

# NUEVOS ESTUDIOS SOBRE EL "IMPACTO"

Por DOMINGO MENDIZABAL FERNANDEZ, Ingeniero de Caminos.

*Continúa y termina el trabajo iniciado en nuestro número anterior con el mismo título. En él se da cuenta de los numerosos trabajos realizados en el extranjero mediante empleo de modelos, que llevan al autor a formular interesantes conclusiones y a invitar a nuestro Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias a acometer esa delicada y ardua tarea, para la que, a su juicio, está capacitado.*

## II

### Empleo de modelos.

Para evitar los inconvenientes de tener que realizar estos ensayos en tramos y locomotoras reales, se han verificado múltiples experiencias con tramos y locomotoras equivalentes, formadas bien por un solo eje o por un grupo de cinco o seis, en modelos reducidos.

En las figuras 10 y 11 se representan los aparatos empleados en el Laboratorio de la Universidad de Illinois, en sustitución de los que hubieron de utilizarse en los ensayos efectuados con una locomotora real de la serie Cooper (fig. 12), cuyas características, así como las del tramo utilizado, se indican a continuación:

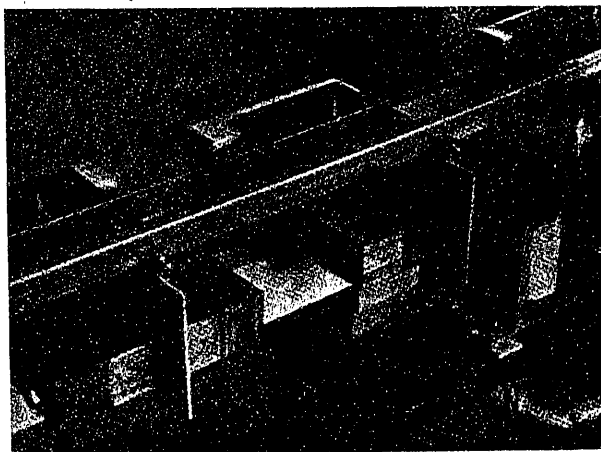


Figura 10.

<b>TRAMO:</b>		
Luz . . . . .		75 pies y 6 pulgadas.
Altura de la viga . . . . .		8 pies y 3,25 pulgadas.
Relación de la luz a la altura . . . . .		9,13 por 100.
Vía única: Peso por pie del tramo . . . . .	{ Metal . . . . .	1 245 libras.
	{ Piso . . . . .	510 libras.
		<u>1 755 libras.</u>
Módulo del tramo . . . . .		K = 840 000 libras por pulgada.
Peso total del tramo . . . . .		136 000 libras.
Momento de inercia . . . . .	{ Total . . . . .	501 080 pulgadas <sup>4</sup> .
	{ Neto . . . . .	471 700 pulgadas <sup>4</sup> .
	{ Deducido por la medición de la flecha . . . . .	449 470 pulgadas <sup>4</sup> .
Esfuerzos producidos . . . . .	{ Carga permanente . . . . .	1 720
	{ Sobrecargas . . . . .	8 070
	{ Impacto . . . . .	6 450
		<u>16 240</u> } libras por pulgada cuadrada.
TOTAL . . . . .		
Flecha estática . . . . .		0,145 pulgadas.
<b>LOCOMOTORA:</b>		
Peso total de la máquina . . . . .		353 000 libras.
Ídem id. del ténider . . . . .		303 000 libras.
		<u>656 000 libras.</u>
TOTAL . . . . .		
Martilleo total de los ejes acoplados a 5 r. p. s . . . . .		42 275 libras.
Circunferencia de la rueda acoplada . . . . .		20,7 pies.

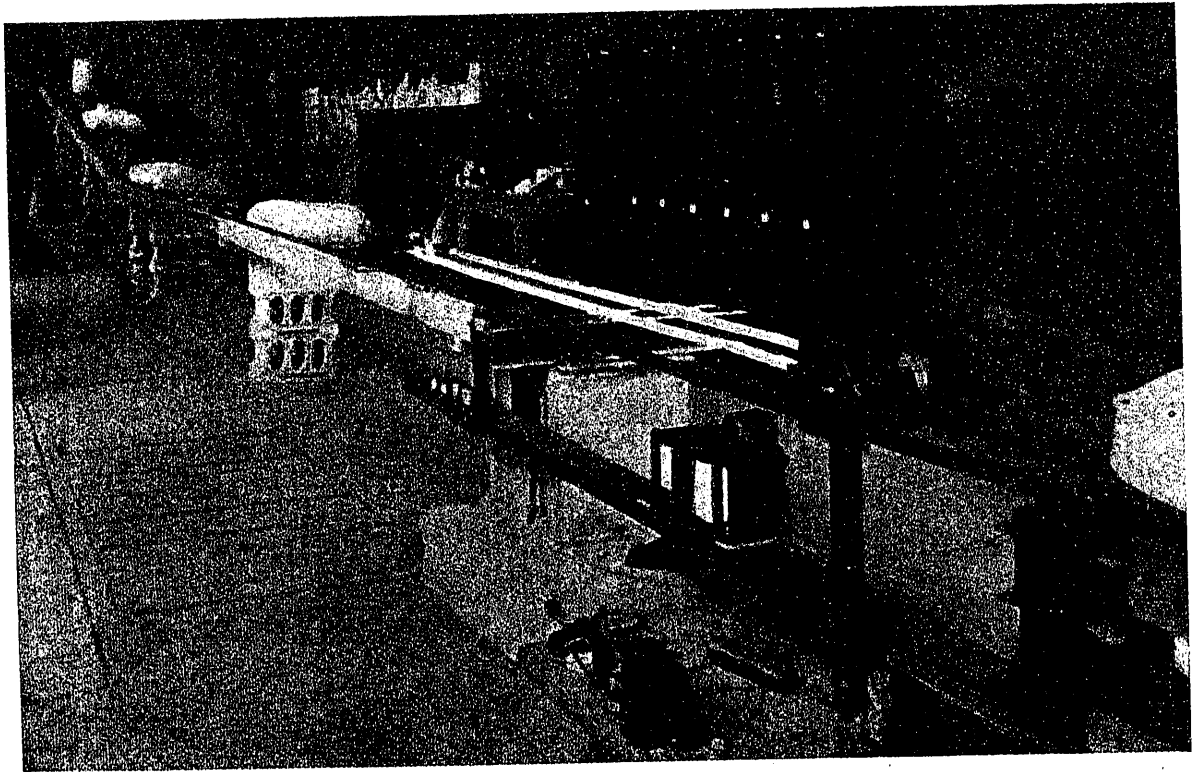


Figura 11.

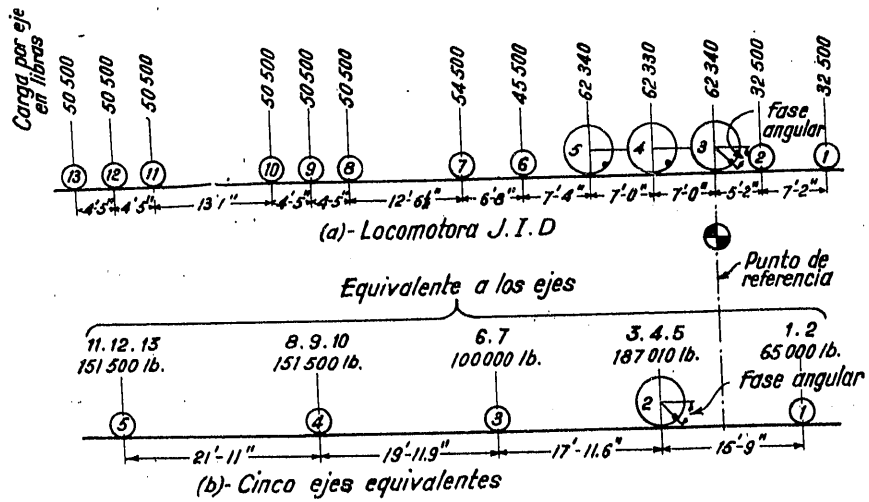


Figura 12.

