Precios de subscripción

España: año . . . . . 10 pesetas
Extranjero: año. . . . 15 „
Número suelto . . . . 1 „

TÉCNICA

REVISTA TECNOLÓGICO-INDUSTRIAL

Redacción: Pelayo, 9
Teléfono 541 A.
Administración: Lauria, 26
Teléfono 514 S. P.
BARCELONA

AÑO XLIII — FEBRERO 1920 — NÚM. 26

ORGANIZACIÓN CIENTÍFICA DEL TRABAJO

LOS MODERNOS MÉTODOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LOS SALARIOS

(CONCLUSIÓN)

III.- COMPARACIÓN Y CRÍTICA DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE SALARIOS

19.—*Preliminares.*—Ahora convendrá que nos demos cuenta de la influencia que tienen los distintos sistemas aplicados a una mano de obra bien estudiada, tanto sobre el rendimiento como sobre el precio de coste de la unidad de trabajo considerada en lo que respecta a la mano de obra.

Deben distinguirse varios casos:

1.° El obrero es dueño de variar su producción entre límites extremos. Tal es el caso de todo trabajo manual en que la pericia y voluntad del trabajador influyen sobre el resultado; también se encuentran en este caso muchos trabajadores mecánicos, como los afectos a máquinas-herramientas, ya que el obrero puede cambiar las condiciones de trabajo de su máquina (velocidad, género de la viruta desgarrada, montaje, etc.)

Este primer caso se subdivide en dos:

A. El número de obreros del taller considerado es muy elevado:

B. El número de obreros es reducido.

2.° El obrero no es dueño de variar las condiciones de marcha del aparato o máquina con que trabaja, estando éstas determinadas, especialmente la velocidad, con independencia de la voluntad del trabajador. En este caso el obrero tiene poca influencia sobre el rendimiento de la producción.

Vamos a analizar por separado cada uno de estos tres casos:

20.—*Caso A:* El número de obreros es elevado.—El cálculo de probabilidades tiene aplicación. Por lo tanto: 1.°, habrá aproximadamente tantos obreros que rebasen la producción media cuantos haya que no la alcancen; 2.°, el número de obreros que den un determinado rendimiento disminuye rápidamente a medida que este rendimiento considerado se aleja de la producción media. Se deduce, pues, que se obtendrá casi exactamente la producción media determinada por el estudio teórico, a no ser que se haya incurrido en un error sistemático.

En efecto: la voluntad de los obreros puede originar uno de estos errores y también algunos sistemas de salarios pueden suscitarlos. Examinemos los diferentes sistemas desde este punto de vista.

1.°—*Tarifa por piezas.*—Teniendo interés el obrero en producir todo lo posible, no puede haber error sistemático, una vez bien fijado el rendimiento medio. A lo sumo los obreros rebasarán algo aquel promedio. De todos modos el precio de coste no sufrirá alteración. Más abajo enumeraremos los defectos atribuídos a este sistema y los medios propuestos para corregirlos.

2.°—*Tarifa Willians.*—El obrero, con esta tarifa, tiene también interés en producir lo más posible, pero este interés es menor que en el caso anterior, sobre todo si α es pequeño. Podrá darse, pues, el caso de que el rendimiento medio no alcance al previsto. En este caso esta disminución acarreará un aumento del precio medio de coste que podemos calcular.

Supongamos que el rendimiento medio descienda a $N < 100$, pero que el número de obreros de rendi-

miento inferior a N_1 sea nulo o despreciable (en otro caso el precio de coste aumentaría todavía más). El cálculo de probabilidades nos permite admitir que se compensarán las producciones superiores e inferiores a la media y que la mayoría de los obreros darán un rendimiento muy aproximado al promedio. Puede admitirse, pues, sin error sensible, que el precio medio de coste de cada pieza será el correspondiente al rendimiento medio alcanzado. Sea P este precio; tendremos:

$$P_N = \frac{N_1\, p + (N - N_1)\, \alpha\, p}{N} = p \left\{ \frac{N_1}{N} + \left(1 - \frac{N_1}{N} \right) \alpha \right\}$$

