

# Poder de arrastre de las locomotoras de carga y tonelaje de los trenes

FCR

ROBERTO OVALLE A.

---

## 1.º PODER DE ARRASTRE DE LAS LOCOMOTORAS

Estudiaremos, por separado, cada uno de los factores que intervienen en el cálculo del poder de arrastre. A) Resistencias. B) Peso adherente. C) Esfuerzos en los cilindros, caldera y parrilla.

A) *Resistencias*.--Estas se componen de tres términos distintos: la *resistencia en recta y horizontal*, debida al rodado propiamente dicho, llamada generalmente resistencia por velocidad, y que incluye los diferentes rozamientos y la resistencia del aire; la *resistencia debida a las curvas de la vía*, y finalmente la *resistencia debida a las gradientes*.

a) *Resistencia en la línea recta y horizontal* (resistencia por velocidad). --Sobre la evaluación de esta resistencia existe una discrepancia enorme y desgraciadamente, en nuestra Empresa, por falta de un carro dinamométrico, se carece de toda experiencia al respecto. Hasta hoy día se ha generalizado en la Empresa la fórmula de Frank y ello con motivo que dicha fórmula da valores medios relativamente con las demás fórmulas en uso en otras Administraciones. Dicha fórmula para el tren y tender es:

$$r_1 = 2,5 + 0.00052 V^2 \text{ kgs./ton.}$$

y para la locomotora

$$R = 2,5 \sqrt{a} + 0.00075a \sqrt{V^2} \text{ kgs./ton.}$$

en que  $a$  es el número de ejes acoplados y  $V$  la velocidad en Km./hora.

Queda expresada esta fórmula en el Gráfico N.º 1.

He podido observar personalmente, diferencias apreciables entre el tonelaje calculado con la fórmula de Frank y el que dan las experiencias, diferencias que acusan un exceso a pequeñas velocidades y un defecto a grandes velocidades.

De las experiencias hechas últimamente sobre resistencias, parecen las más completas las efectuadas en Estados Unidos por el Ferrocarril Pennsylvania.

Estas experiencias y sus resultados que se dan mas adelante, se obtuvieron por mensuras hechas con el carro dinamométrico en la Philadelphia Division, para trenes con carros y a velocidades diferentes y para condiciones normales de la vía (bien lastrada, rieles pesados, etc.).

Como conclusiones de dichas experiencias, pueden establecerse las siguientes:

La resistencia que ofrece un carro, sobre una vía recta y a nivel, puede dividirse en las partes siguientes:

a Rozamientos de los ejes;

b Rodamiento de las ruedas sobre los rieles, resistencia de la vía debida a su compresión, perdidas diversas debidas a oscilaciones y vibraciones que absorben energía imposible de recuperar;

c Rozamiento de las pestañas de las ruedas, debido a la presión que ejercen sobre el riel

d Resistencia atmosférica.

De las componentes mencionadas, es posible que *a* sea suficientemente constante dentro de ciertos límites de velocidad; que *b* y *c* aumenten con ella, variando sensiblemente con las condiciones de la vía y rigidez de los rieles; y que *d* crezca como el cuadrado de la velocidad.

Con rieles pesados, bien sostenidos, con buen alineamiento, sin torceduras, las pérdidas debidas a *b* y *c* se reducen a un mínimo.

En resumen puede establecerse:

En trenes de carga, a velocidades menores de 25 millas por hora (40 km.), la resistencia al movimiento en recta y horizontal, es constante y puede ser representada para carros de peso diferentes, por la curva del Gráfico N.º 2.

Para carros hasta un límite de 80 toneladas de 2 000 lbs. (88 toneladas métricas), la resistencia por carro puede representarse por la línea recta del Gráfico N.º 2.

Para las locomotoras y tender, las mismas experiencias establecen:

Estas resistencias se componen de las partes siguientes:

a) Rozamiento de la máquina, o sea la energía necesaria para vencer los rozamientos internos de los órganos de la locomotora, tales como ruedas motrices, émbolos, crucetas, etc.

Puede estimarse esta resistencia en 25 lbs. por tonelada de 2 000 lbs. de peso sobre las ruedas motrices (12,5 kgs. por tonelada métrica) a todas velocidades, incluyendo a la vez la resistencia de la vía.

b) Resistencia de los trucks de la locomotora y tender, que se estima igual a la que ofrecen los coches. Esta resistencia varía en función de la velocidad, quedando representada en el Gráfico N.º 3.