El modelo de eje único (fig. 13) corresponde a las características que a continuación se señalan, tanto

por lo que se refiere a la locomotora como al tramo metálico:

LOCOMOTORA	TIPO	MODELO
Peso . . . . .	353 000 libras.	46,820 libras.
Martilleo (5 r. p. s.) . . . . .	42 275 libras.	5,522 libras.
Circunferencia de la rueda acoplada . . . . .	20,7 pies.	19,53 pulgadas.
TRAMO:		
Longitud . . . . .	75 pies 6 pulgadas.	7,1 pies 3 pulgadas.
Peso . . . . .	136 000 libras.	18,18 libras.
Módulo . . . . .	840 000 libras.	112,3 libras por pulgada.

Una locomotora equivalente a la real, con sólo cinco ejes, aparece representada y puede utilizarse en los cálculos, en la parte inferior de la figura 12.

El tramo está representado por una simple barra apoyada en sus extremos.

La locomotora modelo reducido, de una rueda o

tarse a los siguientes elementos que deben tenerse en cuenta:

- a) Luz del tramo.
- b) Peso por unidad de longitud.
- c) Frenado proporcional a la velocidad.
- d) Velocidad.
- e) Distancia y peso de los ejes.
- f) Martilleo.

Se pueden utilizar, como ya se ha indicado, dos modelos reducidos de locomotora con uno o con cinco ejes.

Se hace rodar la rueda o serie de ellas por la barra, a diversas velocidades, obteniéndose gráficos de las flechas centrales medidas.

La información obtenida versa sobre los siguientes extremos:

1. Valores de la carga estática y del martilleo.
2. Luz, peso y rigidez del tramo.
3. Velocidad de la carga, expresada en revoluciones por segundo, de la rueda o ruedas representativas de la locomotora.
4. Flechas centrales.
5. Posición de la carga en el tramo, en función del diagrama de la flecha.
6. Posición de los puntos de máximo martilleo, en función del mismo diagrama.
7. Determinación experimental del frenado obtenido por la medición de oscilaciones.

Deben tenerse en cuenta tres escalas que relacionan el tramo real y el modelo reducido, y que son las siguientes:

Longitud del tramo representativo, peso de las ruedas de la locomotora reducida y dimensión de la flecha.

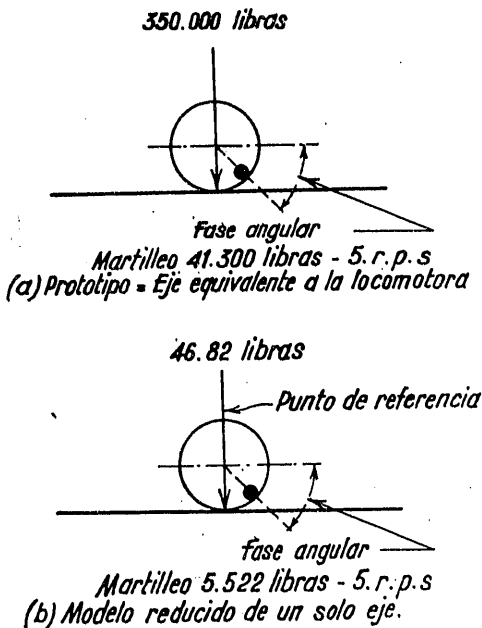


Figura 13.

serie de ellas, todas están contrapesadas adecuadamente para su perfecto equilibrio, obteniéndose el martilleo por la colocación de las piezas excéntricas.

Pueden fijarse en el aparato modelo reducido piezas adaptadas al tramo y a la locomotora, para ajust-

La relación entre las luces del tramo y del modelo determina la relación de las velocidades reales y del modelo, reduciéndose para éste, generalmente, a unos 10 pies por segundo.

La escala de las flechas corresponde, generalmente, al 10 por 100 de las reales, midiéndose con gran exactitud la del modelo, con error que no debe rebasar el 1 por 100.

En las figuras 10 y 11 se aprecian los detalles del modelo reducido que se utiliza para obtener una equivalencia en los efectos de los ensayos realizados con el eje equivalente a la locomotora, gracias a las características del modelo reducido.

La correlación entre la rueda del modelo y la longitud del tramo reducido son proporcionales a las velocidades que dicho modelo puede llevar en éste.

El tramo se representa, como ya se ha dicho, con una barra rectangular de acero de  $1 \frac{7}{16} \times \frac{5}{8}$  de pulgada, encontrándose uno de sus extremos apoyado en rodillos, y el otro, sobre una superficie pulimentada; el carril se sustituye por una barra redonda con calibre 12, sujeta a la anterior.

El flexímetro que aparece en la figura 10 tiene un estilo de metal; está unido al tramo reducido en su punto medio, apoyándose en una tira de papel que se mueve por un aparato de relojería.

La rueda reducida lleva unos discos que se asimilan a los contrapesos, adecuadamente colocados, existiendo dos contactos eléctricos para determinar los momentos en que el martilleo se produce en el modelo reducido de la locomotora, siendo máximo o mínimo, y en posiciones opuestas a los contrapesos, cerrándose los circuitos cuando aquéllas están a la misma altura en relación con el eje.

En la figura 14 aparece la representación de un trozo de la hoja de papel en que se recogen los resultados de un ensayo; la línea superior indica la posición del modelo con relación al extremo del tramo en el instante en que la fase angular del contrapeso es nula.

La segunda línea señala las flechas centrales, tomadas directamente, sin ampliación ni reducción.

La tercera corresponde a la escala de tiempo y está dibujada por una caña que vibra a 120 ciclos por segundo, movida por un solenoide excitado por corriente alterna.

La última línea es la que sirve de referencia, es decir, que la distancia vertical entre un punto de ella y el situado en la segunda línea indica la flecha en el tramo, sin incluir la correspondiente a la carga permanente.

El frenado del modelo se produce eléctricamente; existen cuatro placas de aluminio unidas a aquél, colocadas a la distancia de 1/5 de la longitud total de éste, que se mueve verticalmente por un fuerte campo magnético producido al flectar el tramo.

La tracción del modelo del único eje se produce por otro campo con energía proporcional a la velocidad a la que se desea circule aquél, comprobándose el movimiento vertical del modelo del tramo por un resorte que frena directamente con la velocidad.

### Modelo con cinco ejes.

El procedimiento general para la obtención de los datos con este tipo de modelo reducido es el mismo empleado con el anterior modelo de un solo eje.

La separación de los ejes y sus cargas se indican en la figura 15, correspondiendo uno de éstos a los tres ejes acoplados de la locomotora, y otros, a los grupos de ejes anteriores y posteriores de los carretones de aquélla, siendo el valor del martilleo el de 5,522 libras a 5 r. p. s.