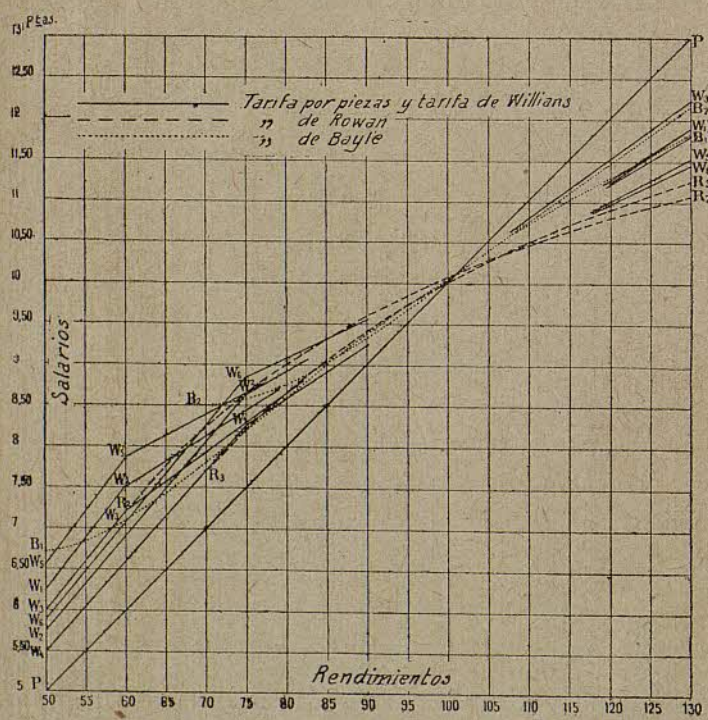
$$= p \left\{ \alpha + (1 - \alpha) \frac{N_1}{N} \right\} \quad (1)$$

Para $N = 100$ queda:

$$P_{100} = p \left\{ \alpha + (1 - \alpha) \frac{N_1}{100} \right\} \quad (2)$$

El cociente de estas dos expresiones es independiente de p, y nos indicará lo que aumentará el precio de la mano de obra cuando N disminuya. Si la disminución es de 5 % [$N = 95$; $N_1 = 60$; $\alpha = 0'5$) el aumento representa 1'97 %, y sería de 2'26 % para $N_1 = 75$, aumento no despreciable.

En realidad la curva representativa de aquella ecuación (fórmula 1) es una hipérbola con asíntota



horizontal ($P = p\,\alpha$). El precio medio de coste será algo superior al que hemos calculado. Puede admitirse que no se separará mucho del promedio de los tres precios relativos a $N - 10$, N y $N + 10$ piezas, promedio que será superior de 0'2 a 0'3 % a P_N cuando $N = 100$. Esto puede darnos una idea del orden de magnitud de este error que como se ve es muy pequeño.

3.º—*Tarifa de Rowan.*—Por cálculos y raciocinios análogos llegaríamos a resultados parecidos a los del caso anterior; pero el aumento de precio de la mano de obra, como consecuencia de una disminución de producción tendrá aquí mayor importancia. El examen del gráfico adjunto permite darse cuenta de este resultado. El aumento de P_{95} respecto a P_{100} es de 2'9 % con la tarifa R_2 y de 2'3 % con la R_3. Además los obreros listos tenderán a limitar su producción ya que el aumento de salario por pieza llega a ser despreciable cuando alcanzan rendimientos elevados, lo que ocasionará como consecuencia inmediata nueva alza en el precio de coste. Esta desastrosa influencia de tal sistema adquiriría gran importancia cuanto más reducido se escoja el valor de N_1.

4.º—*Tarifa de Bayle.*—Los resultados serán análogos a los obtenidos con la tarifa Willians, ya que escogiendo racionalmente los valores de N_1, los dos métodos arrojan salarios muy parecidos para los rendimientos medios. Por consiguiente, siendo la tarifa Willians más sencilla deberemos preferirla.

5.º y 6.º—*Tarifas de Taylor y de Gantt.*—Nada tenemos que añadir a lo dicho al tratar de estos dos sistemas que encuentran aplicación solamente en casos particulares.

Conclusión general.—Se ve que, en el caso A, el tipo de salario escogido tiene poca influencia relativamente, siempre que admitamos que el rendimiento medio ha estado bien determinado, y que no se tema un acuerdo entre los obreros para limitar su producción.

21.—*Caso B: El número de obreros es reducido.*—En este caso puede suceder que predominen los obreros calmosos o los más activos. Este solo hecho podrá haber dificultado la determinación del rendimiento medio realizable. Supongamos, sin embargo, que lo hayamos logrado, por ejemplo, con experimentos minuciosos o por comparación con otros

talleres en que la organización de la mano de obra sea análoga como consecuencia, habremos establecido una tarifa racional de salario, pero, salvo si el salario es por número de piezas, el precio medio de coste sufrirá alzas o bajas notables, según sean los obreros lentos o los activos los que predominen. En este caso sólo el sistema por piezas parece de racional aplicación.