Parece interesante hacer la comparación entre los resultados obtenidos de las experiencias de la Pennsylvania y los que da la fórmula de Frank.

| Velocidad<br>Km./h | Experiencias de la Pennsylvania<br>Equipo cargado |              |              |             | Fórmula de Frank<br>para todo equipo |
|--------------------|---------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------------------|
|                    | 10 Toneladas                                      | 20 Toneladas | 40 Toneladas | 0 Toneladas |                                      |
| 10                 | 3,65                                              | 2,2          | 1,8          | 1,55        | 2,3                                  |
| 20                 | 3,65                                              | 2,2          | 1,8          | 1,55        | 2,6                                  |
| 30                 | 3,65                                              | 2,2          | 1,8          | 1,55        | 2,7                                  |
| 40                 | 3,65                                              | 2,2          | 1,8          | 1,55        | 3,1                                  |
| 50                 | 3,65                                              | 2,2          | 1,8          | 1,55        | 3,6                                  |

b) *Resistencia en curva.*—En nuestros Ferrocarriles, se ha usado comunmente la fórmula de Desdouts.

$$r_2 = \frac{500 e}{R}$$

en que  $e$  representa la trocha y  $R$  el radio de la curva.

Los resultados obtenidos por esta fórmula no difieren sensiblemente de las experiencias de la Pennsylvania, que han sido hechas para carros cargados y diferentes curvas (curva mas larga que el tren y tren más largo que la curva).

Seguiré, por lo tanto, usando la fórmula de Desdouts, que queda representada en el Gráfico N.º 1.

c) *Resistencia por gradiente.*—Puede expresarse, con suficiente aproximación, en tantos kgs. por tonelada como milímetros por metro tiene la gradiente.

B) *Peso adherente*.—La práctica corriente europea, fija este coeficiente entre 1/5 y 1/7. En cambio en Norte América la "Convention of the Am. Ry. Master Mechanics Association" fijó los siguientes valores:

Para locomotoras de trenes de pasajeros  $\frac{1}{4}$ .

Para locomotoras de trenes de carga  $\frac{1}{4},25$ .

Para locomotoras de trenes de patio  $\frac{1}{4},5$ .

La diferencia notable entre los valores europeos y americanos se explica por el hecho de que en EE. UU. las locomotoras se calculan para el momento del demarraje, en que el esfuerzo de tracción es máximo, y para el cual es fácil y conveniente aumentar transitoriamente la adherencia.

El criterio que deberá seguirse es a mi juicio el siguiente: dado que los diversos organismos de una locomotora (cilindro, caldera y parrillas), deben ser armónicos en los esfuerzos que puedan desarrollar, se calculará los máximos para cada uno de ellos. El menor valor de ellos, dividido por el peso adherente, dará el coeficiente de adherencia que deba usarse.

Así por ejemplo, para una locomotora North British tipo 57 se tendría:

Esfuerzo máximo en caldera a 20 km./h. 7 980 kgs.

Esfuerzo máximo en el cilindro a 20 km./h. 8 800 kgs.

Esfuerzo máximo en la parrilla 20 km./h. a 8 100 kgs.

El menor de estos valores es entonces 7 980 kgs., que dividido por el peso adherente, dará el valor de la adherencia que deba usarse en los cálculos.

$$\frac{7\ 980}{38\ 700} = 1/5$$

Los gráficos que siguen mas adelante y que demuestran los esfuerzos de los diferentes organismos de las locomotoras, muestran claramente cuál debe ser el coeficiente de adherencia con que deban hacerse los cálculos, permitiendo a la vez demostrar la aseveración hecha sobre la diversidad de criterio de los europeos y americanos, pues mientras las locomotoras calculadas por los primeros jamás pasan de una adherencia de 1/5, los segundos llegan hasta  $\frac{1}{4}$ .

C) *Esfuerzos en los cilindros, caldero y parrilla*.—Intervienen en su cálculo una serie de coeficientes de origen experimental, cuyos valores, por este motivo, son difíciles de fijar con certeza. Tales son:

Coeficiente que relaciona la presión en el caldero con la presión media en el cilindro a diferentes velocidades y admisiones.

Capacidad de producción de vapor de la superficie de calefacción.

