

Sobre los trenes que deben adoptarse como sobrecargas en el cálculo y en las pruebas de los puentes, en vista del aumento de la carga rodante

por

JORGE EWERBECK

I

Si se considera este asunto solamente bajo el punto de vista teórico, llegaremos a concluir que es imposible abordarlo por ser demasiado complejo, pues habría que considerar los siguientes puntos:

- 1.—Intensidad del tráfico.
- 2.—Aumento probable del tráfico en el futuro.
- 3.—Resistencia de la vía.
- 4.—Posibilidad de construirse doble vía y su costo.
- 5.—Posible mejora del perfil.
- 6.—Posibilidad de aumentar el número de los trenes.
- 7.—Aumento del tráfico en los ramales.
- 8.—Posible aumento de la carga útil de los carros, etc.

Trataremos, por consiguiente, de estudiar este tema bajo el punto de vista práctico.

Según los estudios del ingeniero del Departamento, señor Jungk, podemos afirmar que el tráfico aumenta en 100% cada diez años y también podemos asegurar que el tipo de locomotoras "Mikado", ya en uso, bastará para satisfacer aquel aumento de tráfico hasta 1928. Comparando los pesos del equipo actual Mikado y el anterior North British, obtendremos algunas conclusiones sobre la necesidad de aumentar el peso del tren tipo en vigencia.

En el plano N.º I., hemos trazado las líneas de momentos para luces de 0 a 70 m. producidas por los siguientes trenes:

- 1.—*Tren más pesado actual North British;*
- 2.—*Tren futuro compuesto* por una locomotora Mikado y carros carboneros de descarga automática que pesan 60 toneladas;
- 3.—*Tren tipo 1918* (tren 1907 recargado en 25%).

Estudiando estos tres polígonos se deduce que aún en la época en que trafiquen los carros de 60 toneladas los puentes tendrán un margen de resistencia de más o menos 20% que servirá para soportar el tráfico posterior más pesado.

En el plano II, hemos trazado para luces de 0 a 65 m.:

- 1.—La línea I de momentos (en uso desde 1909) correspondiente al tren tipo 1907;
- 2.—La línea II de momentos (en uso desde 1887), correspondiente al tren tipo 1877-90.
- 3.—La línea I del peso propio de los puentes por m. c. (1909).
- 4.—Y la línea II del peso propio de los puentes por m. c. (1887).

Del estudio de estas líneas se deduce:

1.—Que los *momentos* debidos a los diferentes trenes tipos han aumentado en cerca de 40% en 20 años (20% en 10 años).

2.—Que el *peso* de los puentes calculados con los diferentes trenes tipos ha aumentado en 25% en 20 años (12,5% en 10 años).

Se deriva de aquí la importante conclusión que por 1% de aumento de peso en el equipo, el peso de los puentes aumenta en 0,7%.

Si este aumento de peso de los puentes (0,7% por 1% de aumento en el peso del equipo) se hace en forma de refuerzo costará cinco veces más que si se hiciera en un puente nuevo, sin tomar en cuenta aun los gastos producidos por refuerzos provisorios, variantes, andamios, atrasos de los trenes, etc.

En las figuras 1 y 3 se han trazado con línea gruesa:

LA LÍNEA DE MOMENTOS PRODUCIDOS POR LOS DIVERSOS TRENES tipos empleados desde 1885 hasta 1918; y con línea de puntos:

LA LÍNEA DE MOMENTOS PRODUCIDOS POR EL TRAFICO EFECTIVO de los últimos años, para luces de 40 y 50 m.

Se puede observar que los puentes calculados con el tren tipo actual (tren tipo 1907 recargado en 25%), soportarán el tráfico experimentando una fatiga inferior a la tasa hasta el año 1935 y si admitimos un *recargo* de fatiga de 12%, esos puen-

tes servirán perfectamente hasta 1940, *suponiendo que el peso del equipo aumente linealmente a razón de 16% cada 10 años.*

Observación: Como se ve, se ha deducido que el peso del equipo efectivo aumenta a razón de 16% cada 10 años. Pero estudiando los trenes tipos se dedujo también que el peso del tren tipo aumenta en 20% cada 10 años. Estos porcentajes encontrados por diferentes caminos debieran ser iguales, puesto que el tren tipo es el reflejo del tren efectivo; pero no ha ocurrido así debido a la deficiencia de los datos.

