas alejadas de centros industriales.
- VII) Máxima atención a disponer, hasta el extremo, accesibilidad para el mantenimiento.
- VIII) La máxima mecanización de las operaciones de conducción y atención del fuego de modo de cubrir toda la gama de combustibles de bajo poder calorífico incluyendo leñas de baja calidad y consistencia.
- IX) Un diseño básico que se presta a la gama más amplia posible de trochas y galibos con miras a producir, en gran cantidad un modelo único para muchos ferrocarriles y países.
- X) Posibilitar en un máximo el uso de accesorios normales o disponibles sobre amplias bases mundiales.
- XI) Un diseño basado en la moderna práctica americana de "estaciónes de servicio para locomotoras".
- XII) Servicio continuo enganchado a tren, sin necesidad de atención, en recorridos no menores de 2.000 km.
- XIII) Peso por eje no mayor de 13 t para trochas métricas o anchas, y, en la versión 0-6-0, 17 a 18 t para trochas anchas.

1.3. La justificación de la necesidad de un nuevo diseño

Hay muchos países en el mundo que cuentan con grandes redes ferroviarias, muchas veces de diferentes trochas y sistemas, que cuentan con un parque de locomotoras de diseños extremadamente diferentes y edades que cubren una amplia gama. Tal el caso de la Argentina y la India.

Esos países enfrentan inevitablemente el problema de disponer de una tracción que dé costos decrecientes con el andar del tiempo, cosa que puede hacer mediante la modernización del equipo existente o la fabricación e incorporación de nuevas unidades.

Un ejemplo de alta eficiencia aplicando la primer solución la dio Francia entre 1930 y 1950. Sin embargo, la normalización de

un diseño básico con variaciones menores para distintos casos, producido en suficientes cantidades como para aprovechar las ventajas de una producción en gran escala, será, en muchos casos, una solución más económica que la reconstrucción o la reparación de una amplia variedad de tipos de locomotoras, probablemente a costo mucho menor si se lo refiere no al costo de cada unidad sino a la inversión necesaria para producir un tráfico de volumen y calidad dados.

La elección de una solución sobre la base de locomotoras nuevas es aún más certera cuando los costos de operación se toman como criterio de importancia, ya que se considera que un nuevo diseño puede producir una performance muy superior a las hasta ahora tenidas por muy buenas. Otro aspecto de importancia es el que hace a la cantidad de fuerzas técnicas disponibles y también a las consideraciones relativas al estado real del parque que se quiere modernizar. En la Argentina, el número de técnicos ferroviarios capaces de atacar tales problemas -no olvidemos multiplicados por la cantidad de diseños diferentes- y el estado de las unidades probablemente muy deficiente, necesitando un adicional de fuerza técnica en talleres para tomar decisiones que hacen puramente al aspecto reparaciones, conforman un cuadro poco alentador y que obliga prácticamente a transferir gran parte de los problemas a la industria. En esto, no basta con tener obreros: hay que tener técnicos en cantidad suficiente.

Sin embargo es previsible un fuerte incremento en la demanda de transporte ferroviario en el país y los beneficios de una normalización masiva serían evidentes, con un "fresh start". Condiciones tales como las que se dan en USA donde en gran parte de los casos se da un transporte masivo en gran escala necesitarían ciertamente un diseño distinto del propuesto y que está fuera del propósito del presente trabajo, bastando sin embargo hacer notar que la aplicación de los principios aquí delineados es también extensible a dicho caso.

Descripción de la locomotora propuesta

2.- CALDERA

2.1 Sistema de combustión

Básicamente el diseño prevé la utilización de combustibles sólidos mediante el sistema de combustión "a la gasógena". Con este método se mantiene un fuego de considerable espesor sobre la parrilla del tipo móvil-volcable (300 a 500 mm). La parrilla tiene sólo 10 % de sección libre de paso de aire. Alrededor de 3 a 4 % de vapor ya

servido tomado de la cañería de escape principal de la máquina es introducido en el cenicero y mezclado con el aire primario, que en relación a la cantidad total de aire para la combustión no pasa de ser apenas un 40 % para carbones de baja cantidad de volátiles; para leña es apenas 20 %.

