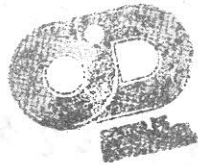


JUN/CID  
2049  
Y

LA LOCOMOTORA N° 3450,  
SOUTH AFRICAN RAILWAYS.  
PROTOTIPO DE LA NUEVA  
CLASE 26. EJEMPLO DE  
USO RACIONAL DE LA  
ENERGIA.



3 DIC 1982

Autor: Ing. L.D. PORTA  
Instituto Nacional de  
Tecnología Industrial.

Bs. Aires, Sept. 1982.

INTI/CID 1557  
2049  
Y 1828 Tel 242 3533

## Resumen.

Hacia 25 años la tracción a vapor desaparecía de la escena ferroviaria bajo la avalancha del petróleo barato, y del estancamiento del progreso técnico porque se creyó que se había llegado a la "asíntota" máxima. Este progreso continuó sin embargo en forma silenciosa. La N° 3450, a la que se le impuso el nombre del autor de este trabajo, condensa todo el potencial de progreso que se ha perdido consistentemente dentro de las limitaciones de un diseño original que en su momento (clase 25 NC, 1953) se consideró había alcanzado esa "asíntota".

La técnica desarrollada por el autor en Argentina, que resulta de un proceso de 40 años de trabajo iniciado por CHAPELON en Francia hacia 1930, responde a los siguientes principios: (a) mejora del ciclo térmico; (b) mejora del rendimiento termodinámico de la máquina real en su aptitud para inscribirse en el ciclo termodinámico ideal; (c) el sistema de combustión "a la gasolena" que permite utilizar cualquier combustible sólido con limpieza y mayor eficiencia global, y (d) materialización de esos principios en una unidad que, en forma práctica, tenga en cuenta las tendencias globales de las exigencias del tráfico futuro. Todo esto permite la realización de ese tráfico con una economía energética que, con un poco de optimismo, apunta a utilizar la mitad del combustible antes considerada necesario.

Un segundo aspecto que hace a la racionalización energética reside en que esa tecnología alcanza una alta calidad de servicio prescindiendo (i) del uso del petróleo, (ii) de la electificación con las inversiones que le están asociadas y (iii) es compatible con recursos modestos y (aunque no necesariamente) "mano-de-obra-intensivos" por oposición a "capital-intensivos". Además se "ocurre armoniosamente en el proceso de transferencia del tráfico de la carretera al ferrocarril, transferencia que es natural consecuencia de que éste es capaz de mover la carga con  $\frac{1}{4}$  del consumo energético.

La ingeniería de la 3950 ha corrido bajo la responsabilidad del Ing. D. WARDALE (31 años) de los FFCC Sudafricanos.