Capacidad de producción de vapor del combustible.

Relación de la potencia de la máquina y el consumo de vapor y combustible.

Capacidad de combustion de la parrilla.

Entre los muchos valores propuestos, para estos coeficientes, por diferentes autores, existen bastante discrepancias.

He resuelto adoptar los métodos y coeficientes que usa la American Locomotive Works C.<sup>o</sup>, porque forman entre todos los demás, un sistema homogéneo y han sido obtenidos por medio de experimentos modernos y bien autorizados. En ellos han debido intervenir algunos detalles característicos de las locomotoras modernas, como la mayor longitud de los tubos, aumento de presión en los calderos y uso del vapor sobrecalentado, detalles que hacen inaplicables los coeficientes que hasta hoy día habían sido aplicados.

*Esfuerzos en los cilindros.*—En el cálculo de estos esfuerzos interviene el coeficiente que relaciona la presión en el caldero con la presión media en el cilindro a diferentes velocidades.

La American Locomotive da el coeficiente de reducción del esfuerzo por la velocidad, considerando como máximo aprovechable el 85% de la presión en el caldero.

El esfuerzo máximo queda entonces dado por la fórmula:

$$F = 0,85 \frac{p d^2 l}{D}$$

esfuerzo, que según experiencias hechas, se mantiene constante hasta una velocidad del émbolo de 76-mts. por minuto (250 pies), para empezar enseguida a decaer.

Los coeficientes dados son los siguientes:

| Velocidad del émbolo<br>en m. minut. | Vapor saturado         |                           | Vapor recalentado      |                           |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
|                                      | Factor<br>de velocidad | Por ciento de<br>potencia | Factor<br>de velocidad | Por ciento de<br>potencia |
| 76                                   | 1,000                  | 60,4                      | 1,000                  | 55,6                      |
| 107                                  | 0,908                  | 77,2                      | 0,908                  | 71,3                      |
| 137                                  | 0,817                  | 89,0                      | 0,817                  | 82,3                      |
| 168                                  | 0,727                  | 96,8                      | 0,727                  | 89,5                      |
| 198                                  | 0,636                  | 99,7                      | 0,643                  | 93,6                      |
| 229                                  | 0,550                  | 100,0                     | 0,572                  | 96,3                      |
| 259                                  | 0,487                  | 100,0                     | 0,515                  | 98,3                      |
| 335                                  | 0,372                  | 99,0                      | 0,405                  | 100,0                     |
| 366                                  | 0,337                  | 97,8                      | 0,371                  | 100,0                     |
| 396                                  | 0,307                  | 96,8                      | 0,342                  | 100,0                     |
| 427                                  | 0,283                  | 95,7                      | 0,318                  | 100,0                     |
| 457                                  | 0,261                  | 94,7                      | 0,297                  | 100,0                     |
| 488                                  | 0,241                  | 93,5                      | 0,278                  | 100,0                     |

La curva del Gráfico N.º 4 proporciona los valores del coeficiente de velocidad.

Obtenidos así los esfuerzos en los cilindros a diferentes velocidades, fácil es determinar la potencia, la que alcanza su máximo, con vapor saturado, a una velocidad del émbolo de 213 mts. por minuto, permaneciendo constante hasta una velocidad de 300 mts. por minuto, para enseguida decaer.

Con el vapor sobrecalentado, este máximo se alcanza para una velocidad de émbolo de 300 mts. por minuto.

*Esfuerzo en el caldero.*—La producción de vapor en el caldero varía: con la longitud de los tubos, con su diámetro y su espaciamiento. Además hay una gran diferencia entre la producción de la superficie directa de calefacción (caja de fuego y tubos de agua) y la producción de los tubos.

En general la producción de los tubos aumenta con el espaciamiento y con el diámetro y disminuye con la longitud.

Según experiencias hechas, se puede fijar, para condiciones medias una producción de 45 kgs. de vapor por metro cuadrado y por hora (10 libras por pie cuadrado) y de 270 kgs. (55 libras); correspondiendo el primer valor a los tubos y el segundo a la superficie directa.