Un fuego espeso de este tipo tiene, en la práctica, un aspecto oscuro y aún completamente negro.

Esto se debe a la acción endotérmica del vapor que no permite que el lecho de fuego alcance el usual blanco incandescente. Esta baja temperatura del fuego a su vez permite mantener las cenizas por debajo del punto de fusión, manteniéndose en consecuencia pulverulentas o apenas ligeramente aglomeradas posibilitando su fácil evacuación a través de la grilla móvil usual. El fondo del cenicero está provisto de una grilla especial (fig. 2) formada por elementos que se sobreponen unos a otros dando una posición de cierre casi completo y a través del cual pasa apenas la cantidad de aire necesaria para mantener el fuego "en reserva" con una reducida actividad, apenas la necesaria para compensar las pérdidas por radiación de una caldera que, bien aislada, no pueden sobrepasar del 2 % de las que corresponden a pleno régimen.

La operación de esta grilla secundaria de cenicero puede ser hecha manual o semiautomática, permitiendo así un control del aire primario y completando la combustión de los carbones todavía aprovechables que caen durante las operaciones de limpieza de la parrilla principal. Una característica de tal sistema automático sería el de cerrar la grilla inferior al cerrarse el regulador, asegurando de ese modo que la locomotora produzca vapor solamente cuando el regulador está abierto con la economía resultante de tal operación particularmente en servicios con muchas paradas.

La grilla permite una descarga del cenicero en menos de 30 segundos. Este, por otra parte, tiene gran capacidad en forma de hacer frente a circunstancias en que se utilicen combustibles de muy alto contenido de cenizas.

El aire secundario entra al espacio de combustión a través de toberas y por encima del lecho de fuego. La proporción de aire secundario es de 60 % para combustibles de bajos volátiles y 80 % para leña en el otro extremo. Las toberas tienen sus ejes tangentes a un círculo imaginario colocado encima del plano de fuego. El aire es aspirado bajo un intenso vacío dando lugar a una acción ciclónica en la caja de fuego.

Si bien este flujo ciclónico puede ser hecho en una caja de fuego normal de paredes planas, una forma circular es preferible a fin de disminuir pérdidas de energía de la corriente en su choque contra las paredes planas (3). La construcción que más se presta para el caso, dando una amplia superficie de parrilla, es la de un cono truncado de eje vertical.

La economía del sistema de combustión a la gasógena ha sido bien probada en una larga experiencia práctica, notándose que da una combustión sin humo, empleándose un bajo exceso de aire (15 %) aún con combustibles de hasta 45 % de materias volátiles.

La mayor eficiencia de la locomotora, particularmente en lo que hace a la producción de vapor, y la alta eficiencia inherente al economizador Franco-Crosti, significa que la demanda horaria de calor al ser liberado por el fuego es relativamente baja y de consiguiente permitiendo el diseño de una caldera relativamente pequeña en relación a la potencia desarrollada. Esto permite simplificar el diseño de la caja de fuego y asimismo colocar la caldera en una posición relativamente alta por encima de las ruedas motrices, en una construcción no esforzada a pesar de un diámetro relativamente grande y en todo dentro de las limitaciones de la mayoría de los galibos de todas las trochas, incluso del inglés si fuera necesario.

El diseño de la caldera y de las superficies de calefacción del hogar en relación a la intensidad de liberación de calor admisible está basado en datos experimentales medidos por Klie en Alemania (4) que permiten fijar el máximo flujo permisible de calor a través de las chapas del hogar sin engendrar sobretensiones térmicas que influyan desfavorablemente sobre su vida. La cámara de combustión que completa el espacio de combustión usual está formada por fondos y paredes planas en un tipo "doble Belpaire". La placa tubular (fig.3) es de diseño del autor y basada en experiencias realizadas. Cumple con el requerimiento mínimo de agua sobre el cielo del hogar que establecen las normas AAR a tiempo que posibilita el máximo de área de paso de gas a través del cuerpo cilíndrico.