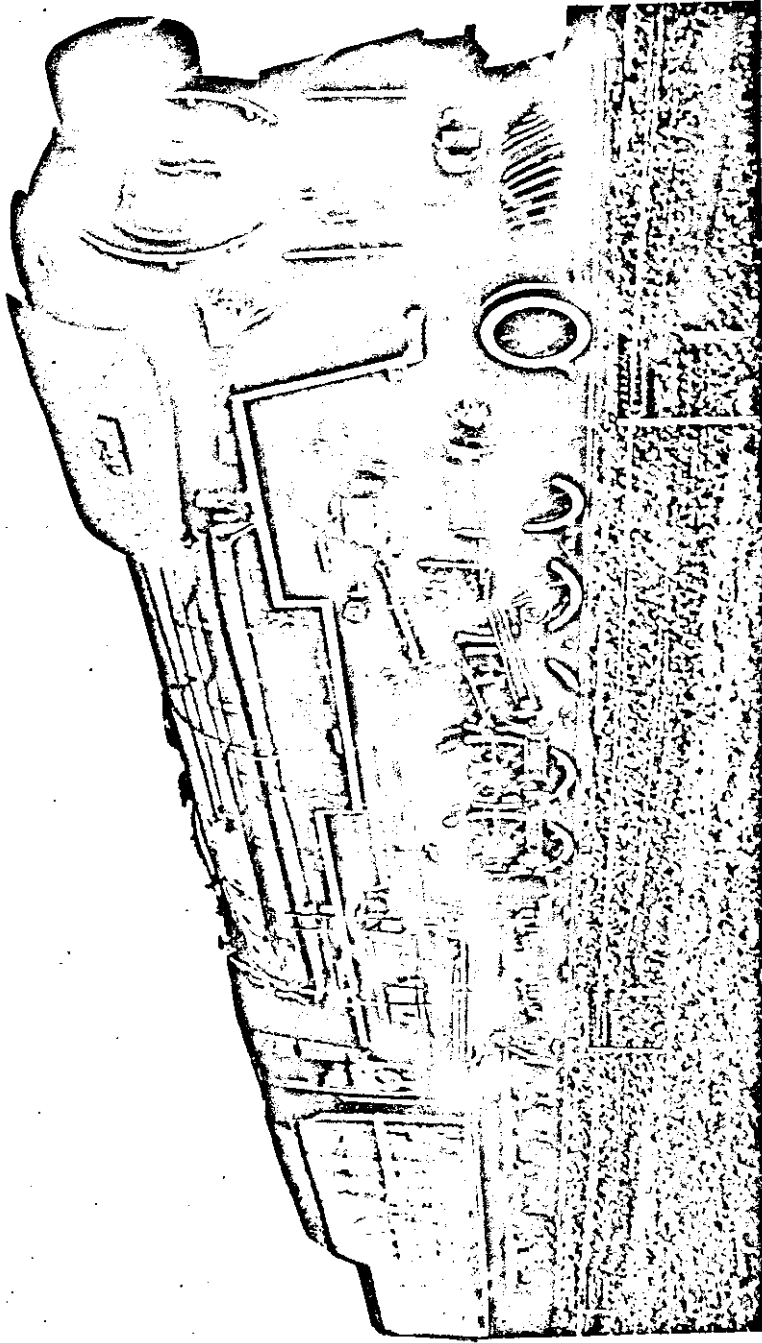


Fig. 1. South African Railways, 4000 DBHP, class 26 locomotive, N° 3450.  
Narrow gauge. Rebuilt by D. WARDALÉ, named L. D. PORTA.