En cuanto al consumo de vapor en relación con el trabajo de la máquina, la American Locomotive, lo fija como sigue:

12.3 kgs. de vapor por HP. hora con vapor saturado.  
9,5 kgs. de vapor por HP. hora con vapor sobrecalentado

Para fijar entonces la curva de los esfuerzos del caldero, con relación a la velocidad, deberemos empezar por determinar la potencia del caldero, partiendo de la superficie de calefacción, para enseguida determinar los esfuerzos por medio de la fórmula conocida.

$$H. P. = \frac{V F}{270}$$

$$F = \frac{270 H. P.}{V}$$

*Esfuerzos en la parrilla.*—La capacidad de combustión de la parrilla, en relación con su superficie, depende de la naturaleza del combustible.

Para carbones bituminosos, con ley de 25 a 30% de materias volátiles, la American Locomotive da como valor máximo de combustión económica, 585 kgs. de vapor por metro cuadrado de superficie y por hora.

Será este el valor que se adoptará, dada la similitud de nuestros carbones con los que expresa la American Locomotive.

En cuanto al consumo de vapor, en relación con el trabajo de la máquina, lo fija como sigue:

1,82 kgs. de carbón por H. P. hora con vapor saturado.  
1,48 kgs. de carbón por HP. hora con vapor sobrecalentado.

De esta manera si cada metro cuadrado de superficie de parrilla, quema 585 kgs. de carbón, se podrá obtener, en la parrilla, una potencia de:

$$\frac{585}{1,82} = 320 \text{ HP. por m}^2. \text{ con vapor saturado.}$$

$$\frac{585}{1,48} = 395 \text{ HP. por m}^2. \text{ con vapor sobrecalentado.}$$

Conocida así la potencia de la parrilla, por su superficie, fácil será determinar, en la misma forma que se ha hecho para el caldero, los esfuerzos para distintas velocidades.

Aplicación de las normas anteriores al cálculo de los esfuerzos en los principales tipos de locomotoras en uso actualmente en la Empresa de los FF. CC. del E.

#### LOCOMOTORA "MIKADO" TIPO 70

|                             |                    |                                          |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------------------|
| Peso adherente 63.503 kg.   | D = 56" = 1,42 mt. | Sup. fogón .. 15,51 m <sup>2</sup> .     |
| Peso trucks ... 24,948 kg.  | d = 22" = 0,56 mt. | Sup. tubos .. 197,61 m <sup>2</sup> .    |
| Total .... 88,451 kg.       | 1 = 28" = 0,71 mt. | Total .. 213,12 m <sup>2</sup> .         |
| Peso tender ... 47,173 kgs. |                    | Sup. parrilla .. 3,91 m <sup>2</sup> .   |
|                             |                    | Presión.                                 |
|                             |                    | 180 lb./o 2 = 12,7 kg./cm <sup>2</sup> . |

*Refuerzos en el cilindro.*

$$F_{\max.} = 0,85 \frac{p d^2 l}{D}$$

$$F_{\max.} = 0,85 \frac{12,7 \times 56^2 \times 71}{142} = 16.800 \text{ kgs.}$$

La potencia máxima en el cilindro se obtiene, como ya se ha dicho, para una velocidad del émbolo de 300 mts.|min. El coeficiente de reducción del esfuerzo es, a esta velocidad, según el Gráfico N.º 4, 0,42.

$$F = 0,42 \times 16.800 = 7.050 \text{ kgs.}$$

A esta velocidad el émbolo (300 mts.|min.) corresponde una velocidad de la locomotora de

$$V = v \frac{\pi \times 60 \times D}{1000 \times 2 \times l} = \frac{300 \times 3,14 \times 60 \times 1,42}{1000 \times 2 \times 0,71} = 56,5 \text{ km.}|h$$

La potencia será entonces:

$$\text{HP.} = \frac{F V}{270} = \frac{7.050 \times 56,5}{270} = 1.480 \text{ HP.}$$

#### CURVA DE ESFUERZO EN EL CILINDRO

| Velocidad<br>Km. hora. | Velo. mt. / seg.<br>$v = 5,32 V$ | Coeficiente<br>de reducción | Esfuerzo<br>Kgs. |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 10                     | 53                               | 1,000                       | 16,800           |
| 14,4                   | 76                               | 1,000                       | 16,800           |
| 20                     | 106                              | 0,880                       | 14,800           |
| 30                     | 160                              | 0,750                       | 12,600           |
| 40                     | 212                              | 0,610                       | 10,250           |
| 50                     | 265                              | 0,510                       | 8,580            |
| 60                     | 320                              | 0,430                       | 7,200            |
| 70                     | 371                              | 0,360                       | 6,040            |