Podría creerse que tratándose de talleres en que la mano de obra tiene poca importancia las ventajas de uno u otro sistema serán despreciables. Nada de eso. Es el caso de numerosos talleres, así en España como en el extranjero, que están lejos de desaparecer y además no hay que descuidar esta cuestión, pues un taller pequeño hoy podrá ampliarse y convertirse en un gran taller en época no lejana.

22. — 2.º *caso: Obreros que trabajan con una máquina cuyas condiciones de marcha están plenamente fijadas independientemente de su voluntad.* — Parece que cuando un obrero trabaja con una máquina que guía a una velocidad fijada y alimentada en condiciones fijadas también, su rendimiento debería quedar casi matemáticamente determinado, siempre que admitamos que el tiempo durante el cual permanezca parada, alcance una proporción razonable.

En la práctica raramente se presentan estos casos con tanta sencillez. El obrero puede desembragar su máquina para descansar; puede conservarla con mayor o menor cuidado, no vigilarla atentamente dando ocasión a producir averías o piezas defectuosas, etcétera. Tiene, pues, una innegable influencia en el rendimiento y por lo tanto deberá tenerse esto en cuenta al eseoger el tipo de salario. Con todo, como todos los obreros trabajan con sus máquinas a una determinada velocidad, los rendimientos de todos ellos serán bastante parecidos.

En rigor la remuneración a jornal resulta admisible; sin negar posibles abusos que quedan indicados en las consideraciones que anteceden, pero el salario a base del número de piezas trabajadas es el verdaderamente indicado. Es verdad que el salario no podrá variar mucho, pero en cambio los defectos repetidamente atribuídos a tal sistema de salario se anulan casi por completo en este caso (fatiga exagerada por crecer de velocidad en el trabajo, producción de piezas defectuosas o averías por negligencia o mala voluntad). También son aplicables los otros sistemas de salarios estudiados que nos darán resultados poco diferentes de la tarifa por piezas, pero complican inútilmente la cuestión. En resumen, una vez bien determinados el jornal fijo y el rendimiento medio el sistema de salario tendrá generalmente poca influencia.

23. — *Casos intermedios.* — En la práctica no siempre se encuentran los casos tan claros que puedan referirse en seguida a uno de los tres grupos que acabamos de examinar, sino que generalmente se presentan casos intermedios.

Para cerciorarse de que el número de obreros es suficientemente elevado para poder aplicar las conclusiones del caso A, estudiaremos si el número de obreros que rebasan la producción media equivale al de los que no la alcanzan, fijándonos además si la mayoría se acercan a la producción media. No es preciso querer tomar una precisión matemática en estas indicaciones. Es sabido que basta un reducido número de individuos (a no ser que hayan sido seleccionados) para que su promedio corresponda al de un número mucho mayor.

La diferencia entre los casos 1.º (A o B) y 2.º es más difícil, porque entre un trabajo hecho enteramente a mano y otro hecho con una máquina automática por completo, caben un sin fin de casos intermedios.

En un trabajo manual o en un trabajo mecánico en el que el obrero sea dueño de variar los factores de su producción, creo poder afirmar, por mis observaciones personales, que las producciones máximas y mínimas correspondientes a los obreros más hábiles y a los más lentos respectivamente alcanzan la relación de 2 a 1. Existen algunas excepciones: por un lado encontraremos un reducidísimo número de obreros de capacidad de producción extraordinaria y por otra parte otro número, bastante reducido también, de obreros lentos en demasía; unos y otros quedan fuera de las consideraciones anotadas. Los primeros, por lo reducidos, no tienen influencia sensible sobre el promedio; en cuanto a los segundos, o bien se les elimina, lo que sucede a menudo, o bien se les destina a un empleo más en armonía con sus pocas aptitudes. Prescindiendo, pues, de estos casos excepcionales, podremos admitir que los rendimientos individuales variarán de 65-70 a 130-135. En cambio en los trabajos enteramente automáticos las variaciones de los rendimientos no alcanzarán a 10 %.

Por lo general, será conveniente admitir que nos encontramos en presencia del caso A, siempre y cuando la influencia individual sobre la producción alcance 20 a 30 %. En caso de duda la clasificación se hará según el buen sentido.