### Resultado de los ensayos con el eje único.

Examinando la figura 16 se aprecian, en la parte superior, las dos curvas representativas: una, por medio del cálculo de las flechas centrales debidas a la carga permanente, y la otra, a las medidas también centrales con martilleo, velocidad a 5 r. p. s. y sobrecarga; las dos curvas inferiores dibujadas señalan las flechas centrales, calculadas y medidas por el paso dinámico de las sobrecargas, apreciándose la escasa

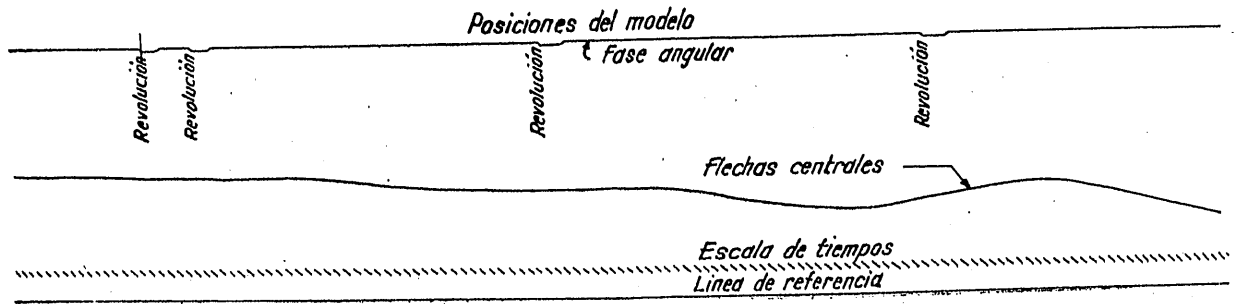
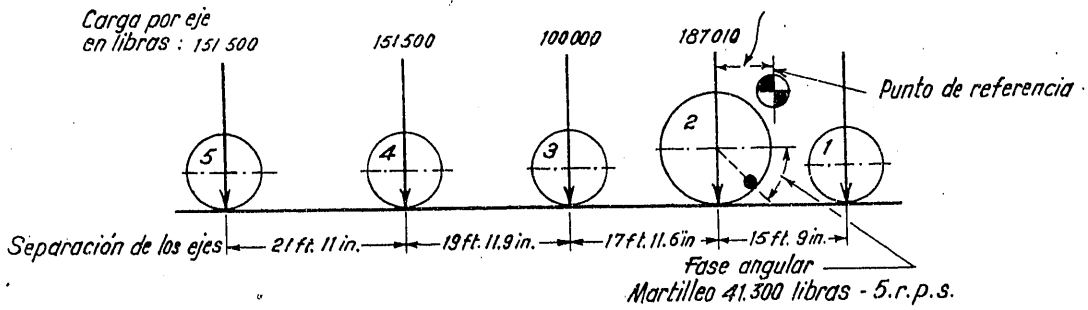
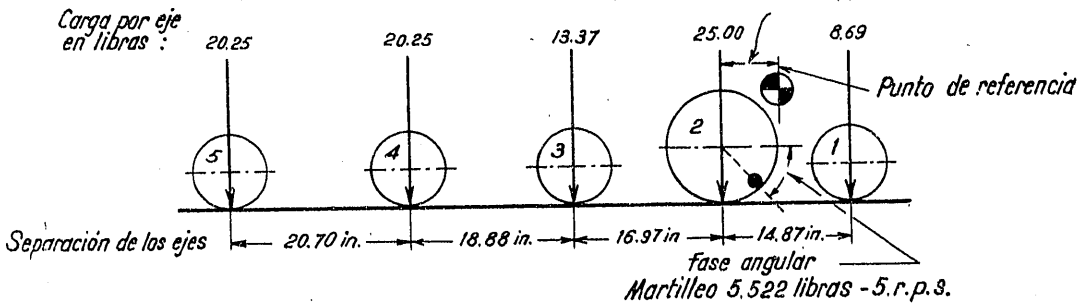


Figura 14.



(a)- Cinco ejes equivalentes a la locomotora



(b) Modelo reducido de cinco ejes

Figura 15.

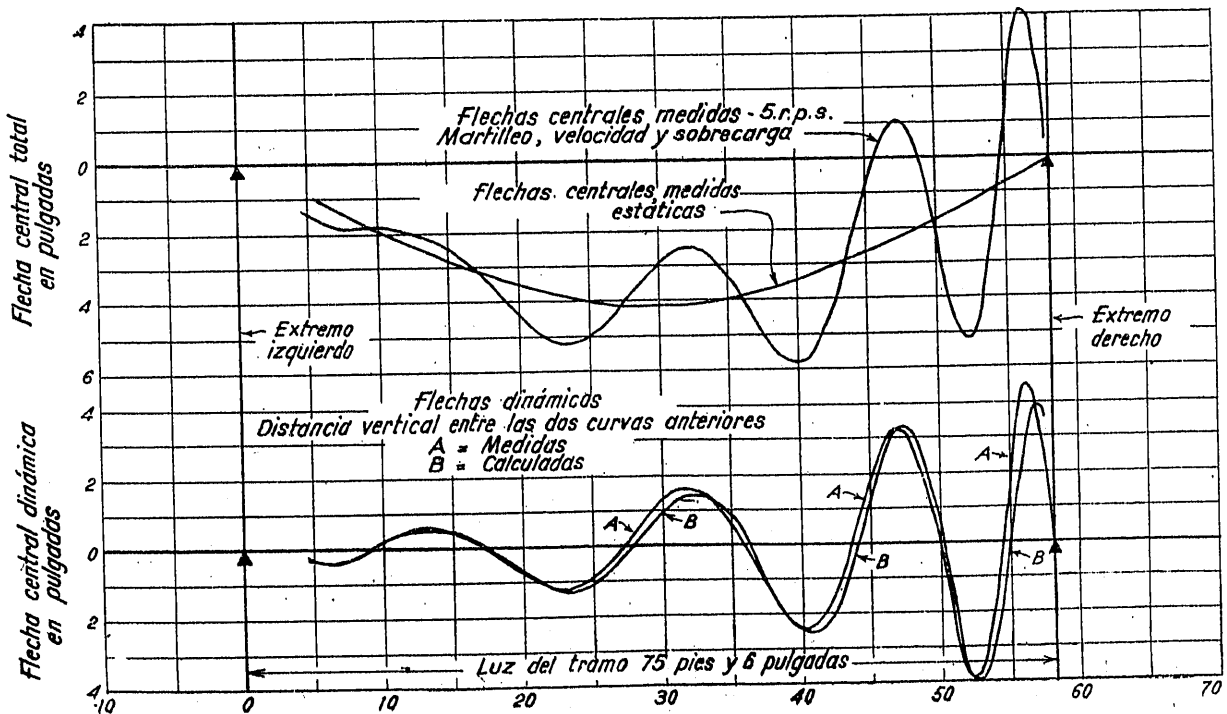


Figura 16.

diferencia que entre ambas existe en las ordenadas verticales de ambas curvas.

Una interesante conclusión puede apreciarse, y es

de la figura 17, designándose dichas fases angulares por 0°, 90°, 180° y 270°, apareciendo la relación entre la fase angular del contrapeso en la misma y en la

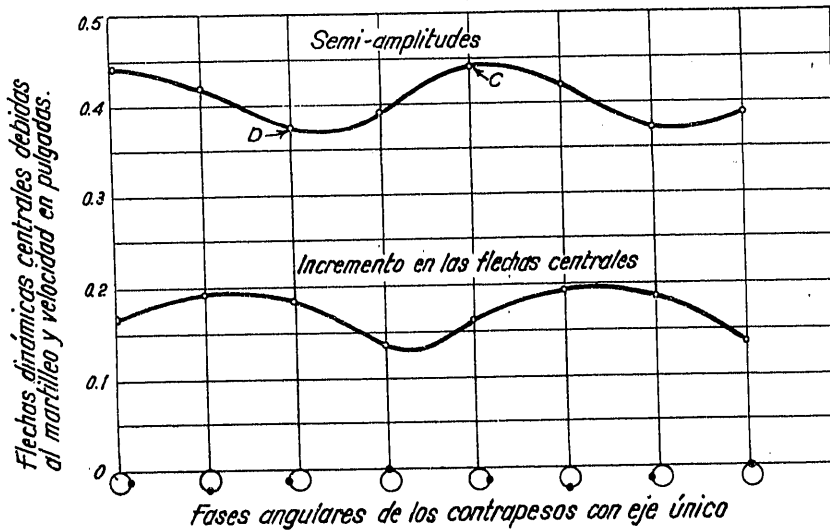


Figura 17.

que la amplitud de la oscilación aumenta al circular el único eje por el tramo, siendo la semiamplitud la máxima cuando la flecha estática es casi nula.

curva superior, en el instante en que el eje llega al extremo izquierdo del tramo con la máxima semiamplitud en el centro.