La bóveda, con un agujero en el centro, está soportada por tubos termosifones en T.

Merece destacarse que el diseño tiene en cuenta las modernas orientaciones en materia de contaminación atmosférica.

2.2. Stoker

El diseño propuesto permite quemar cualquier combustible por debajo de un tamaño de 130 mm, sea carbón o leña aserrada (automáticamente en obraje) hasta tal diámetro (5). En el rango inferior, que interesa para combustibles friables, desechos de lavadero, etc., prácticamente puede ser cero e incluso contempla la posibilidad de u sar finos residuos de carbón de leña (Altos Hornos Zapala).

Las características del stoker serían las que siguen:

- a) El gusano alimentador trabaja en un canal abierto en lugar del usual tibo inherente al diseño exclusivo para carbón. El canal se extiende a lo largo de toda la longitud del ten der estando recubierto de placas (metálicas o simplemente troncos de leña) que se colocan antes de la operación de car gado de combustible y que el foguista retira a medida que se consume combustible exponiendo así nuevas porciones del con tenido de tender.
- b) La inyección del combustible en el hogar se hace con empu ja dores accionados cada 20 segundos mediante un par de cilindros de vapor. El combustible que acarrea el gusano es des cargado encima de estos empujadores.
- c) La entrada de combustible está semicerrada mediante piezas metálicas colgantes que permiten el paso de trozos en tanto evitan una entrada de aire posiblemente no deseado en tal punto.
- d) El motor para el stoker está colocado en la parte de atrás del tender.

El aire para la combustión es calentado por vapor de esca pe controlado por una válvula tipo Hörbiger tal como la usada en los compresores alternativos. Esta válvula asegura que el sistema de ca lentamiento opera a presión superior a la atmosférica conectando el calentador con la cañería de vapor de escape solamente cuando la pre sión en ésta es la máxima en el momento del avance al escape.

2.3 Cuerpo principal de caldera

No se considera necesario el uso de ningún acero especial para la construcción de la caldera que puede ser del tipo soldado o remachado. La conformación de las piezas usualmente realizadas en o-

peraciones de prensa pueden obviarse mediante un extendido empleo de la soldadura mediante uniones que guardan cierta semejanza con las de la técnica de la sastrería.

El empleo de una construcción Belpaire permite una construcción con mejor definición de los esfuerzos mecánicos, particularmente en los estays.

En el caso de efectuarse una construcción enteramente soldada cabe desde luego una rígida tecnología e inspección. Cabe sin embargo la alternativa de remachar las partes altamente solicitadas en el caso en que no se disponga de una adecuada tecnología para la soldadura.

El espacio previsto para la cámara de vapor ($4,6m^3$) está basado en una carga de $200 m^3$ de vapor hora y por m^3 de espacio de cámara de vapor. Este bajo valor y el uso de los bien probados modernos antibullicivos garantiza que no se producirán arrastres de agua o aún contaminaciones del vapor que no alcanzan a merecer el nombre de tales pero que deben absolutamente quedar excluidas, y esto sin requerir especial cuidado en el manejo de la locomotora.

En lugar del domo convencional se dispone una simple tapa de hombre.

La caldera está unida al bastidor, además de la conexión de la caja de humos en el frente, por cuatro placas de dilatación, sistema este que permite toda la necesaria libertad de movimiento longitudinal al mismo tiempo que hace actuar al cuerpo principal como un verdadero elemento de resistencia a los esfuerzos de flexión y torsión para los cuales su gran momento de inercia lo capacita en alto grado.

La caldera está colocada tan alto como lo permite el galibo dando a la locomotora un alto centro de gravedad que se considera favorable a su estabilidad, dulzura de marcha y bajo impacto sobre las vías, punto este de especial atención en Argentina en razón del bajo estado de mantenimiento en que en la actualidad se encuentran. Al mismo tiempo, esa altura da fácil acceso a todos los órganos que se encuentran debajo de ella y que por supuesto se limitan al mínimo estrictamente indispensable.