January 1981

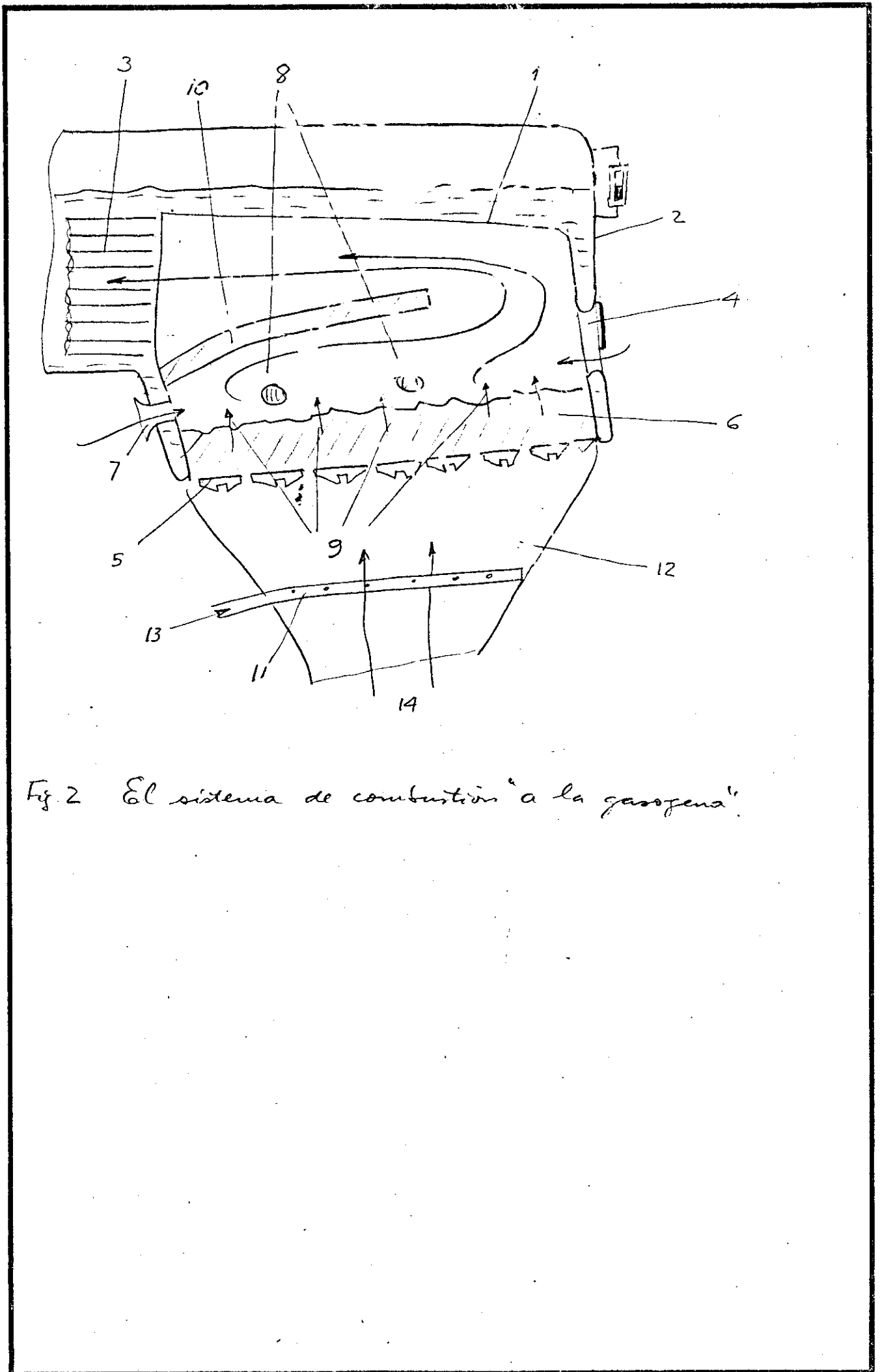


Fig. 2 El sistema de combustión "a la gasolena".

Referencias (\*)

(1) STOFFELS, W.: "Lokomotivbau und Dampftechnik". Birkhauser Verlag, Basel u. Stuttgart, 1976.

(2) PORTA, L.D.: "La tracción a vapor en el contexto de la crisis petrolera y eléctrica". VIII Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Caracas, Venezuela, 1975.

(3) ROOSEN, R.: "Class 25 Condensing Locomotives (on the SAR - Design and Operating Experiences)". J. Inst. Loco. 57, Pt 2, 243-282 (1960-61).

(4) HOLLAND, D.F.: "Steam Locomotives of the SAR". DAVIES & CHARLES Locomotive Studies, Newton Abbot, England, 1972.

(5) PORTA, L.D. & WARDALE, D.: "Third Generation Steam Facing the Energy Crisis. Part I: A technical Proposal; Part II: Ownership and Operating Expenses". XIV Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Lima, Perú, 1978.

(6) PORTA, L.D.: "Steam Engine Cylinder Tribology". Buenos Aires 1975 (no publicado).

(7) MASSE, J.P.: "Red Devil", dernière née du parc vapeur". La Vie du Rail, Mai 1982, p.44.

(8) ODELL, P.J.: "South Africa's '26' Class Enters Regular Service". Railway World, April 1982, 202.

(\*) copia de los trabajos no publicados pueden obtenerse de L.D. PORTA, Azara 1557, Barfield 1828, Argentina.

## Indice.

- 1 Introducción.
- 2 La locomotor N° 3450.
  - 2.1 Principia.
  - 2.2 Aplicación
    - 2.2.1 La evolución fundamental de la locomotor.
    - 2.2.2 Elementos que materializan las mejoras.
  - 2.3 Resultados.
- 3 Conclusiones.

## Apendices

- A1. El sistema de combustión a la gasogena.

## 1. Introducción.

Mirada desde el punto de vista del Congreso, la problemática de la tracción ferroviaria en los aspectos que hacen al empleo del esfuerzo humano puede condensarse diciendo que hay que mover pasajeros y cargas haciendo que ese esfuerzo sea mínimo: la energía gastada es una componente de ese mínimo, el que resulta del compromiso de múltiples factores. Esa noción de compromiso hace que la solución técnicamente óptima varíe entre ciertos límites en función de los desarrollos técnicos y de los costos que les están asociados: si esos costos cambian, los óptimos cambian, lo que obliga, de tiempo en tiempo, a revisar decisiones que en su momento fueron aceptables.