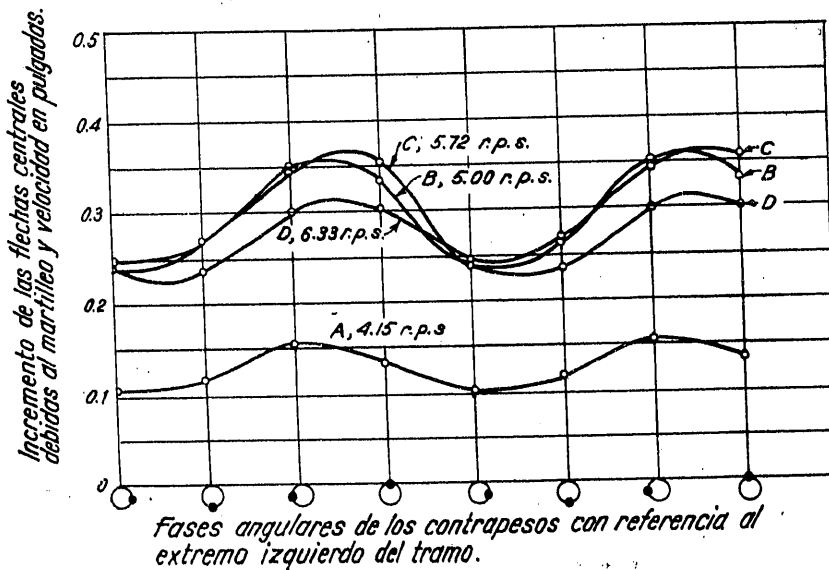


Figura 18.

La fase angular de los contrapesos se considera en cuatro posiciones, separadas 90°, comenzando cuando el eje llega al extremo izquierdo del tramo, dibujándose las posiciones de aquéllos en el diagrama inferior

Puede escribirse:

$$\text{Máxima flecha (carga dinámica + impacto)} - \text{máxima flecha (sobrecarga estática)} = \text{impacto.}$$

En la figura 16 se aprecia que la flecha máxima en el centro, debida al movimiento de la sobrecarga, y la máxima flecha central, producida por sobrecargas estáticas, no concuerdan en la misma posición del eje único en relación con el extremo izquierdo del tramo.

El punto C de la curva superior corresponde a la llegada del eje único al citado extremo del tramo con el contrapeso en fase angular nula, y el punto D, por el contrario, cuando el mismo eje y en igual extremo llega como contrapeso en fase angular de 180°.

- c) Ensayos con las mismas velocidades anteriores, con martilleo y con o sin frenado.
- d) Ensayos para determinar la fuerza del frenado.

En la figura 18 aparecen las posiciones de los contrapesos en sus cuatro situaciones principales y las cuatro curvas corresponden a los incrementos de las flechas centrales, según las velocidades correspondientes, con martilleo y sin frenado, representándose por las abscisas las fases angulares en el instante en que

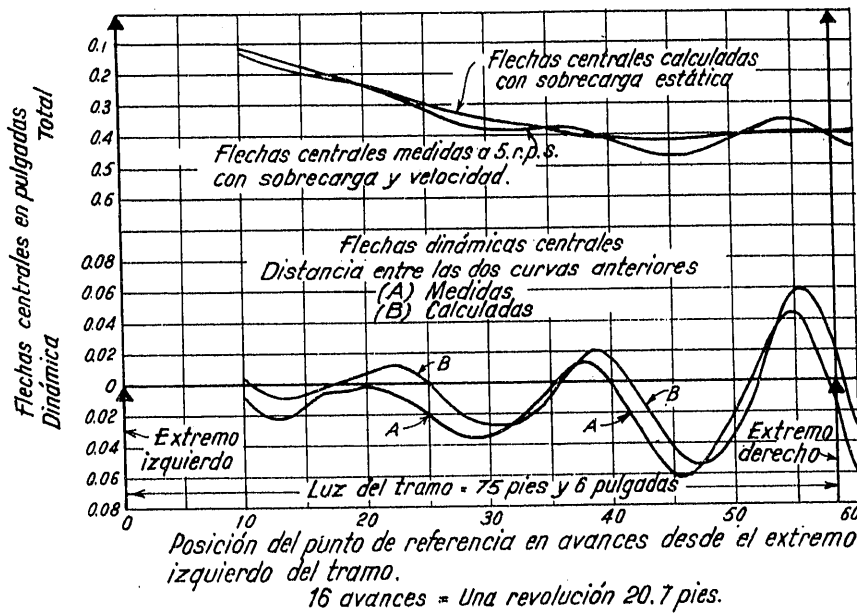


Figura 19.

Es interesante observar que cuando se trata del modelo reducido de un solo eje, las flechas centrales dependen muy principalmente de las fases angulares de los contrapesos.

**Resultados obtenidos con el modelo de cinco ejes.**

Estos resultados concuerdan, prácticamente, con los obtenidos en los ensayos reales.

Se hicieron los siguientes ensayos:

- a) Determinación del efecto de la fase angular de los contrapesos en relación con los valores de las flechas centrales. Estos ensayos se realizaron con objeto de fijar la posición de los contrapesos que produzcan los máximos efectos, dato preciso para los siguientes ensayos.
- b) Ensayos con velocidades de 4,75, 5,00, 5,72 y 6,33 r. p. s., sin martilleo ni frenado del tramo.

el punto de referencia coincide con el extremo izquierdo del tramo.

Aparecen en estas curvas anomalías extrañas con incrementos mayores para velocidades menores, pero ello es debido a la no concordancia, en ocasiones, de los efectos de las velocidades y las posiciones de los contrapesos, así como también de que no están necesariamente en fase las oscilaciones debidas a la velocidad y las correspondientes al martilleo.

En la figura 19, similar a la 16, ésta correspondiente a los ensayos con el modelo de un solo eje, y en aquella, representadas las curvas correspondientes al ensayo con el modelo de los cinco ejes, aparecen en las inferiores los datos relativos a las mediciones y cálculos de las flechas centrales, comprobándose las escasas diferencias entre ambas para la misma posición de los puntos de referencia, lo que confirma que todos los cálculos, así como las experiencias, se encuentran dentro de zonas muy próximas.

**Comentarios sobre los resultados de la investigación.**

Después de exponer de un modo somero los procedimientos empleados para la determinación de las principales características de las flechas que en los tramos metálicos producen las sobrecargas móviles, pasaré a dar cuenta, también de un modo rápido, pues de otra forma sería interminable este artículo, de los resultados obtenidos y consecuencias que de ellos pueden deducirse.

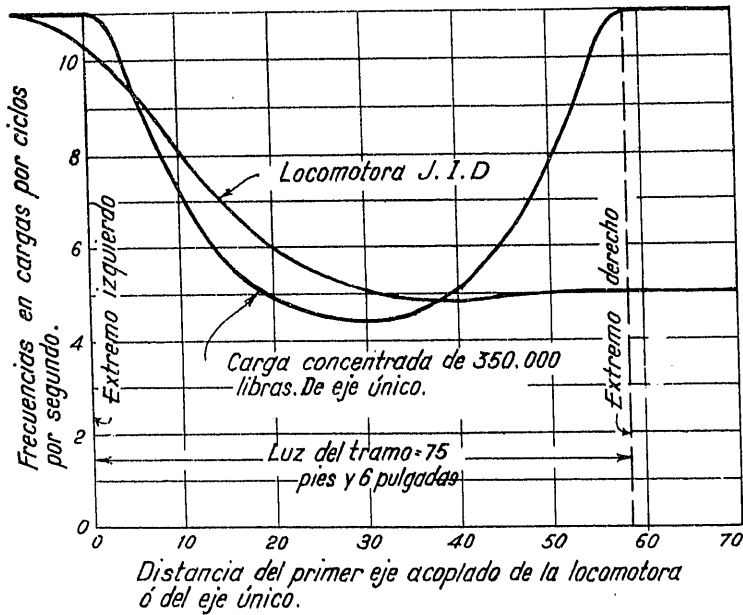


Figura 20.