El espesor de las chapas del cuerpo cilíndrico calculado conforme a las normas de vigencia en Alemania es de 12 mm aún cuando se adoptare una construcción remachada y acero dulce corriente. Este punto es un índice importante para juzgar el diseño si se lo relaciona con

la potencia útil disponible.

2.4. Tubos de caldera

La distancia entre tubos supone la adopción de un -por otra parte impensable de otro modo- empleo de un moderno tratamiento de agua, permitiendo de ese modo valores mínimos (17 mm) sin embargo de frecuente empleo en la práctica. Una disposición posible está constituida por 26 tubos grandes de 125/133 mm y 47 tubos chicos de 47/52 mm.

La disposición permite una sección de paso de gas de 0,27 m² para un diámetro del cuerpo cilíndrico de sólo 1.380 mm y con un espacio de vapor de 600 mm de altura.

Los tubos son soldados a las placas que no tienen por que ser de mayor espesor que 10 mm según ha sido probado por la experiencia. Los modernos tratamientos de agua virtualmente eliminan las retubadas (6) de modo que ambos extremos pueden ser soldados evitando el empleo de placas tubulares del lado caja de humos de considerable espesor y así permitiendo una adicional posibilidad de dilatación.

2.5 Recalentador de alta presión

Se ha previsto un recalentador de 26 elementos del tipo Schmitt normal tipo A, diseñado para dar una temperatura máxima de 420°C. La construcción puede ser en acero corriente al carbono si se toman las siguientes providencias:

- a) El flujo de vapor a través de cada elemento debe ser el más uniforme posible en relación al resto del paquete.
- b) La temperatura del gas en los codos no debiera sobrepasar los 1.000°C, lo que supone una distancia de éstos a la placa de aproximadamente 500 mm y una baja liberación de calor en relación a la superficie del hogar.
- c) Todas las precauciones deben ser adoptadas para asegurar que no se den combustiones dentro del haz tubular, eliminando de este modo las sobretensiones y distorsiones que tienen esta causa. El diseño moderno de caldera con una combustión sin humo satisface estos objetivos. (7)
- d) La fabricación debe hacerse empleando exclusivamente una óptima técnica en las soldaduras, en particular en los codos.

En los diseños convencionales de caldera es necesario disponer los codos más cerca de la placa tubular que detallase más arriba.

En el caso presente se trata de elegir una posición del recalentador en tal punto del recorrido total de los gases que se de una tendencia a lograr poca variación de la temperatura de recalentamiento en función de la carga.

En este objetivo es condición favorable el empleo del calentador Franco Crosti (8).

El colector de vapor es de chapa soldada conforme a la moderna práctica rusa, en tanto que la unión de los elementos estaría asegurado por bulones cargados con resortes, eliminando así una de las más difíciles causas de pérdidas que afectan considerablemente la disponibilidad de las locomotoras usuales.

2.6 Caja de humos

La construcción usual soldada sería aislada en la parte interior tal como lo exige la máxima conservación del calor inherente al diseño Franco Crosti.

La puerta sería semi-aerodinámica y de amplio tamaño (en oposición a la pequeña puerta americana) permitiendo fácil y cómodo acceso a todos los elementos exteriores. No se consideran necesarios los "embudos" usualmente dispuestos en la caldera del tipo Franco Crosti cosa que es posible por las siguientes razones:

- a) La combustión ciclónica elimina virtualmente todas las partículas de carboncillo volante que normalmente son arrastradas por los gases y que se depositan en la caja de humos.
- b) El estudio de las corrientes permite asegurar una adecuada succión en la parte inferior de la caja de humos haciéndola de este modo completamente "self cleaning".
- c) El sistema de combustión a la gasógena elimina la necesidad de efectuar limpiezas de tubos.

Un anillo de amianto colocado en el fondo de un perfil U en el cual la puerta encastra cuando está cerrada constituye una hermeticidad perfecta sin necesidad de grampas, según lo ha probado la experiencia.

Una tapa simple puede disponerse para el encendido sin recurrir a darle forma de chimenea, mentira estética implicada automáticamente en su no uso. La caja de humos en sí misma no contendrá ya más las clásicas cañerías principales de vapor, ya que la alimentación al cilindro sería realizada mediante un caño exterior a la caja

de humos y la alimentación al colector mediante un caño también exterior al cuerpo cilíndrico de caldera; de este modo se eliminan difíciles uniones que usualmente son proclives a fugas.