Es decir, dentro de 18 años, más o menos, habría que reforzar los puentes que hoy día se proyectaren con el tren tipo 1907 recargado en 25%. Expresándonos con otras palabras, diremos que para evitar que los puentes proyectados hoy día deban reforzarse dentro de 13 años, habría que calcularlos con ejes de 24 T. en lugar de 20 T. si no se quiere recurrir a otros medios como aumento de velocidad de los trenes y aumento del número de trenes.

Según estudios hechos por el ingeniero señor Jungk, resultaría una economía de \$ 1 696 000 m. c. anuales si se emplearan locomotoras Mikado en la 2.ª Zona (132 klmts.), economía que se debe al *mayor poder de arrastre* de esas locomotoras.

A hora bien, el refuerzo de todos los puentes de la 2.ª Zona con un largo total alrededor de 3,500 mts. costará cerca de \$ 6 300 000 m/c., incluyéndose puentes que no se han reforzado desde 45 años atrás. Si tomamos en cuenta la economía que se obtendría en la 2.ª Zona con el uso de locomotoras Mikado (que hoy día no circulan porque los puentes están débiles), llegamos a la conclusión que el refuerzo en la 2.ª Zona, se pagará en menos de 4 años con las economías que deja el tráfico del equipo pesado.

Finalmente, de todos los datos apuntados se infiere:

- 1.º—*Que las obras de arte deben amoldarse a las necesidades del tráfico.*
- 2.º—*Que los puentes nuevos calculados con el tren tipo 1907 y los ya reformados con este mismo tren, bastarán probablemente, hasta 1940.*
- 3.º—*Que convendría, desde hoy en adelante, calcular los puentes nuevos basándose en un equipo con ejes de 24 T, lo que queda especialmente demostrado por el cálculo económico que sigue:*

¿CON QUE TREN TIPO DEBEN CALCULARSE LOS PUENTES HOY DÍA?

(Tomando en cuenta solamente la aplicación del dinero).

Haremos un pequeño estudio que se refiere a los puentes metálicos.

Se ha deducido de la observación del equipo que corre en nuestras líneas desde 40 años atrás, que el peso de los ejes aumenta en 25% cada 16 años.

Si se estudia el aumento de peso de los puentes en relación con el aumento del peso de los ejes, se deduce que el peso de los puentes aumenta 0,6% por cada 1% de aumento del peso de las locomotoras. Bajo estas bases deduciremos que los puentes metálicos aumentan 15,6% de su peso cada 16 años.

Veremos ahora que caso conviene más a la Empresa, económicamente hablando, para salvar una luz dada (en que los machones y estribos están ya construidos).

Caso A. Se coloca allí un puente metálico calculado con un tren tipo equivalente al tren efectivo que va a correr dentro de 16 años; y *Caso B.* Se coloca un puente calculado con un tren tipo equivalente al tren efectivo que va a correr dentro de 32 años.

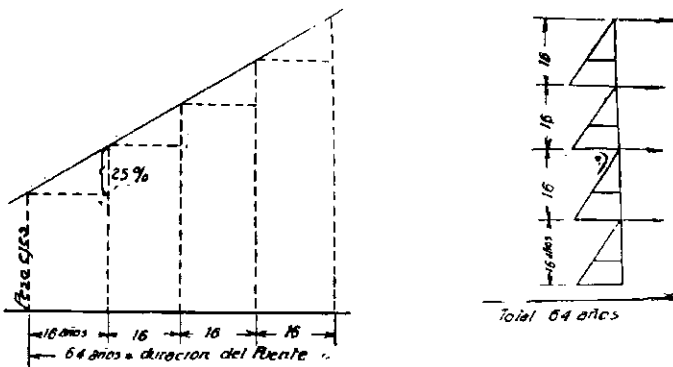
De acuerdo con lo dicho antes aceptaremos en el caso A que el puente se calcula con el tren efectivo actual recargado en 25%; y en el caso B), con el tren efectivo actual recargado en 50%.

Ahora indicaremos para ambos casos, sumariamente el proceso de refuerzo y renovación que sufriría el puente en estudio en 64 años.

CASO A.

I) Puente nuevo calculado con tren actual (1922) recargado en 25% (para 16 años).

II) Refuerzo calculado con tren 1922+50%.