Como se ha visto y ahora se recuerda, aun repitiendo conceptos ya expresados, el principal material manejado para ello ha sido el siguiente:

1.º El empleo de las sinusoides como curvas representativas suficientemente exactas, en las que sus ordenadas corresponden a las flechas medidas en el centro de los tramos, según la posición de las sobrecargas.

2.º Empleo, para los cálculos y resultados obtenidos directamente en los laboratorios, de sobrecargas equivalentes a las locomotoras reales, bien por un grupo de cinco sobrecargas adecuadamente separadas o de una sola sobrecarga de valor determinado.

3.º Cálculo de las oscilaciones centrales de los tramos, producidas por el martilleo ocasionado por el paso de las locomotoras, las que pueden ser determinadas por la teoría de las oscilaciones forzadas de un resorte con velocidad frenada, de acuerdo con el in-

forme de A. R. E. A., de 1936, y del Comité Bridges, 1938, con el propósito de llegar a establecer los coeficientes del impacto.

Deben tenerse en cuenta los siguientes factores, que diferencian el cálculo de la realidad:

a) Existe diferencia esencial en la forma de aplicar el martilleo, pues en las locomotoras lo es en un número limitado de veces, en tanto que en aquellas teorías se supone es un número infinito.

b) La frecuencia del tramo cambia con el peso de la locomotora, variando continuamente durante el paso de aquella, en tanto que en la teoría se le da un valor constante.

c) Difiere el modo de aplicar el martilleo, pues en la realidad se extienden en toda la longitud del tramo al paso de la locomotora, mientras que en la teoría del resorte no se aplica con toda continuidad y sólo en el centro del tramo.

4.º Efecto de la velocidad en la rodadura de las sobrecargas en las flechas de los tramos.

5.º Efecto de la fase angular de los contrapesos en el martilleo, a la entrada de la locomotora en el tramo.

A continuación se examinan con algún detalle, y como ampliación de cuanto queda expuesto, cada uno de estos diversos apartados.

1.º *Uso de la sinusoide como curva representativa de las flechas calculadas de los tramos.*

Se han hecho numerosas experiencias para comprobar la verosimilitud de esta hipótesis.

La comparación de la flecha producida por el paso de un solo eje aparece en la figura 16, pudiéndose apreciar la escasa diferencia que existe entre tal curva y una sinusoide; aparecen las curvas deducidas por el cálculo y por experiencias realizadas con sobrecargas dinámicas, figurando en su parte superior las líneas representativas de las flechas producidas por sobrecargas estáticas y dinámicas con martilleo, y en la parte inferior, la separación de estas últimas.

En la figura 19 se hace análoga comparación con el modelo equivalente de cinco ejes, con martilleo o sin él, también con diferencias muy pequeñas.

Puede apreciarse que las flechas debidas al efecto de la velocidad son solamente mayores en un 20 por 100, aproximadamente, que las correspondientes al martilleo.

La amplitud de las oscilaciones se aprecia muy bien cuando se mide el efecto centrífugo vertical, siendo mayor que éste.



2.º Representación de las locomotoras por modelos reducidos reales de uno y cinco ejes.

Se han hecho amplios estudios con objeto de comprobar si esa equivalencia era posible sin grandes errores, con la base de que el concepto de "simple eje" equivalente a la locomotora indicaba que el peso del mismo con el martillo correspondiente produjese la misma oscilación y flecha central que aquélla.

Considerando una sola locomotora sin remolcar ninguna unidad, es posible que un solo eje sea equivalente en grandes luces cuando la longitud de aquélla es reducida en comparación con la del tramo, lo que puede comprobarse representando para diversas luces y con avances sucesivos en un término, función de los datos característicos de la locomotora.

Este término tiene la siguiente forma:

$$A = \sum \frac{P}{K} \cdot \frac{l}{g} \text{sen}^2 \frac{\pi_1 \cdot x_p}{L} \quad [9]$$

Siendo  $P$ , como ya se ha indicado, el peso de un eje;  $g$ , la aceleración de la gravedad;  $x_p$ , la distancia de un eje al extremo izquierdo del tramo, y  $L$ , su luz teórica.

La curva representativa en la expresión anterior

es una sinusoide cuadrática cuando se trata de una sola sobrecarga, lo que ocurre en el modelo correspondiente.

En la figura 20 se aprecia muy interesante comparación de las diferencias que existen entre las curvas de frecuencia del tramo cargado con locomotora real y el eje equivalente de 350 000 libras para la luz del tramo que ha servido para todas estas experiencias.

Es evidente que tales diferencias disminuyen al aumentar la luz en el ensayo que se realiza, no sólo por reducirse la relación de los pesos de la locomotora y del tramo, sino también por disminuir lógicamente la relación de las longitudes de ambos.

Las flechas centrales en el tramo con una u otra sobrecarga son iguales, y las frecuencias, de 5,0 y 4,4 ciclos, respectivamente.

Las flechas obtenidas por cálculo con sobrecargas, actuando dinámicamente con la adición del martilleo producido por los contrapesos, se representan en el diagrama de la figura 21; la máxima flecha central corresponde a la posición que se señala para el modelo de un solo eje y es algo mayor que la producida por la locomotora real y el modelo de los cinco ejes, cuyas flechas resultan muy aproximadas.