De tal diseño de caja de humos desaparecen pues los clásicos quebraderos de cabeza que son el piso, las uniones de elementos, la junta del caño de escape, las juntas de los caños de admisión y las entradas de aire alrededor de éstos.

2.7 Conexión de la caja de humos al bloque de cilindros.

Tal como se ha dicho más arriba, la remoción de la caldera de su bastidor es de considerarse un hecho raro en razón del empleo de un moderno tratamiento de aguas. De hecho, esto ha sido ampliamente demostrado en Francia con el TIA en donde tal separación no es ya más realizada durante toda la vida de la locomotora (9). En nuestro país, también se está demostrando en el FC Río Turbio, notándose que en esto nada tiene que ver la calidad de las aguas que se encuentran en las distintas zonas de trabajo de las locomotoras sino la correcta aplicación del tratamiento.

Es así posible adoptar una construcción enteramente soldada para la conexión caldera-bloque de cilindros en lugar de la usual cuna abulonada e incluso desapareciendo la necesidad de tuberías abulonadas, en forma análoga a la que se da en la moderna práctica de centrales eléctricas.

La construcción propuesta es realmente una extensión del sistema americano en que el bastidor y muchos accesorios constituyen un cuerpo integral fundido.

Más recientemente, la fundición integral en acero, ha sido realizada por una construcción soldada, método que sería usado en este caso para asegurar la caldera al block de cilindros y éste al bastidor, sin perjuicio de una unión abulonada entre cilindro y bastidor si fuera de conveniencia constructiva.

Esta construcción produciría considerable economía en el costo inicial y si la separación de la caldera del bastidor fuera necesaria en algunos raros casos, se cortaría a soplete para volver a soldar después.

2.8 Aislación de caldera.

Una característica reclamada para el diseño presentado, es su capacidad para mantener la caldera en presión sin supervisión. En tales condiciones, puede considerarse a la caldera como un acumulador de calor y como tal necesitando de la mejor aislación. Muchos materiales modernos están a disposición para ello y un espesor de 25 mm probablemente será suficiente.

2.9. El economizador Franco Crosti.

El uso de tal disposición puede considerarse ha superado el período de ensayo convirtiéndose en una práctica establecida. Algunos puntos relativos a la parte termodinámica se verán más tarde.

El cuerpo principal del economizador podría presentar dos alternativas. La primera consistiría en una unidad colocada debajo del cuerpo cilíndrico de la caldera, pero en el presente caso se considera preferible una segunda alternativa consistente en dividir el cuerpo del economizador en dos unidades colocadas debajo de las plataformas y a cada lado de la máquina. Esto permite un acceso fácil a todos los elementos del economizador propiamente dicho así como del mecanismo interno.

2.10. El recalentador de Baja Presión.

Su diseño está inspirado en el viejo Pielock y está basado en la misma idea constructiva del economizador Franco, los tubos colocados unos frente a los otros (fig. 9) con los gases en el interior y el vapor por el exterior.

Estímase posible este tipo de construcción en razón de las bajas temperaturas, de gases y vapor, en juego.

Largas consideraciones han decidido su empleo, ya que tanto la teoría cuanto la experiencia muestran de un modo claro un marcado efecto favorable no solamente en la economía de vapor y en consecuencia en la potencia obtenible de una caldera y equipo de combustión dado del ciclo con recalentamiento entre el cilindro de Alta Presión y el de baja presión, sino también, lo que quizá es más importante, en los efectos secundarios con su enorme incidencia en la operación transiente que caracteriza el servicio ferroviario, así como en la potencia disponible para crear, mediante el eyector Klypor, un alto ya requerido por superficies extremadamente cargadas en sus regímenes calóricos.