III) Se hace puente nuevo calculado con el tren 1922+75%.

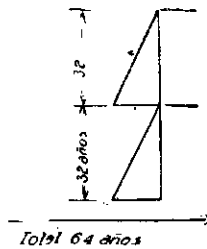
IV) Refuerzo calculado con el tren 1922+100%.

Se ha supuesto que el peso de los ejes aumenta en línea recta.

CASO B.

I) Puente nuevo calculado con tren actual (1922) recargado en 50% (para 32 años).

II) Refuerzo calculado con tren 1922+100%.



Los gastos que origina el caso A, son:

en I)
$$C + C \frac{i}{16}$$

C : es el costo de un puente para resistir el tráfico actual y $C \frac{i}{16}$: es en costo de incremento en material para que sin recargo de fatiga sirva hasta 16 años más tarde.

En II) Se refuerza. De refuerzos ya hechos se ha deducido que el costo unitario de refuerzo es aproximadamente cinco veces el costo unitario de puente nuevo.

El costo unitario del refuerzo sube por los siguientes motivos:

- 1). Se debe quitar la pintura y hacer plantillas en el terreno;
- 2) Gastos de personal permanente;
- 3). El costo unitario se eleva si la cantidad de obra es pequeña. De manera que

en II) se hace el siguiente gasto: $5 C \frac{i}{16}$.

En III) Se hace puente nuevo que contendrá tres incrementos $C \frac{i}{16}$

El gasto es:
$$C + 3 C \frac{i}{16}$$

En IV) Se refuerza el puente y el gasto es:

$$5 C \frac{i}{16}$$

Ahora calcularemos el capital K^A que habría que colocar en un banco en el punto I para que produjera intereses iguales a los gastos que es necesario hacer a medida que transcurre el tiempo. Ese capital K^A , se llama carga económica.

Tendremos, pues: siendo el interés 8 % y $1 + \frac{8}{100} = 1,08 = g$, el coeficiente de capitalización que:

$$K^A = C + C \frac{i}{16} + \frac{5 C \frac{i}{16}}{g \frac{16}{16}} + \frac{C + 3 \frac{i}{16}}{g \frac{32}{16}} + \frac{5 C \frac{i}{16}}{g \frac{48}{16}}$$

Para el caso B se tendrá:

En I)—Puente nuevo proyectado para 32 años; luego con dos incrementos el gasto es:

$$C + 2 C \frac{i}{16}$$

En II).—Se refuerza para 32 años; es decir, se le agregan dos incrementos más. El costo del refuerzo es: $5 \times 2 C \frac{i}{16} = 10 C \frac{i}{16}$.

La carga económica será:

$$K^B = C + 2 C \frac{i}{16} + \frac{10 C \frac{i}{16}}{g \frac{32}{16}}$$

¿Cuál carga económica es mayor?

Tomemos por ejemplo 1 ton. de puente = 1000 \$ = C.

Como ya sabemos, se tendrá: $C \frac{i}{16} = 0,156 C = 0,156 \$$.

$$g = 1,08$$

$$g^{16} = 3,43$$

$$g^{32} = 11,7$$

$$g^{48} = 40,7$$

Reemplacemos estos valores en K^A y K^B y obtendremos:

$$K_A = 1000 + 156 + \frac{780}{3,43} + \frac{1468}{11,8} + \frac{780}{4,07} = 1000 + 156 + 227,4 + 12,5 = 1527 \$$$

$$K^B = 1000 + 312 + \frac{1560}{11,7} = 1312 + 133,5 = \$ 1445.$$

El caso A es más caro que el caso B en 5,7%

Se deduce que conviene más calcular los puentes con un tren tipo pesado que se relacione con la duración del puente. En nuestro caso conviene, pues calcular los puentes con un tren que tenga 24 T por eje, que corresponde al tren Mikado recargado en 50 por ciento.

Aquí convendría agregar el CASO C:

Se coloca un puente calculado con un tren tipo equivalente al tren efectivo que va a correr dentro de 64 años (duración total del puente), o sea, igual al tren actual recargado en 100%.