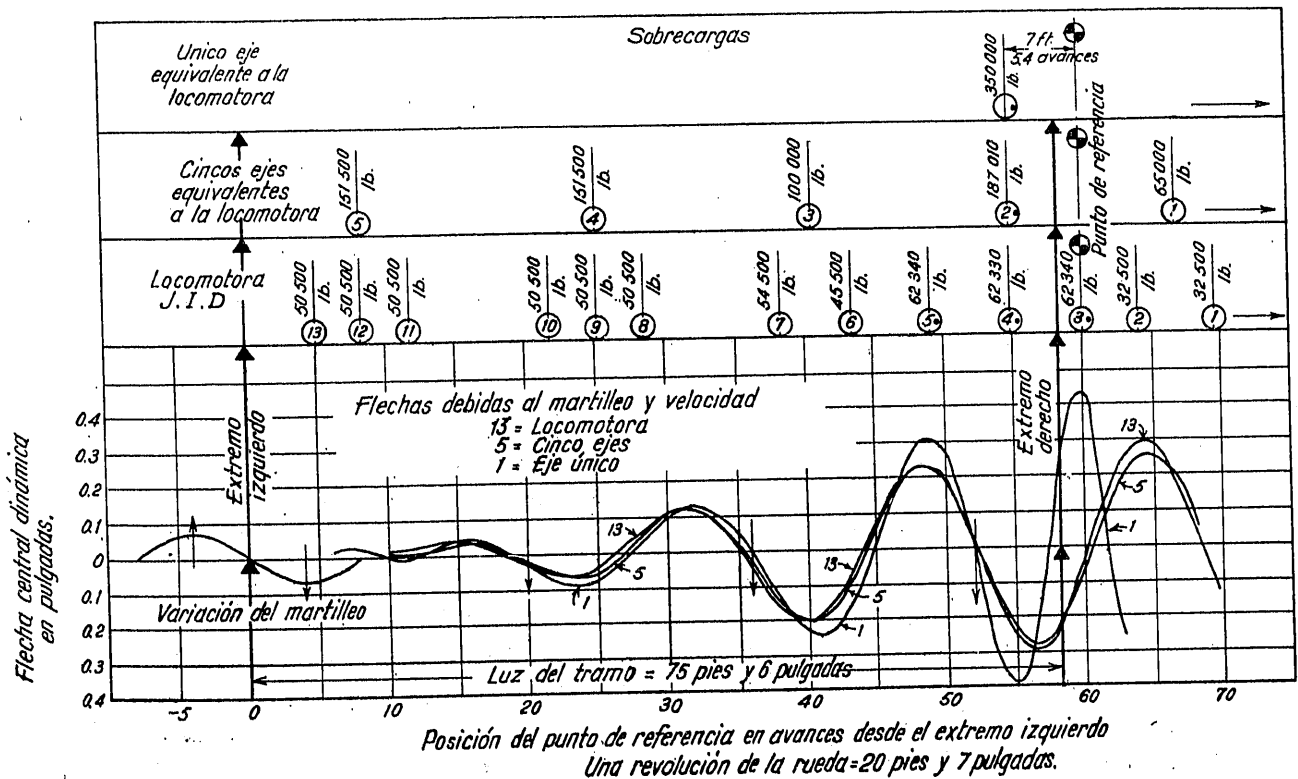


Figura 21.

3.º Determinación de las oscilaciones centrales del tramo por la teoría de la vibración forzada del resorte con velocidad frenada.

Se ha informado diciendo que el problema del movimiento de una sobrecarga aislada sobre un tramo puede simplificarse, suponiendo parado el eje en el centro de éste y aplicándole el efecto del martilleo.

La flecha inicial es cero para velocidades nulas, incrementándose la fuerza excitatriz en el resorte, siendo el frenado proporcional a la velocidad.

En la figura 22 se representan las diversas curvas correspondientes a los distintos coeficientes de frenado en función del número de ciclos del resorte empleado en la experiencia y cálculos, y el número y amplitud de las oscilaciones, señalándose en líneas

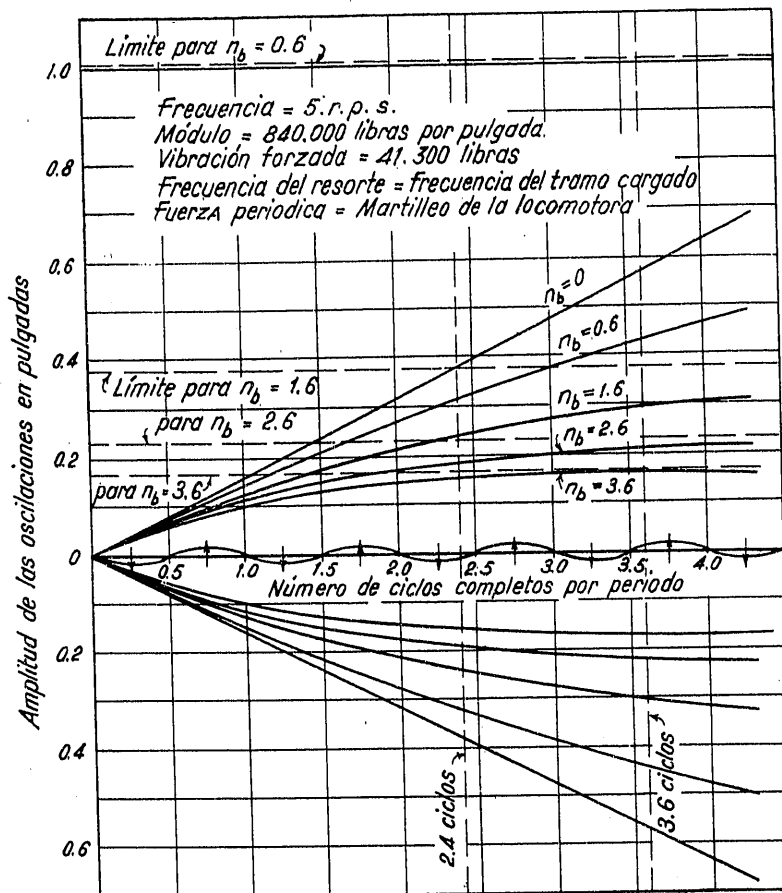


Figura 22.

La base matemática del desarrollo del cálculo de este problema radica en la teoría de la vibración forzada de un resorte con velocidad frenada.

Tal afirmación no es completamente exacta, sobre todo en los pequeños tramos.

a) El efecto del martilleo en el paso de los ejes se limita a un número reducido de actuaciones, en tanto que en la teoría actúa un número infinito de veces.

Por ejemplo, para una rueda de perímetro de 20 pies se producen tres o cuatro aplicaciones del martilleo en tramos de 60 a 100 pies de luz.

horizontales los valores límites de estas últimas, para un número infinito de ciclos, todo ello para cada coeficiente de frenado, siendo estas líneas horizontales asintóticas con las curvas trazadas para cada grado, siendo el módulo de los resortes el mismo que el del tramo empleado, y la fuerza excitatriz, el martilleo de la locomotora.

Siendo, en el caso examinado en estas experiencias y cálculos, 75,5 y 20,7 pies las longitudes del tramo y la circunferencia de las ruedas acopladas, el límite de aplicación del martilleo será de 3,6 rotaciones, relación entre aquellas dos dimensiones.

Es evidente que un enérgico frenado y las 3,6 rotaciones bastan para alterar la máxima amplitud de las oscilaciones.

Con un frenado poco enérgico y con el valor deducido por la teoría de resorte, no se llega a que las oscilaciones tengan como amplitud el valor límite señalado.

Hacen falta se reúnan determinadas circunstancias para que se logre un sincronismo perfecto entre la frecuencia del sistema oscilatorio y la fuerza excitatriz; de no reunirse estas circunstancias, que pueden considerarse como ideales, se reduciría la amplitud de las oscilaciones producidas por un número finito de aplicación de aquella fuerza.

b) La frecuencia natural del tramo cambia al paso de la locomotora, variando constantemente durante aquél, permaneciendo constante en la teoría de resorte.

Las diferencias entre las frecuencias del tramo cargado al paso de la locomotora objeto de la experiencia y el modelo de un solo eje, aparecen en la figura 20.

La frecuencia natural del sistema es la de 5 r. p. s.; y la magnitud de la fuerza excitatriz es igual al martilleo producido por la locomotora empleada. pudiéndose representar el efecto que en las oscilaciones produce por la relación que existe entre la frecuencia natural del sistema y la de la fuerza excitatriz.

Únicamente pueden considerarse oscilaciones inquietantes en una pequeña región limitada, donde casi existe el sincronismo, encontrándose fuera de fase la fuerza excitatriz y la oscilación del sistema; en el resto, ambas se encuentran en fase.

c) Cuando la locomotora recorre el tramo, el martilleo se aplica en muy diversos puntos de éste; puede hacerse una estimación de la oscilación producida por el martilleo de la locomotora recorriendo el tramo, sumando la frecuencia de éste de 5 r. p. s., y la del martilleo que coinciden con aquélla, pudiendo deducirse la oscilación debida a ésta en el centro con análoga frecuencia.

A la vista de las consideraciones que se han hecho en los dos apartados anteriores, se deducen las siguientes consecuencias:

<i>Teoría del resorte:</i>	Flechas, no frenadas en pulgadas
a) Número infinito de revoluciones del martilleo con 5 r. p. s. ....	} Infinita.
b) Frecuencia constante del resorte con 5 r. p. s. ....	
c) Completa efectividad del martilleo.	