*Esfuerzo en el caldero.*

$$15,51 \text{ m}^2 \times 270 = 4.200 \text{ kgs. de vapor}$$

$$\underline{197,61} \text{ m}^2 \times 45 = \underline{8.900} \text{ kgs. de vapor.}$$

$$\underline{213,12} \text{ m}^2 \text{ dan} \quad \underline{13.100} \text{ kgs. de vapor.}$$

La potencia del caldero será:

$$\frac{13,100}{9.5} = 1,380 \text{ HP.}$$

Los esfuerzos serán entonces:

$$F = \frac{270 \times 1,380}{V} = \frac{372,600}{V}$$

y quedarán representados en el cuadro siguiente:

| Velocidad. | Esfuerzo. |
|------------|-----------|
| 10         | 37,260    |
| 14.4       | 25,900    |
| 20         | 18,600    |
| 30         | 12,400    |
| 40         | 9,300     |
| 50         | 7,480     |
| 60         | 6,230     |
| 70         | 5,340     |

*Esfuerzos en la parrilla.*

La potencia será:

$$3,91 \text{ m}^2 \times 395 = 1,540 \text{ HP.}$$

Siendo esta una curva paralela a la del esfuerzo en el caldero, no habrá interés en trazarla, puesto que los esfuerzos resultan superiores a los del caldero.

*Esfuerzos por adherencia.*—Tomando el coeficiente 4.5 se tendría:

$$F = \frac{63,500}{4.5} = 14,100 \text{ kgs.}$$

Se ve que este valor queda por debajo del menor de los esfuerzos de sus organismos, ya que él tiene lugar para el cilindro y tiene por valor 14 800 kgs.

*Esfuerzos en el collar del tender, en línea recta y horizontal.*

El cuadro siguiente demuestra el valor de estos esfuerzos:

| Velocidad<br>Km. / hora. | Esfuerzos<br>disponibles<br>en la loc.<br>kgs. | Resistencia<br>organismos<br>de la loc.<br>63,5 x 12,5 | Resistencia truck<br>y<br>Tender. | Resis-<br>tencia<br>Total | Esfuerzos<br>disponi-<br>bles. |
|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 10                       | 14,100                                         | 794                                                    | $72,2 \times 1,4 = 100$           | 894                       | 13.206                         |
| 20                       | 14,100                                         | 794                                                    | $72,2 \times 1,5 = 108$           | 902                       | 13.198                         |
| 30                       | 12.400                                         | 794                                                    | $72,2 \times 1,6 = 116$           | 910                       | 11,490                         |
| 40                       | 9,300                                          | 794                                                    | $72,2 \times 1,8 = 130$           | 924                       | 8,376                          |
| 50                       | 7.480                                          | 794                                                    | $72,2 \times 2,0 = 144$           | 938                       | 6.542                          |

## LOCOMOTORA CONSOLIDADA TIPO 51

|                             |                                  |                                        |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| Peso adherente 52.000 k.    | $D = 49.1\frac{1}{4}'' = 1,25m$  | Sup. fogón 10.04 m <sup>2</sup> .      |
| Peso trucks ... 6.000 k.    | $d = 20. \frac{1}{2}'' = 0,52m$  | Sup. tubos.. 161.27 m <sup>2</sup> .   |
| Total .... <u>58.000 k</u>  | $l = 24\frac{3}{4}'' = 0,63 mt.$ | Total ... <u>171.31</u>                |
| Peso tender . . 34,500 kgs. |                                  | Sup. parrilla 2.85 m <sup>2</sup> .    |
|                             |                                  | Presión.                               |
|                             |                                  | 160 lb o2 = 11,3 kgs cm <sup>2</sup> . |

*Esfuerzos en el cilindro.*

$$F_{\max} = 0,85 = \frac{11,3 \times 52^2 \times 63}{125} = 13.100 \text{ kgs.}$$

La potencia máxima se obtiene para una velocidad del émbolo de 213 metros por minuto y a la cual corresponde un coeficiente de reducción del esfuerzo de 0,59.

$$F = 13.100 \times 0,59 = 7.740 \text{ kgs.}$$

A esta velocidad del émbolo corresponde una velocidad de la locomotora de

$$V = \frac{213 \times 3,14 \times 60 \times 1,25}{1.000 \times 2 \times 0,63} = 40 \text{ km.}|\text{hora.}$$