2.11 Equipo de tiraje.

Tal como se ha dicho, cada caja de humos a la salida del economizador tiene un escape Klypor que, como se sabe, es un desarrollo del bien conocido Kylchap (9.1). Los resultados de ensayos muestra que su eficiencia como máquina bombeante está alrededor de 26% y se toma ventaja de esto a fin de crear el máximo vacío posible y así poder reducir el tamaño de las superficies de calefacción y, consecuentemente, los pesos y costos de fabricación.

Cabe notar que, para una dada cantidad de gases, la reducida temperatura de los mismos a la salida del economizador Franco disminuye la potencia de bombeo necesaria.

En la actualidad se está estudiando llevar a fondo las posibilidades de trabajar con contrapresión nula en la fase de escape, obteniéndose la energía para el tiro de la, de otro modo perdida, energía disponible por expansión incompleta.

3.- La máquina.

Se ha elegido el sistema de dos cilindros trabajando en compound sin reajuste posible de las admisiones entre ambos cilindros, es decir dando una sola posibilidad de manejo como en una máquina simple expansión.

No se ha previsto el trabajo en simple expansión, excepto como alternativa especial. El arranque está asegurado por una admisión auxiliar de vapor al receiver con una válvula piloto no automática montada en el regulador en forma similar a la disposición de las viejas Midland Compounds.

3.1 Block de cilindros.

Podría ser en construcción de acero fundido o en chapa soldada, en ambos casos con camisas de cilindro de fundición "calidad diesel". El block estaría, según la conveniencia de fabricación, unido al bastidor sea por soldadura, sea mediante la clásica unión del tipo americano con bulones y cuñas. Las tapas traseras, integrales al cuerpo de cilindro.

El volúmen de las cajas de válvula sería lo más grande posible, conforme a las recomendaciones de Chapelon (10) a fin de asegurar el máximo grado de uniformidad en la presión del vapor frente a las válvulas, considerándose esto una característica importante del diseño en orden a posibilitar económicamente altas velocidades de pistón.

El block forma parte de una unidad entera abrazando la caja de humos, el recalentador de BP, los caños de transmisión y el soporte de caja de humos.

Las uniones del block al bastidor son, sino soldadas, provistas de fuertes bulones ampliamente dimensionados, efectuándose las operaciones finales de torneado del alojamiento de las camisas mediante los usuales tornos portátiles en forma de asegurar una perfecta alineación con los planos fundamentales de la máquina.

3.2. Aislación del bloque de cilindros.

La aislación de los cilindros es considerada materia de suma importancia y a la cual usualmente no se le dá la que merece. La performance de una locomotora en operación transiente (servicios con paradas frecuentes y largas) es importante en orden a su eficiencia, medida en términos anuales, eficiencia sensiblemente afectada durante los

períodos de calentamiento que son inherentes a cada detención. Además, se considera que una perfecta aislación es vital a fin de reducir la acción de paredes y cuya importancia ha sido claramente demostrada en los ensayos realizados en Alemania con locomotoras carenadas.

Las prácticas corrientes en relación al mantenimiento de la aislación de cilindros es notoriamente mala, las más de las veces terminando en una completa remoción; también los diseños descuidan la aislación de las uniones entre los cilindros y el bastidor. La experiencia del autor (en particular la clase 30 ex PBA, Argentina) demuestra que es práctico incorporar la aislación de modo permanente al block de cilindros usando una capa de lana de vidrio metida dentro de la corriente camisa, esta última sellada con soldadura al block. Tal procedimiento podría ser incorporado fácilmente a todo el conjunto delantero de la locomotora y la aislación realizada de una vez para siempre en el taller de fabricación.

3.3. Pistones y vástagos.

Una construcción extra liviana es esencial para reducir las masas alternativas al mínimo. Esto de la máxima importancia en relación al diseño del conjunto de la locomotora y cuyo tamaño ha sido también reducido a un mínimo como consecuencia de la alta potencia másica obtenida. El efecto final de esta potencia másica es que la relación entre el volumen de los cilindros y la masa de la locomotora crece y en consecuencia la importancia relativa de las masas alternativas, mayor.