24. — *Observaciones sobre las tarifas a base de primas.* — Todas ellas y en particular la de Rowan prestan a los obreros una nueva arma para luchar contra los patronos. Bastaría que los obreros se pusiesen de acuerdo para mantener su producción alrededor de N_1. El perjuicio pecuniario que sufrirían con ello los obreros sería mucho menor que el que les acarrearía una huelga; al paso que el patrono vería aumentado el precio de coste sin poder echar mano de medio alguno para conjurar el conflicto.

Además, estas mismas tarifas, y especialmente la Rowan, la Bayle y más aun en este caso la Taylor y la Gantt, se prestan a otro género de fraude. Los obreros más hábiles podrian traspasar parte de su producción a los más lentos, para que obtuviesen un salario superior, ya que a estos el precio por pieza les resulta más elevado (en el sistema Taylor el traspaso tendría lugar en sentido inverso). Se concibe que el reparto de los beneficios entre ellos se haría sin gran dificultad. Este género de fraude sería más fácil en aquellos talleres en que trabajan numerosos obreros y en los que la inspección de los mismos resulta difícil. Con el método Willians esta combinación no sería posible más que en el caso de existir rendimientos inferiores a N_1.

25. — *Trabajo excesivo.* — El máximum de producción que se anhela conduce tanto al patrono como al obrero a desear el mayor bienestar material posible; pero tal cosa no responde necesariamente a un verdadero ideal. Otras consideraciones: intelectuales, morales, higiénicas entran en juego. Entre estas últimas el «surmenage» o fatiga consecuencia de un trabajo excesivo, ocupa el primer lugar; conviene hacer hincapié en esta cuestión. Planteada por los obreros, debería plantearse tal vez con mayor fundamento por los directores y demás empleados intelectuales.

Esta cuestión ha motivado en los últimos tiempos estudios importantes. Sin embargo, se está lejos de haber dado con la verdadera solución. Algunos obreros que se quejan de cansancio disfrutan de una salud envidiable; pero hay que convenir en que el «surmenage» existe. Es por demás evidente que no se haría más agradable la vida, mejorando el bienestar material a expensas de una fatiga excesiva. Pero la determinación del máximum de trabajo compatible con la conservación de la salud no se ha hecho todavía científicamente. En espera, será digno de alabanza contentarse con una producción que no alcance el máximum absoluto.

Esto puede lograrse de dos maneras: 1.°, reduciendo la duración del trabajo; 2.°, disminuyendo el rendimiento en la unidad de tiempo. Inclinarse por uno u otro método, así como la cuantía de la reducción en uno y otro caso, es asunto de conveniencia; no hay que olvidar que siempre alcanzará un alza en el coste de la vida.

La disminución de horas de trabajo, con las corrientes actuales, es ordinariamente preferida, tanto por el obrero como por el patrono. Resulta la solución más agradable para el primero y la más económica para el segundo. Diferentes observaciones conducen a hacer creer que si se trabaja más de diez horas diarias, o sesenta semanales, se puede presentar el «surmenage;» mas aun el rendimiento diario deja de aumentar. Ya es sabido que hoy día la mayoría de los oficios han reducido mucho aquella jornada.

Adoptada esta solución, nada habrá que modificar de las conclusiones precedentes, ya que todos los esfuerzos deberán ir dirigidos a obtener el máximum de producción durante la jornada reducida de trabajo. Si, por el contrario, se adoptase la segunda solución, podrá darse el caso de ser preferibles las tarifas a base de primas a la tarifa por número de piezas.

26. — *Objeciones al salario por número de piezas.* — Se reprochan graves defectos al salario por piezas.

Los obreros lo culpan: 1.°, de aumentar la producción; 2.°, de producir el «surmenaje;» 3.°, de disminuir los jornales.

Los patronos le reprochan: 4.°, la limitación de la producción, por temor de los obreros de ver reducida la base de su salario; 5.°, la producción de piezas defectuosas; 6.°, el malgastar las primeras materias o productos varios.