Si la invención de la máquina de vapor fue, en su aplicación industrial, la que permitió la revolución industrial, no es menos cierto que su aplicación al ferrocarril permitió una revolución en las comunicaciones. La locomotora de vapor, prodigio cuya genialidad aún cabe admirar porque todavía tiene vigencia en su forma original, permitió, junto con la insuperada baja fricción de la rueda de acero sobre el riel de acero, esa revolución en las comunicaciones.

No corresponde aquí estudiar las razones de su reemplazo (que está lejos de haber sido total) sino mostrar cual ha sido la respuesta de esa máquina de transformación de energía química en mecánica a los problemas que se agudizaron a partir de 1973 en el panorama energético mundial.

--///



III... Sintetizar el enorme acervo tecnológico involucrado en esa respuesta y expresarlo en categorías accesibles a los no especialistas es el intento que se procura en el presente trabajo, el que irá avalado por la realización concreta - una de las tantas - que da razón al título. Hay que entender que, como ocurre con todas las cifras de la técnica, éstas son relativas entre sí; no se puede pedir a una motocicleta lo que a un transatlántico. Cada rendimiento y cada performance ha de medirse en función del fin último buscado, de modo que no está bien mirar con ojos de termodinámica de proceso industrial lo que ocurre en la planta móvil. Esta, además de su propio "servicio interno", consume energía para moverse, lo que incide sobre los óptimos.

Hasta su climax en los años 50, el desarrollo de la locomotora de vapor, puede decirse, se dio al margen de la termodinámica. Su genial y encantante simpleza y la vitalidad de esa genial concepción de la que su armonía estética es reflejo, hicieron que ese desarrollo se diera sobre líneas principalmente empíricas, ignorando los ingenieros con qué estaban jugando. Así, por ejemplo, el hogar refrigerado con transmisiones de calor tan intensas como las que hoy se publicitan para la combustión fluidizada se dieron - un siglo antes de el mundo moderno creyerá haberlo inventado. Pero, ¡si aún el autor de este trabajo jugaba en sus años mozos a la combustión fluidizada sin sales lo que había (1940)!

No faltaron los intentos de mejorar rendimientos. STOFFELS (1) conduca, en su --- III

III-- libro, los 64 fallidos intentos de mejorar rendimientos térmicos, fallidos porque sus propugnadores (i) no se dieron cuenta de las virtudes que ya tenía, como máquina de mover vagones, la locomotora tradicional y (ii) porque no lograron la simbiosis de la termodinámica con la practicidad. Con todo, aún cuando no se lo declaró explícitamente, había un impulso secreto que hacía fijar el progreso global en esos mejores rendimientos térmicos. Y tan es así, que sólo recién en 1975 el autor lo explicita (PORTA, (2)), lo que es pensosamente increíble.

Los años 20 fueron los que vieron la mayoría de esos fallidos intentos. Hacia 1930, el genio de CHAPELON ve, con toda profundidad, que el tan anhelado progreso no estaba en un cambio radical del ciclo, empleo de la caldera acuotubular, o sofisticaciones, sino en REMOVER CAUSAS DE IMPERFECCIÓN CONSERVANDO LA ESTRUCTURA CONCEPCIONAL QUE STEPHENSON CRISTALIZARA EN 1829. Volveremos sobre esto.

Paralelamente a esos intentos de perfección termodinámica, que se hacían sin demasiado interés ("thermal efficiency never sold a locomotive") y justamente utilizando como argumento la baja eficiencia de la locomotora de vapor, se desarrollaba la electrificación tanto de origen hidráulico cuanto térmico. Las electrificaciones de nuestro país tuvieron - y en gran parte tienen aún - carácter térmico... ahora a base de petróleo y gas. La electrificación permitió performances de gran intensidad de tráfico que el vapor (de entonces) no era capaz de satisfacer. Naturalmente exigía grandes inversiones... III

III-- Cuyas cargas financieras sólo podían compensarse cuando las intensidades de tráfico eran muy grandes como un medio de distribuirlos sobre una mayor cantidad de unidades de producción (t.km).

La gigantesca expansión del automóvil después de la guerra y el petróleo barato determinan un surplus de productos pesados que sustituyen al carbón; la locomotora de vapor, que no progresa como las otras tecnologías durante la guerra, es desplazada por la locomotora diesel. Es inútil que posteriores y sesudos estudios como los de BROWN prueben que los costos no se redujeron con el cambio o que, como es el caso de Argentina, los servicios empeoraron a lo largo de los últimos 50 años: el cambio fue irreversible y si en algún caso se lograron economías, ello se debió más que nada a la sustitución de locomotoras viejas por nuevas. El progreso visible se detuvo, no así el silencioso, del que hoy mostramos apenas la punta del iceberg.