Esta reducción en el peso del pistón puede ser alcanzada mediante un diseño cuidadoso a base de un acero ligeramente aleado, con un vástago hueco y un contravástago roscado conforme a la práctica francesa. El pistón en sí mismo podría ser en una sola pieza con el vástago conforme a la práctica en el LNER en las Pacifics de Gresley.

Los pistones deben ser calidad diesel en cuanto a la terminación mecánica; el de alta incorporando 10 aros angostos de 10 mm. de altura axial y el de baja con 7 aros de 10 mm. de altura axial.

Los mejores prensaestopas para los vástagos, conforme a la experiencia del autor, son los de diseño japonés (Fukao) cuya vida puede estimarse en unos 600.000 km.

3.4. Crucetas.

Habiéndose previsto que tanto la punta chica cuanto la grande de cada biela motriz esté montada en rodamientos, quedarían únicamente los patines de cruceta como exclusivas piezas de mecanismo ubicadas dentro del bastidor y que requieren atención corriente por estar sometidas

a apreciable desgaste. Por ello se han previsto todas las precauciones que aditivamente, contribuyan a reducir este a un mínimo, comenzando por prevenir una muy amplia superficie de apoyo. El diseño standard British Rys., es compatible con este requisito, pero una alternativa diseñada sobre la base de un cuerpo de aleación de aluminio podría ser interesante. Las guías son de acero común con patines y suplementos de frotamiento realizados en acero al manganeso.

Una precaución especial para reducir el desgaste consiste en hacer trabajar la cruceta en una atmósfera libre de polvo para lo cual se conduce una corriente de aire puro desde la parte delantera de la locomotora, corriente conducida a través de un simple tubo que atraviesa la parte inferior de la caja de humos.

El perno de punta chica, se ha dicho, está previsto con rodamientos; sin embargo si se elige, por diversas circunstancias un cojinete plano, será dimensionado con bajas presiones específicas (200 kg/cm^2), diseño ajustado al tipo flotante utilizado con éxito en Argentina. Es necesario asegurar una amplia y segura lubricación ya que el mantenimiento de la punta chica generalmente constituye un punto débil y descuidado en los diseños ordinarios.

3.5. Bielas motrices.

Son de sección doble T para reducir el peso a un mínimo. Material recomendado es acero SAE 1045 y si es necesario adoptar una solución en cojinetes planos, el diseño prevé una superficie de apoyo 80% más que en los diseños normales.

3.6. Válvulas.

El diseño propuesto para la válvula se apoya en el tipo FC Río Turbio mostrado en la fig. 4 y que constituye la culminación de una larga experiencia. El cuerpo de válvula es fabricado en chapa de acero soldada y conectado al tira válvulas con un perno flotante. Tanto el recorrido de la válvula cuanto el recubrimiento se ha previsto sea el mayor posible de modo de dar la máxima abertura nominal de secciones de paso de vapor y a su vez éstas condicionada en la mejor forma aerodinámica.

La práctica establecida para los motores disel debe ser seguida en cuanto al diseño, material y terminación de los pistones y aros. Con ésto es posible asegurar que las fugas de vapor, como lo muestra la experiencia sean reducidas a un mínimo, punto este cuya relevancia ha sido puesta claramente de manifiesto por Chapelon.

El empleo de materiales para los aros, conforme a la práctica en USA, que prevé algunos de un bronce especial, mejora grandemente la condición de la superficie de las camisas y contribuye a que las válvulas per-

manezcan perfectamente estancas por un período muy largo, a pesar del desgaste de aros. La experiencia permite prever una perfecta hermeticidad hasta un recorrido de 130.000 km.

Las camisas de válvula serían refrigeradas por medio de vapor saturado que pasa entre el cuerpo de cilíndrico y la camisa misma, y el cuerpo de la válvula por la acción del vapor de escape dirigido mediante un adecuado deflector. La experiencia prueba que aún empleándose aceites comunes para cilindro, no se dan aros pegados ni carbonizaciones.

En aras de una normalización, la misma válvula se preve para el cilindro de AP y para el de BP, previéndose las necesarias diferencias en los recubrimientos mediante cambios en las dimensiones de las lumbreras.