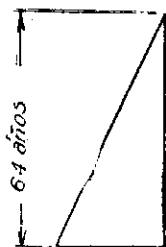
En el caso C la carga económica sería:

(Con cuatro incrementos $C \frac{i}{16}$)

$$K^C = C + 4 C \frac{i}{16}$$

Aplicando las cifras de los casos anteriores se tiene:

$$K_C = 1000 + 624 = \$ 1624$$



Se deduce que el caso C es el más caro de todos.

El caso B es 11% más económico que el caso C.

II

TREN QUE DEBE EMPLEARSE EN LAS PRUEBAS

El tren de prueba se formará con dos locomotoras en su posición normal de marcha seguidas de carros cargados, debiendo en todo caso recurrirse al material existente más desfavorable que puede circular por la línea en que está situada la obra. Hoy día para puentes de la línea central el tren de prueba se compondría de dos locomotoras Mikado y carros de 60 toneladas.

PUENTES DE CONCRETO ARMADO

Las conclusiones deducidas con respecto a puentes de acero, son válidas en mayor grado para puentes de concreto armado, por los siguientes motivos:

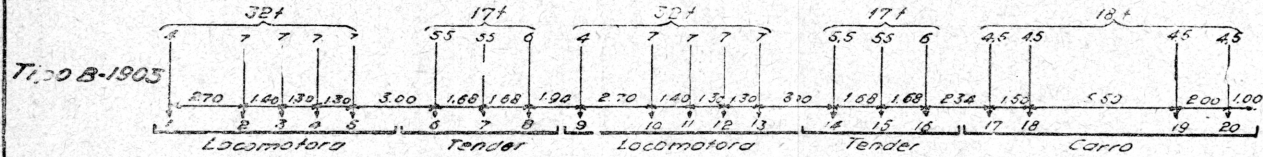
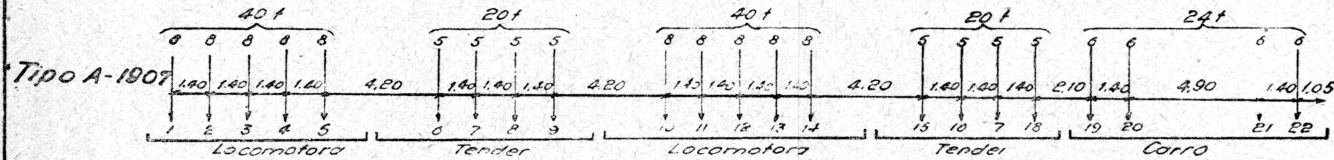
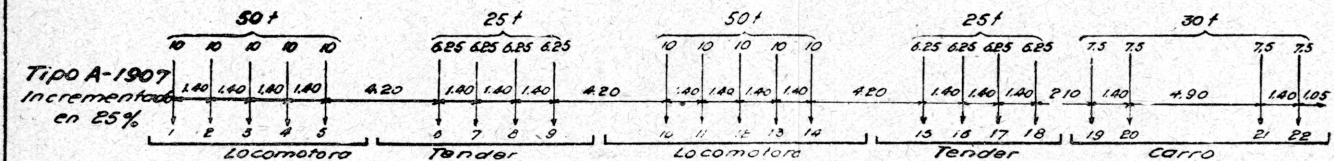
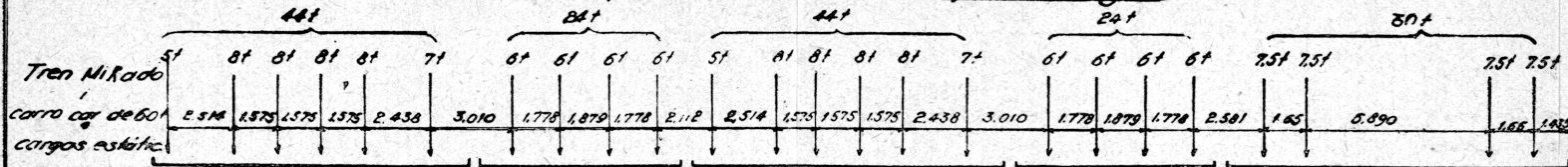
1.º En los puentes de concreto armado el peso propio tiene mayor influencia que la carga rodante.

2.º Porque si no es imposible, es sumamente costoso reforzar los puentes de concreto armado.