La potencia será entonces:

$$HP. = \frac{7.740 \times 40}{270} = 1.140 \text{ HP.}$$

## CURVA DE ESFUERZOS EN EL CILINDRO

| Velocidad.<br>Km.   hora. | Veloc. mt.   seg.<br>v = 5.35 V. | Coficiente<br>de reducción. | Esfuerzo<br>Kgs. |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 10                        | 53,5                             | 1.00                        | 13.100           |
| 14                        | 76                               | 1.00                        | 13.100           |
| 20                        | 107                              | 0.91                        | 11.900           |
| 30                        | 160                              | 0.75                        | 9.820            |
| 40                        | 214                              | 0.59                        | 7.740            |
| 50                        | 268                              | 0.47                        | 6.180            |
| 60                        | 320                              | 0.39                        | 5.100            |

*Esfuerzos en el caldero.*

$$10,04 \text{ m}^2 \times 270 = 2.720 \text{ kgs. de vapor.}$$

$$\underline{161.27 \text{ m}^2} \times 45 = \underline{7.250 \text{ kgs. de vapor.}}$$

$$\underline{171.31 \text{ m}^2 \text{ dan}} \quad \underline{9.970 \text{ kgs. de vapor.}}$$

La potencia del caldero será entonces:

$$\frac{9.970}{12,3} = \underline{810 \text{ HP.}}$$

y los esfuerzos:

$$F = \frac{270 \times 810}{V}$$

| Velocidad | Esfuerzos |
|-----------|-----------|
| 10        | 21.900    |
| 20        | 10.900    |
| 30        | 7.300     |
| 40        | 5.470     |
| 50        | 4.400     |
| 60        | 3.150     |

*Esfuerzos en la parrilla.*—La potencia será:

$$2,85 \times 320 = \underline{910 \text{ HP.}}$$

*Esfuerzos por adherencia.*—Tomando el coeficiente  $1/5$  se tendría:

$$F = \frac{52.000}{5} = 10.400 \text{ kgs.}$$

Se vé que este valor queda por debajo del menor de los esfuerzos de sus organismos, ya que el tiene lugar para el caldero y tiene por valor 10,900 kgs.

*Esfuerzo en el collar del tender en línea recta y horizontal.*—El cuadro siguiente demuestra el valor de estos esfuerzos.

| Velocidad<br>Km.   hora | Esfuerzos<br>disponibles<br>en la loc.<br>kgs. | Resistencia<br>organismos<br>de la loc.<br>52 x 12,5 | Resistencia truck<br>y<br>Tender | Resis-<br>tencia<br>Total. | Esfuerzos<br>disponi-<br>bles |
|-------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 10                      | 10,400                                         | 650                                                  | $40,5 \times 1,8 = 73$           | 723                        | 9.677                         |
| 20                      | 10,400                                         | 650                                                  | $40,5 \times 1,9 = 77$           | 727                        | 9.673                         |
| 30                      | 7.300                                          | 650                                                  | $40,5 \times 2,0 = 81$           | 731                        | 6.549                         |
| 40                      | 4.400                                          | 650                                                  | $40,5 \times 2,2 = 89$           | 739                        | 3.661                         |
| 50                      | 3.150                                          | 650                                                  | $40,5 \times 2,5 = 108$          | 758                        | 2,392                         |

### LOCOMOTORAS NORTH BRITISH TIPO 57

(Con vapor saturado y sobrecalentado)

|                  |                    |                    |                                          |                              |
|------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| Peso adherente.  | 38.700 kgs.        | D = 56" = 1,42 mt. | Sup. fogón .                             | 9,38 m <sup>2</sup> .        |
| Peso truck ....  | <u>9.800 "</u>     | d = 18" = 0,46 "   | Sup. tubos .                             | <u>102,84 "</u>              |
| Peso total ..... | <u>48.500 kgs.</u> | 1 = 26" = 0,66 mt. | Sup. Total..                             | <u>112,22 m<sup>2</sup>.</u> |
| Peso tender .... | 34.710 kgs.        |                    | Sup. parrilla                            | 1,90 m <sup>2</sup> .        |
|                  |                    |                    | Presión.                                 |                              |
|                  |                    |                    | 160 lb./o2 = 11,3 kgs./cm <sup>2</sup> . |                              |