3.7. Distribución.

Por razones de mantenimiento es preferible colocar cuanto mecanismo sea posible fuera del bastidor. Esto puede lograrse empleando la disposición Stephenson o bien mediante una disposición Walschert tal como aplicada a las locomotoras Gr 624 de los ferrocarriles italianos. Se estima que no hay diferencia ni preferencia por una u otra distribución en cuanto a las fases del diagrama de vapor, no obstante lo cual la Stephenson de barras cruzadas permite un mayor avance lineal también en marcha atrás, un punto interesante a considerar en un diseño que, como los recientes en Alemania, debe prever igual velocidad en marcha adelante que en marcha atrás.

En principio se considera conveniente adoptar los pernos y articulaciones de la distribución en cojinetes planos hasta tanto se obtenga más experiencia con un montaje a base de rodamientos. Tales articulaciones planas tendrían dispositivos de hermeticidad a base de caucho sintético.

De ese modo trabajarían prácticamente en un baño de aceite. El diseño de los cuerpos de biela preve el mínimo peso posible para lo cual no se considera necesario adoptar formas rebuscadas exagerando innecesariamente el trabajo de mecanizado. No hay en esto ninguna razón para no adoptar una construcción soldada, evitando costosas forjas.

3.8. Bielas acoplantes y botones de manivela.

Los mismos principios de diseño previstos para las bielas motrices son de aplicación aquí en orden a la dimensión de los botones de manivela, tradicionalmente empleando innecesarias presiones específicas muy altas. A fin de reducir el esfuerzo transmitido, los pernos de articulación deber estar colocados en las bielas de los extremos. El movimiento lateral del primer eje acoplado (± 30 mm.) está previsto mediante pernos de articulación esféricos.

Todos los pernos de articulación y muñequillas presentan un diseño que disminuye al mínimo las concentraciones de tensiones, para lo cual se incorporan las mejores disposiciones en la materia.

La lubricación de los cojinetes de biela (cojinetes planos) previene el trabajo en un baño de aceite mediante las disposiciones empleadas en el FC Río Turbio.

En el caso de que el diseño se adopte para trochas angostas (métricas o similares) las bielas acoplantes serían exteriores al bastidor y las ruedas montadas internamente al mismo. En este caso el diseño previene el empleo de brazos incorporando los contrapesos y diseñados conforme a los mismos principios que el cigueñal, según se detalla más adelante.

3.9 Ejes, Cajas de eje y Cigueñal.

El cigueñal es de acero 1045 y de dimensiones generosas, siendo el ancho de los laterales 70 % del diámetro de los gorriones.

Es importante destacar que la unidad debe ser estática y dinámicamente balanceada. El tipo "built up" permite la adopción de contrapesos integrales que evitan momentos flectores derivados de fuerzas centrífugas que no actúan en planos próximos.

Por lo menos uno de los principales fabricantes de cojinetes de rodamientos estima la vida de éstos colocados en la cabeza grande de la biela tanto como la del cigueñal mismo. En tal caso sería posible simplificar considerablemente el diseño haciendo una biela con el ojo cerrado, punto que sin embargo debe ser mejor estudiado.

El conjunto del cigueñal sería construido con elementos unidos en caliente, incorporando carborundum entre las superficies en contacto con lo que se incrementa sensiblemente el agarrotamiento de las mismas, esto en razón de una muy acrecentado coeficiente de fricción.

El mismo diseño básico de cigueñal es previsto para la versión en trochas anchas en que las ruedas motrices están fuera del bastidor así como para la versión en trochas angostas en que las ruedas están dentro del bastidor, (fig. 5). La distancia entre los ejes de cilindro es tan pequeña como es posible y compatible con adecuadas disposiciones constructivas, con lo cual es posible dar el máximo espacio para los cojinetes principales. De ese modo, en el caso de un diseño a base de cojinetes normales, las presiones específicas serían muy bajas en comparación con las reglas de usual aceptación, llevando al extremo el criterio recomendado por Cox (11) y desde luego disminuyendo los desgastes que de esas presiones dependen.

La ubicación relativa de los botones de biela internos puede