*Teoría del resorte:*

	Flechas, no frenadas en pulgadas
a) 3,6 revoluciones del martilleo en 5 r. p. s. ....	} 0,57
b) Frecuencia constante del resorte con 5 r. p. s. ....	
c) Completa efectividad del martilleo.	

*Simple eje equivalente cruzando el tramo:*

a) 3,6 revoluciones del martilleo en 5 r. p. s. ....	} 0,41
b) Frecuencia variable del tramo.....	
c) Efectividad reducida del martilleo.	

*Locomotora J. I. D. pasando el tramo:*

a) 3,6 revoluciones del martilleo con 5 r. p. s. ....	} 0,40
b) Frecuencia variable del tramo.....	
c) Efectividad reducida del martilleo, según posición en el tramo.....	

*4.º Efectos de la velocidad en la rodadura de las sobrecargas.*

Los efectos producidos por la velocidad pueden observarse desde varios puntos de vista.

a) El efecto centrífugo de las ruedas al circular por el tramo deformado verticalmente, aumenta la propia flecha.

b) La aplicación súbita de las sobrecargas al circular a velocidad, producen una serie de impulsiones y oscilaciones.

c) Cuando el piso del tramo, como es corriente, está formado por largueros y viguetas, y como consecuencia del paso de las sobrecargas experimentan estas piezas también un movimiento vertical al paso de éstas, aquellas oscilaciones dependen no sólo de la constitución del piso y la separación de sus diversos elementos, sino también de la importancia y separación de las sobrecargas.

Con más detalle se analiza este efecto a continuación, recordando conceptos en buena parte ya expuestos.

En la figura 11 pueden apreciarse las curvas representativas de los valores de las flechas centrales, mediante cálculo por la acción de la locomotora utilizada en las experiencias con el efecto del martilleo, tanto estática como dinámicamente.

En la figura 23 se dibuja análoga curva para el caso de que, en vez de la locomotora real, circule el grupo de cinco ejes de actuación equivalente, pero sin martilleo.

Las curvas presentan análoga disposición y posición relativa que en el caso anterior.

Es también muy interesante recordar la figura 19 y examinar la figura 24, en las que, para las hipótesis del paso de uno o cinco ejes equivalentes a la locomotora que se ha ensayado, se dibujan las curvas respectivas de las flechas centrales calculadas o medidas en el banco de prueba, todo ello según la posición de aquel único eje o del primer grupo de los cinco.

Se aprecia en esta última existen varias posiciones en las que las flechas calculadas y medidas coinciden estática y dinámicamente, siendo la máxima diferencia cuando ocupan aquéllas las posiciones determinadas por la distancia de 26 pies, valorándose entonces esta diferencia en 0,0035 de pulgada.

En la figura 19 se pueden hacer análogos comentarios, pues la coincidencia de los valores de las flechas centrales calculadas y medidas, consideradas estática o dinámicamente, aparecen en varias posiciones, observándose la máxima discrepancia a los 45 pies por una diferencia de 0,02 pulgadas.

Muy interesante aspecto de estos estudios corresponde a los efectos que producen los modelos equivalentes a las locomotoras, según sea el de uno o

cinco ejes. El primero, como es lógico, ha de ser de un peso superior a los de los que componen el segundo.

Se estudian a igual velocidad y con súbito choque en el tramo, produciéndose muy fuerte oscilación y flecha, aun cuando se encuentre próxima al extremo izquierdo por donde entra en el tramo. La flecha alcanzada es menor que la estática en la misma situación, debido a que la aceleración producida es absorbida por la inercia del tramo.

Las fuerzas actuantes en la rueda y en el tramo no están compensadas, adquiriendo ambos energía dinámica y produciéndose, por lo tanto, oscilaciones.

Cuando se examinan los resultados obtenidos en el modelo de cinco ejes de menor peso individual, se producen oscilaciones acumuladas y compuestas debidas a la serie de impulsos.

Las oscilaciones están afectadas por el frenado del tramo, dada su fuerte frecuencia, debido a la velocidad.

### 5.º Efectos de la fase angular de los contrapesos.

Conviene considerar este efecto y el martilleo en las oscilaciones registradas.

Recuérdense las figuras 17 y 18, en las que se representan, para los modelos de uno y cinco ejes, respectivamente, los efectos sobre las flechas centrales de la fase angular de aquéllos al circular.

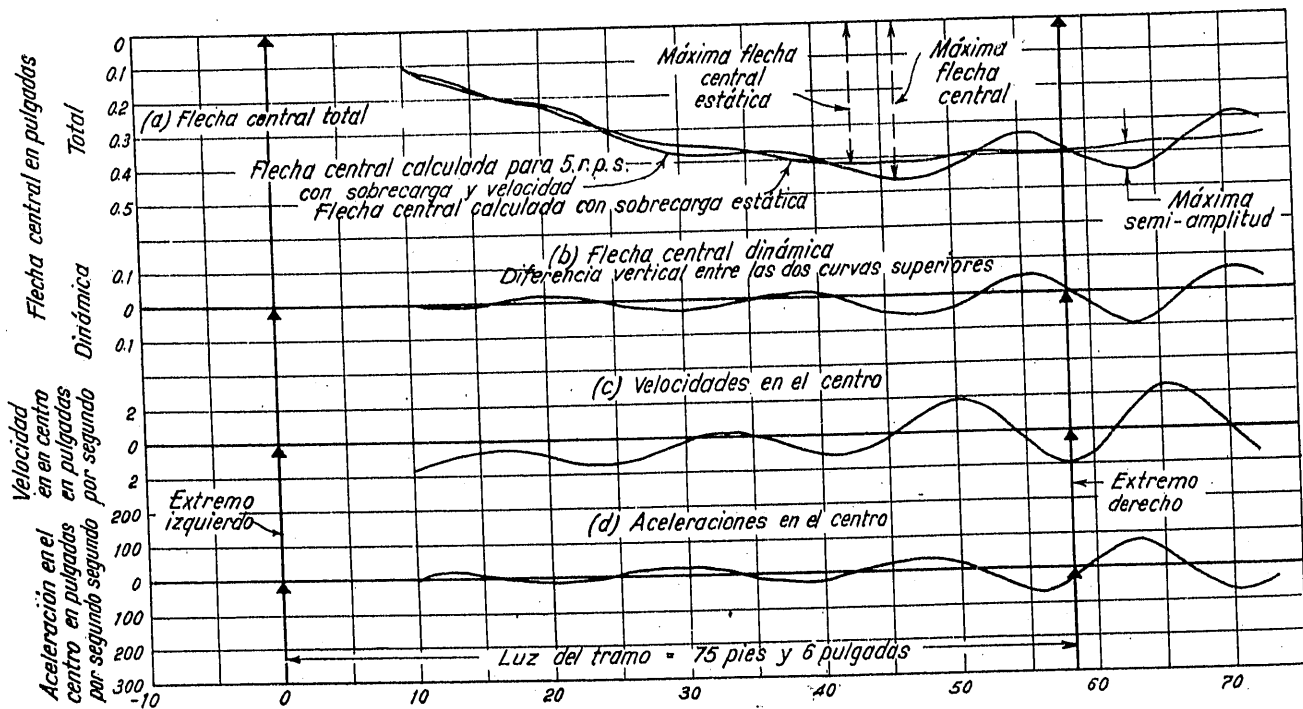


Figura 23.

En el siguiente cuadro se detallan los valores alcanzados en las diversas fases:

Velocidad r. p. s.	Fase angular	FLECHA CENTRAL MÁXIMA			
		Parte del tramo recorrido por el eje	Flecha (1) pulgadas	Flecha (2) pulgadas	Flecha (2)
					0,419 % (3)
5,00	0°	0,68	0,582	0,163	38,9
5,00	90°	0,58	0,610	0,191	45,6
5,00	180°	0,50	0,602	0,183	43,7
5,00	270°	0,44	0,555	0,136	32,5

Los datos que aparecen en la columna (1) corresponden a las flechas centrales máximas originadas por las sobrecargas dinámicas, martilleo y velocidad, así como las que se insertan en la columna (2) son las anteriores con disminución de la flecha máxima central, debida a la sobrecarga estática, o sea, en realidad, el incremento cuyo porcentaje aparece en la columna (3).