*Esfuerzos en el cilindro.*

$$F_{\max} = 0,85 \frac{11,3 \times 46^2 \times 66}{1,42} = 9,450 \text{ kgs.}$$

*Potencia.* a) *Vapor saturado.*—La potencia máxima se obtiene para velocidad del émbolo de 213 metros por minuto, a la que corresponde un coeficiente de reducción de 0,59.

$$F = 9.450 \times 0,59 = 5.560 \text{ kgs.}$$

A esta velocidad del émbolo corresponde una velocidad de la locomotora de:

$$V = \frac{213 \times 3,14 \times 60 \times 1,42}{1.000 \times 2 \times 0,66} = 43 \text{ km./hora.}$$

La potencia será entonces:

$$\text{HP.} = \frac{5.560 \times 43}{270} = 880 \text{ HP.}$$

b) *Vapor recalentado.*—La potencia máxima en el cilindro se obtiene para una velocidad del émbolo de 300 metros por minuto a la que corresponde un coeficiente de reducción de 0,42.

$$F = 9.450 \times 0,42 = 3.960 \text{ kgs.}$$

A esta velocidad del émbolo corresponde una velocidad de la locomotora de 61 km./hora. La potencia será entonces:

$$\text{HP.} = \frac{3.960 \times 61}{270} = 900 \text{ HP.}$$

*Curva de esfuerzo en el cilindro.—Vapor saturado.*

| Velocidad<br>Km. / hora. | Veloc. mt. / seg.<br>$v = 4,95 V.$ | Coficiente<br>de reducción. | Esfuerzo<br>kgs. |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 10                       | 49,5                               | 1,00                        | 9.450            |
| 15,4                     | 76                                 | 1,00                        | 9.450            |
| 20                       | 99                                 | 0,93                        | 8.800            |
| 30                       | 148                                | 0,78                        | 7.380            |
| 40                       | 198                                | 0,63                        | 5.950            |
| 50                       | 248                                | 0,52                        | 4.810            |
| 60                       | 297                                | 0,42                        | 3.960            |

*Vapor recalentado.*

| Velocidad<br>Km. / hora. | Veloc. mt. / seg.<br>$V = 4,95 V.$ | Coficiente<br>de reducción | Esfuerzo<br>kgs. |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------|
| 10                       | 49,5                               | 1,00                       | 9.450            |
| 15,4                     | 76                                 | 1,00                       | 9.450            |
| 20                       | 99                                 | 0,93                       | 8.800            |
| 30                       | 148                                | 0,78                       | 7.380            |
| 40                       | 198                                | 0,64                       | 6.050            |
| 50                       | 248                                | 0,54                       | 5.100            |
| 60                       | 297                                | 0,46                       | 4.350            |

*Esfuerzo en el caldero.*

$$9,38 \times 270 = 2.520 \text{ kgs. de vapor.}$$

$$\underline{102,84} \times 45 = \underline{4.710} \text{ kgs. de vapor.}$$

$$\underline{112,22} \text{ dan} \quad \underline{7.230} \text{ kgs. de vapor.}$$

La potencia del caldero será, con vapor saturado:

$$\frac{7.230}{12,3} = \underline{590 \text{ HP.}}$$

Con vapor recalentado:

$$\frac{7.230}{9,5} = \underline{760 \text{ HP.}}$$

y los esfuerzos valdrán:

Con vapor saturado:

$$F = \frac{270 \times 590}{V}$$

$$\text{Con vapor recalentado: } F = \frac{270 \times 760}{V}$$

| Velocidad<br>Km./hora. | Esfuerzos vapor<br>saturado. | Esfuerzos vapor<br>recalentado |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 10                     | 15.910                       | 20.500                         |
| 15,4                   | 10.320                       | 13.350                         |
| 20                     | 7.980                        | 10.250                         |
| 30                     | 5.310                        | 6.850                          |
| 40                     | 3.980                        | 5.140                          |
| 50                     | 3.190                        | 4.110                          |
| 60                     | 2.560                        | 3.420                          |

*Esfuerzo en la parrilla.*

La potencia será:

$$\text{Con vapor saturado: } 1,90 \times 320 = 610 \text{ HP.}$$

$$\text{Con vapor recalentado: } 1,90 \times 395 = 750 \text{ HP.}$$

(Continuará).