André CHAPELON, cuya amistad nos ha honrado hasta su muerte, aporta un considerable impulso a la locomotora tradicional mediante los siguientes recursos:

- (a) perfecciona el ciclo termodinámico empleando las máximas presiones y temperaturas compatibles con los conocimientos disponibles en los años 30 aun en el buen uso de calores de baja exergía.
- (b) mejora la eficiencia con la que la máquina real se inscribe en la máquina ideal, para lo cual, entre otras cosas, ---
- (c) MEJORA EL AERODINAMISMO INTERNO, infinitamente más importante que el externo, y ---

(a)...disminuye el servicio interno de la máquina mediante dos recursos:

\* cuadruplica la eficiencia del eyector de tiro, lo que permite duplicar las máximas intensidades de vaporización (hasta  $120 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ) y...

\*...duplica la potencia másica (potencia en relación al peso de la unidad motriz);

(e) armoniza el conjunto termodinámico en un esquema en el cual los distintos factores incidentes se "sinergizan" entre sí (se favorecen unos a otros), y

(f) conjugó la termodinámica francesa con la mecánica americana.

CHAPELÓN mismo nunca definió así las características fundamentales de su obra. (al menos explícitamente) quizá porque había falta la perspectiva del tiempo para aguilatarla en profundidad, para no decir que la continuidad de su escuela es la que lo pone de manifiesto. El autor, especialmente a lo largo de los últimos 25 años, continuó trabajando en esa escuela conforme a los principios que más adelante se exponen y que, enfocados desde el punto de vista de la racionalización de la energía, constituyen el objeto del presente trabajo.

## 2 La locomotora N° 3450 (Fig. 1)

### 2.1 Principios.

Agregando a los fundamentales trabajos de CHAPELON, a los que adhiera plenamente, el autor avanza a lo largo de las siguientes bases:

- (A) se amplía y perfecciona el ciclo termodinámico teórico;
- (B) se posibilita el empleo de muy altas temperaturas de vapor resolviendo problemas fundamentales de lubricación;
- (C) se ha usado interés del enorme saber acumulado en: dinámica de fluidos, transmisión de calor, etc.;
- (D) se disminuyen las pérdidas irreversibles tanto en el ciclo fundamental (disminución de los saltos de temperatura) cuanto en los detalles que hacen a la inserción de la máquina real en la máquina ideal;
- (E) se minimizan las pérdidas asociadas a la naturaleza intermitente del trabajo ferroviario;
- (F) se mejora el rendimiento global (anual) de la caldera mediante el sistema de "combustión a la gasógena" (apendice A1), etc.

Una segunda serie de principios se darán más adelante.

## 2.2 Aplicación.

La locomotora prototipo N° 3450 pertenecía a la clase 25 NC, la que junto con la 25, fuera construida en forma asociada por NORTH BRITISH LOCOMOTIVE Co. (Gran Bretaña); HÜNSCHEL (Alemania Federal). Una mitad de la serie fue provista de condensadores con refrigeración por aire (3) en atención a que debía operar en el desierto de Karoo. Cuando esa línea fue convertida a tracción diesel, se suprimieron los condensadores porque su costo de mantenimiento era significativo, no obteniéndose mayor beneficio en orden a la conservación de la caldera en comparación con el tratamiento interno-externo del agua de reposición (100%). En el aspecto mecánico, ambas series incorporaron los desarrollos de la mecánica que hizo famosa a la locomotora americana. Desde el punto de vista termodinámico, sin embargo, el diseño hace caso omiso al esquema CHAPELONIANO. No obstante, la performance general, medida en los términos relativos propios de la técnica ferroviaria, es objeto de favorables comentarios. Alimentada con carbón que, ferroviariamente, cabría calificar "de segunda", su combustión se caracteriza por inmensas humaredas que hacen las delicias de los fotógrafos, amén de que a los máximos regímenes de trabajo, con los que se consiguen las máximas potencias, una larga estela de chispas que románticamente brillan en la noche sudáfrica habla de un no elogiado rendimiento de caldera. Agéguense las pérdidas propias de las limpiezas de fuegos asociadas con la formación de escorias y se tendrá un cuadro imponente, pero cuya eficiencia ofrece un amplio campo a la mejora.