Gráfico de los momentos máximos producidos por el tren Mikado i los diversos trenes tipos en vigas de 5 a 75 m de luz

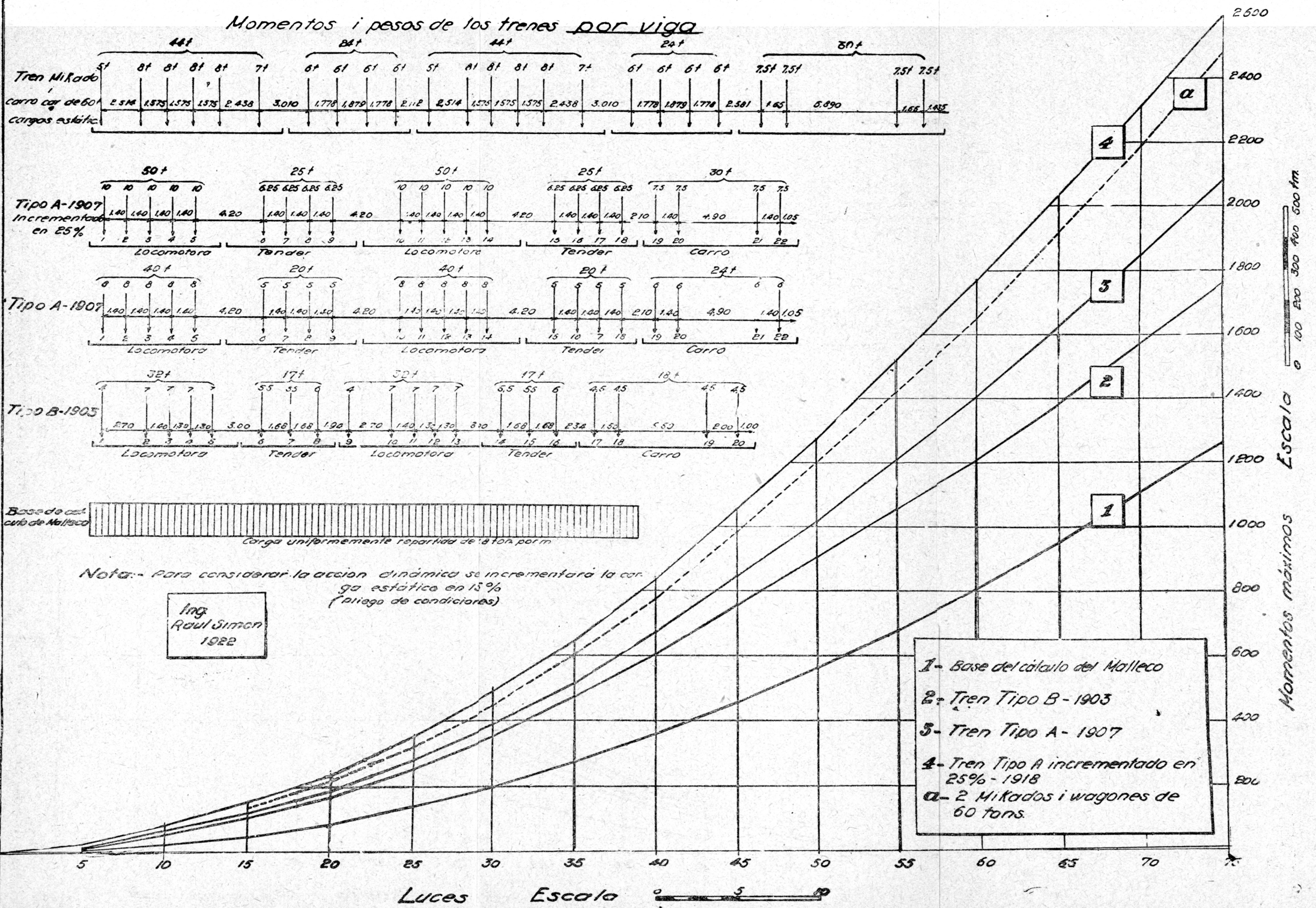
Momentos i pesos de los trenes por viga



Nota: - Para considerar la acción dinámica se incrementará la carga estática en 15% (añejo de condiciones)

Ing. Raul Simon 1922

- 1- Base del cálculo del Malleco
- 2- Tren Tipo B-1903
- 3- Tren Tipo A-1907
- 4- Tren Tipo A incrementado en 25% - 1918
- α- 2 Mikados i wagones de 60 tons.



Escala 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600

Momentos máximos

Luces Escala 0 5 10