Velocidad r. p. s.	Fase angular	FLECHA CENTRAL MÁXIMA			
		Parte del tramo recorrido por el eje	Flecha (1) pulgadas	Flecha (2) pulgadas	Flecha (2) 0,419 % (3)
4,15	0°	0,88	0,521	0,102	24,4
	90°	0,82	0,544	0,126	27,4
	180°	0,77	0,575	0,156	37,2
	270°	0,72	0,552	0,133	37,8
5,00	0°	0,96	0,658	0,239	57,0
	90°	0,87	0,681	0,261	62,3
	180°	1,08	0,768	0,349	83,0
	270°	1,03	0,752	0,333	79,5
4,72	0°	1,02	0,664	0,245	58,5
	90°	0,92	0,687	0,268	64,0
	180°	0,86	0,760	0,341	81,5
	270°	1,09	0,775	0,358	85,0
6,33	0°	0,74	0,666	0,247	59,0
	90°	0,96	0,650	0,231	55,1
	180°	0,90	0,716	0,287	70,9
	270°	0,82	0,721	0,302	72,1

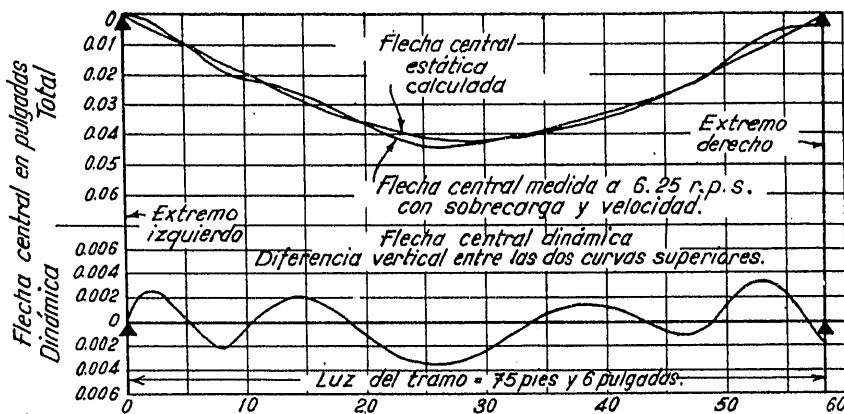


Figura 24.

En la figura 18 se representan los resultados obtenidos con el modelo de los cinco ejes equivalente a la locomotora, estudiado circulando por el tramo a diversas velocidades, representando, igualmente que en la figura 17, en ordenadas, los incrementos de las flechas centrales producidos por las sobrecargas dinámicas y los efectos de martilleo y velocidad.

En el cuadro siguiente se insertan los resultados máximos, representados con análogo criterio que en el cuadro anterior.

**Conclusiones.**

Debe tenerse en cuenta que todo cuanto está expuesto, al referirnos a los ensayos realizados con una sola locomotora o modelos reducidos a ella equivalentes y sólo con un tramo, a pesar de la escrupulosidad de aquéllos, no pueden tomarse las conclusiones obtenidas con carácter de absoluta generalidad, por lo cual sería de verdadera importancia se generalizara mediante la realización en España de ensayos pa-

recidos para deducir conclusiones más adecuadas a las condiciones de nuestras locomotoras y tramos metálicos.

El Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias se encuentra en condiciones adecuadas realmente excepcionales para emprender tan ardua tarea, al contar con valiosos elementos en su organización y la cooperación entusiasta de la RENFE, la misma interesada directamente en aprovechar las útiles enseñanzas derivadas de los trabajos de aquél.

Así es que brindo como sugerión al expresado Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias esta difícil, larga y delicada tarea, de deducir valoraciones las más aproximadas posibles a la realidad, en ensayos que podrían realizarse en las líneas españolas, con los elementos que en aquéllas se encuentran, para definir coeficientes seguramente más aproximados a nuestra realidad que los que en Inglaterra y en Estados Unidos han deducido en las experiencias en estas naciones realizadas, muy apropiados en ellas.

Una vez sentada esta afirmación de carácter general, se pasa a exponer las conclusiones más importantes deducidas de los estudios y ensayos realizados:

1.<sup>a</sup> En el estudio de las oscilaciones del tramo, debidas al martilleo, cada locomotora puede ser representada por un solo eje para luces mayores de 200 pies.

Para luces menores conviene el empleo de un modelo reducido de cinco ejes, equivalente a la locomotora, o mediante el cálculo con ejes con cargas y con separaciones semejantes a las de la locomotora.

2.<sup>a</sup> Los factores que a continuación se indican tienen mucha importancia en el estudio de las oscilaciones debidas al martilleo para luces pequeñas y medianas:

a) Variación en la frecuencia de las sobrecargas.

b) Limitación por la longitud de las vigas principales del tramo, del número de aplicaciones del martilleo:

c) Conveniencia de la distribución de los efectos del martilleo en toda la longitud del tramo.

3.<sup>a</sup> Los factores obtenidos indirectamente en el frenado del tramo, lo que puede producir una limitación en la flecha alcanzada, por la utilización de la teoría del resorte, están afectados por las características de la locomotora empleada, cuyo frenado se considera como una pérdida de energía motivada por rozamientos exteriores e interiores.

Los factores que influyen en este frenado son los siguientes:

1. Rozamiento en los pasadores del tramo (\*).
2. Rozamiento entre el mismo material que forma el tramo.
3. Interferencia de las vibraciones de los elementos individuales que constituyen el tramo.
4. Rozamiento en el balasto (\*\*).
5. Interferencia producida por los elementos rugosos de la vía.
6. Patinado de las ruedas de la locomotora.
7. Variación en la frecuencia del tramo, debida al paso de la locomotora.
8. Influencia de la longitud del tramo en el número de aplicaciones del martilleo.
9. Distribución del martilleo en toda la longitud del tramo.
10. Rozamiento en los muelles de la locomotora.
11. Frenado de la misma locomotora.
12. El hecho de que la locomotora no es una serie independiente de sobrecargas, sino un conjunto único, compuesto por la marquesina, caldera, hogar y mecanismos, representado todo ello por las diferentes ruedas.

4.<sup>a</sup> El factor centrífugo vertical es relativamente pequeño y se valora en un 5 por 100 del total efecto dinámico.

5.<sup>a</sup> Como consecuencia de la aplicación súbita de las sobrecargas, pueden producirse impulsos sincronizados, debidos a la relación entre la separación de los ejes, la velocidad de la locomotora y la frecuencia del tramo cargado, por todo lo cual pueden producirse considerables amplificues y oscilaciones.

6.<sup>a</sup> La fase del martilleo debe tenerse en cuenta para conocer el máximo efecto dinámico debido a aquél.

7.<sup>a</sup> Para luces pequeñas y medianas se pueden resistir fuertes oscilaciones con velocidades superiores a 15 millas por hora (\*\*).

8.<sup>a</sup> Conviene realizar ensayos para determinar el efecto dinámico producido por las juntas de los carriles, problema que (según indican) no se le ha dado la debida importancia, deduciéndose consecuencias cuantitativas entre las flechas y velocidades, introduciendo una junta en el tramo.

(\*) No debe olvidarse se trata, en las experiencias realizadas, de un tramo articulado tipo americano.

(\*\*) Se trata de un tramo con vía sobre balasto.

(\*\*\*) 24.135 kilómetros por hora.