En si, el diseño parece agotar las posibilidades y límites impuestos por la trocha angosta, el peso por eje, el tamaño máximo de contornos, etc. de los FTCC Sudafricanos. HOLLAND (Ref (4), p. 109) dice así mismo que -- "many new ideas (for South Africa) were incorporated and the engines could quite well be considered to be the ultimate in SAR locomotive design". Y en la pag. 112 menciona que -- "these powerful and impressive looking locomotives are giving excellent service in many parts of the country". -- "A number were employed on the Komatipoort-Waenwal Bo line prior to electrification, and to see these massive engines thundering up the pass through the Elands River Gorge -- was a sight to gladden the hearts of all true lovers of the steam locomotive". Debía decir "engineers" en lugar de "lovers". ¿Como es que se ha podido incrementar en mucho la potencia y reducir también en mucho el consumo de combustible conservando las dimensiones estructurales y los órganos de un diseño original que mereció tales conceptos?

## 2.2.1 La ecuación fundamental de la locomotora.

Es:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{potencia} \\ [kW] \end{array} \right\} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{producción de vapor} [kg \ h^{-1}] \\ \text{consumo específico de vapor} \\ [kg \ kW^{-1} \ h^{-1}] \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{consumo específico de vapor} \\ [kg \ kW^{-1} \ h^{-1}] \end{array} \right\}}$$

o bien su análoga

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{potencia} \\ [kW] \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{input energético} \\ [kcal \ h^{-1}] \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \text{rendimiento} \\ \text{térmico} [-] \end{array} \right\} \quad (*)$$

Ambas ecuaciones son por cierto familiares, pero, en la filosofía "práctica" de la que generaciones de ingenieros ferroviarios han sido tan amantes, tales ecuaciones han estado (pensosamente) ausentes. Para ellos la potencia resultaba de que se empujaban grandes pistones sobre largas carreras de émbolo, no demasiadas veces por minuto, como que la experiencia mostraba una caída del par motor con la velocidad. El consumo de vapor resultaba de la necesidad de alimentar esos "grandes cilindros": nadie pensaba en el denominador de la ecuación. He allí una concepción de preguera cuyo máximo exponente es la locomotora americana, inmenso devorador de combustible barato. Inmensas calderas cuyo altísimo servicio interno por supuesto tenía un precio también altísimo en forma de muy alto consumo específico. De ningún modo se veía la importancia de un bajo consumo

-- III

(\*) se perdonará la licencia de escribir en "unidades cuyo uso se desaconseja" en aras de "ilustrar" un "input" energético que proviene del calor del combustible.



III... no específicos de vapor. Si se incrementaron las presiones, se debió fundamentalmente a la primigenia idea de "aumentar el empuje en los pistones"; jamás para aumentar el salto adiabático disponible. En cuanto al rendimiento térmico (concepto por supuesto conocido), nunca se lo vio asociado a la potencia en la forma en que lo patentiza la segunda invención.

Europa, en especial Alemania, no manejó estos conceptos en tan grosera forma, pero tampoco los patentizó tal como aquí se muestra. La importancia del denominador, y del rendimiento térmico se vieron en relación con la economía de un combustible que no era tan barato como en otro lado del Atlántico. Así, el calentamiento del agua de alimentación con calor de baja exergía (o sea con vapor ya servido) se vio más como un factor de economía que como un factor que incidía en la potencia. CHAPELÓN, aún cuando quizás no explicita estos conceptos en la forma antedicha, de hecho los materializa conforme se dicho más arriba. Actúa sobre el numerador y sobre el denominador en una armoniosa conjunción que otros no comprenden, pero que tratan de imitar con resultados apenas pasable.

CHAPELÓN

## 2.2.2 Elementos que materializan las mejoras.

Ha de entenderse (i) que lo hecho por D. WARDALE en la N° 3150 no agota las posibilidades de la aplicación de los principios presentemente detallados por cuanto el diseño original no permite todas las posibilidades que se danar en una máquina nueva; (ii) que aún las posibilidades que ofrece el diseño original temporales han sido, por razones circunstanciales, agotadas, y (iii) que el paquete de compromisos de que hoy se dispone sitúan las posibilidades de la locomotora de vapor, en su concepción clásica, muchísimo más allá de lo hecho (PORTA-WARDALE(5)).

Las principales mejoras aplicadas (son expuestas no sistemáticamente) son:

- (a) incremento de la vaporización insana de la caldera gracias a un tiro inducido muy elevado ( $\approx 600 \text{ mm H}_2\text{O}$ ) obtenido gracias al ejetor LEMPOR (de diseño del autor) con un moderado consumo para servicio interno;
- (b) incremento de la temperatura del vapor ( $\approx 475^\circ\text{C}$ ) obtenidos alterando la distribución de las superficies de calefacción del haz tubular;
- (c) implementación del sistema de combustión "a la gasígena" desarrollados por el autor en Argentina (ver apéndice A1);
- (d) supresión de la regulación de la potencia por estrangulamiento (disminución irreversible de presión) del flujo de vapor;
- (e) calentamiento del agua de alimentación mediante vapor ya servido en la máquina, de baja energía;

- (f) mejora en la hermeticidad de los pistones mediante el empleo de una tribología de avanzada (PORTA, (6));
- (g) provisión de instrumentos auxiliares que perfeccionan el manejo "o sentimiento". Nótese que la locomotora NO DISPONE DE NINGUNA AUTOMATIZACIÓN;
- (h) mejora sustancial en la aislación de los cilindros;
- (i) mejora sustancial del aerodinamismo interno, particularmente de las válvulas de distribución cuyo diámetro virtual duplica el original conservando sin embargo el diámetro geométrico;
- (j) mejoras de detalles que tienen importancia en orden a la prestación que la máquina da como elemento de mover vagones (que es la función principal a la que ha de subordinarse todo);
- (k) la aplicación de una profunda teoría de cálculo termodinámico que representa un infinito progreso respecto del empirismo anglo-americano y aun respecto del esquema teórico CHAPELONIANO, etc.

### 2.3 Resultados.

Los resultados de los ensayos que están haciendo (1702) los FCC Sudafricanos aún no han sido dados a conocer. No obstante, dado que el trabajo de una locomotora se realiza a la vista de quien mira,

la performance de la N° 3450 ha tomado estado público, reflejándose en la prensa mundial (7/8). Pueden mencionarse varias características notoriamente aparentes:

- (i) el proceso de puesta a punto ha requerido sólo mínimos retoques, lo que supone el acierto de los aspectos teóricos;
- (ii) la performance como elemento de tráfico es muy satisfactoria, lo que indica una feliz materialización de esos aspectos teóricos;
- (iii) hay un visible y muy grande incremento de potencia que puede juzgarse, en forma comparativa con la de otras unidades de la serie 25, mediante una evaluación de tonelajes remolcados y velocidades;
- (iv) lo mismo cabe decir del consumo de combustible;
- (v) la máquina ha demostrado su aptitud para realizar servicios asignados a locomotoras eléctricas, etc.

### 3 Conclusiones.

Lo más importante del esquema cuyos aspectos técnicos se han descritos son sus potenciales implicancias en la economía energética del país (Sudafrica), sobre los que cabe tomarse la libertad de imaginarios como sigue:

- (a) ha de producirse una transferencia importante del tráfico o sea cargados por el autotransporte hacia el ferrocarril como consecuencia de que el último requiere sólo una cuarta parte de la energía mecánica para realizarlo;
- (b) el ferrocarril puede realizar ese tráfico prescindiendo del petróleo, sea mediante la electrificación de origen térmico con carbón, sea mediante locomotoras autónomas. Pese a su avanzadísima industria de licuación del carbón, Sudafrica es un importador de petróleo;
- (c) la 3450 muestra que la tracción a vapor ofrece un potencial hasta ahora desaprovechado y compatible con las exigencias de potencias y arrastres que esa transferencia de tráfico hace prever;
- (d) tal potencial resulta de la aplicación del segundo principio de la termodinámica, de la utilización del (abundante) carbón, de no requerirse las inversiones que exige la electrificación y de poderse realizar todo en base a recursos de la industria local.

En relación con Latinoamérica, cuya problemática en estos temas no es demasiado diferente de la sudafricana, cabe agregar que, ---III

///--- habiendo modificado el sistema de combustión a la gasógena su aptitud para trabajar con leña de cualquier clase y tamaño, todo lo dicho para el carbón vale para ese combustible, sea proveniente de la renta de los bosques naturales, sea de plantaciones hechas a lo largo de la vía como tiene el ferrocarril de Benguela.

Como dice el refrán, "al que le viene bien el saco, que se lo ponga".

## Apendice

### A1. El sistema de combustión a la gasógena.

Con referencia a la Fig. 2, que muestra al hogar tradicional constituido por la capa de fuego 1, su envolvente 2, los tubos de humos 3, la puerta de carga 4, la panilla volteable 5, etc., se nota un lecho de combustible (carbón) 6 cuyo espesor es de unos 15 diámetros de partícula (30 a 50 cm), lo que le hace trabajar como gasógena. De la superficie del lecho salen, pues, gases combustibles 9, tratándose que los mismos retengan la máxima energía química posible en forma de  $\text{CO}$ , hidrocarburos, etc. Ese gas provee de materia combustible para una liberación de calor en fase gaseosa con el aire que entra por aberturas 7, 8, etc. y por la puerta 4 semiabierta, con lo que, en realidad, se quema aire "en defecto" en la atmósfera de gas que emerge del lecho 6. La mezcla se hace bajo una turbulencia intensa, con una liberación de calor del orden de 4 a 5  $\text{Gcal m}^{-3} \text{h}^{-1}$  y un tiempo de residencia del orden de 0,1 s. La uniformación del recorrido de la llama se hace mediante el altar 10. La llama es muy clara, turbulenta, en tanto que el lecho de fuego 6 muestra una superficie oscura correspondiente a una temperatura de 800 a 1000  $^{\circ}\text{C}$ .

A fin de aumentar el efecto de gasificación, se inyecta, mediante tubo perforado 11 dispuestos en el cenicero 12, un vapor secundario 13 que se mezcla con el aire primario 14. La mezcla aire primario - vapor constituye el agente de gasificación. Las reacciones endotérmicas a que dan lugar la disociación del vapor de agua disminuyen las ---III

///... temperaturas máximas que se dan en la zona de oxidación del lecho gasificante 6 (de unos  $1400^{\circ}\text{C}$  a  $\approx 1100^{\circ}\text{C}$ ) con lo que se puede controlar la formación de cenizas. Las cenizas, ahora pulverulentas o reducidas a una condición muy fina, pueden ser descargadas por la gilla 5 en forma indefinidamente continua, lo que representa un progreso grande respecto de la combustión que tradicionalmente se hacía con las locomotoras, aún con carbones de selección (que ya no existen más), en la que era obligatorio interrumpir la vaporización para hacer (pe-  
nosas) limpiezas de fuego.

Dado que el fuego es atravesado por sólo un 30 a 40 % del aire total, el coque volante (que motiva las grandes pérdidas que se dan en forma de chispas) se reduce a la décima parte, la combustión, por razones que no se conocen bien todavía, SE HACE SIN HUMO; el enciencimiento de las superficies de calefacción por efecto de las cenizas desaparece en la mayoría de los casos; el techo de vaporización de la caldera determinado por la máxima intensidad de la combustión sobre la parrilla ("grate limit", de naturaleza mecánica) sufre tanto que prácticamente desaparece y la combustión se realiza con un rendimiento global que va de 99% a baja carga a 95% a sobrecargas, contra buenas cifras convencionales de 95% y 75%.

EL SISTEMA ES AUTOREGULANTE; CARECE DE INSTRUMENTOS DE CONTROL y es capaz de trabajar sin mayores alteraciones con cualquier combustible sólido habiéndose probado los de la lista que sigue:



- \* carbón mineral en el espectro que va desde el semi-bituminoso (tipo Cardiff) al sub bituminoso (Río Turbó, Sud África), no coquizante hasta moderadamente coquizante, con cualquier granulometría (3 mm a 150 mm, uniforme o no), etc.;
- \* coke de petóleos;
- \* leña de cualquier clase y tamaño;
- \* residuos de aserradero;
- \* finos de carbón de leña (Zapla) mezclados con 10% de fuel oil;
- \* mezclas de cualquiera de los citados combustibles en cualquier proporción, etc.

La alimentación puede ser manual o con spreader stoker. Los expertos pronostican que habrá una importante retención del azufre, lo que, junto con la eliminación del humo, supone una significativa contribución al cuidado del medio ambiente.