1.° Este punto más que un defecto es una ventaja. Sin embargo, hay que procurar restringir algo la producción, cuando ésta crezca mucho momentáneamente, para evitar la sobreproducción, y como consecuencia el tener que recurrir al paro temporal forzoso, lo cual se logrará reorganizando el trabajo racionalmente, por lo que se refiere al conjunto de la sociedad, encauzando los brazos que sobren hacia industrias más necesarias o útiles (trabajos públicos, servicios de higiene, etc.) Encontraríamos en todos los países un sinnúmero de trabajos muy útiles y que sin embargo no se desarrollan ni tienen vida debido a la mala organización social existente, lo que dificulta armonizar los intereses del capital y del trabajo.

Se observará, de todos modos, que la especializa-

ción de las profesiones llevada al límite es un obstáculo, en muchos casos, a esta racional regulación, ya que entonces es más difícil que los trabajadores sean aptos para cambiar de profesión. Se haría frente a este inconveniente, por lo menos en parte, si se evitase la aplicación a una determinada industria de cambios demasiado bruscos, aunque éstos representen un indiscutible progreso. Además, creo que se hallaría el remedio si se lograse que cada individuo poseyese una profesión auxiliar fácil, además de su propio oficio, procurando al mismo tiempo el desarrollo y perfeccionamiento de las sociedades destinadas a facilitar colocaciones a los trabajadores.

2.° «Surmenage.» Este punto ha quedado ya discutido.

3.° Hay que admitir que siempre el salario por piezas beneficiará a los obreros más que el salario por jornal que reemplace. El aumento podrá ser de 30 a 100 % y en circunstancias especiales, por ejemplo, en períodos de alza en los precios de los productos, podrá ser beneficioso aumentar todavía más aquella ganancia; está admitido que el rendimiento puede doblarse, triplicarse y aun cuadruplicarse con relación a la producción a base de jornal. Deberá establecerse igualmente aumento en el salario, siempre que el sistema por piezas substituye a un salario por primas, en el supuesto bien entendido de que se logre aumento de producción con el cambio.

4.° Este defecto es, según hemos ya dicho, común a todos los tipos de salarios y no queda acentuado al aplicar el salario por piezas. Puede corregírsele por un detenido estudio de la mano de obra, según se ha indicado en la segunda parte de este artículo.

5.° y 6.° Es evidente que la rapidez del trabajo está en razón directa de las probabilidades de producir averías o piezas defectuosas y de malgastar materiales. En cada caso particular habrá que estudiar sino sería más ventajoso producir menos y mejor. Casi siempre llegaremos a la conclusión de que no debe condenarse la rapidez en el trabajo, procurando, con todo, corregir aquellos defectos. El mejor medio, bien conocido, consiste en el establecimiento de primas a la calidad del trabajo y a la cantidad de materiales economizados. En ciertos casos será conveniente recurrir a limitar la producción de los obreros que trabajan demasiado de prisa o defectuosamente, a un máximum. Salvo en estos casos, para que las primas surtan efecto no deben valorarse a expensas del jornal, sino que deben representar un plus real para los obreros.

El asunto de las primas debe ser objeto de detenido estudio. A veces convendrá sacrificar la cantidad a la calidad de trabajo y a la economía de los materiales empleados.

Puede darse el caso de que un obrero dude al escoger su método de trabajo más conveniente. ¿Deberá sacrificar algo la prima de calidad, produciendo mucho, o por el contrario disminuirá su producción para obtener la prima mediante un trabajo cuidado? O ¿se decidirá a afectuar un esfuerzo para ver de conseguir ambas cosas aun a riesgo de perder su salud?

Para orillar esta dificultad creo que podría ser ventajoso establecer en los talleres interesados y dentro de cada oficio oficiales hábiles en el trabajo, destinados a observar y estudiar el modo de trabajar de cada obrero, corrigiendo sus defectos, indicándoles el método de trabajo más conveniente y esforzándose, en suma, a obtener el mejor resultado tanto para el patrono como para el obrero. En muchos casos las ventajas obtenidas pagarían los gastos ocasionados.

IV. — Conclusiones

27. — *Selección del tipo de salario.* — En resumen, sólo un concienzudo estudio preliminar de las condiciones técnicas y de mano de obra para cada clase de trabajo podrá asegurarnos un rendimiento máximo en cantidad y calidad. Hecho lo cual, el sistema de salario que se escoja, sin ser asunto despreciable, pasa a tener un interés secundario, dependiendo solamente de circunstancias especiales a cada caso.

El estudio que antecede nos permite deducir, respecto este punto, las conclusiones siguientes:

a) La tarifa por piezas será aplicable prácticamente a todos los casos, salvo contadas excepciones (trabajos artísticos, difíciles de contar o que pudiesen originar los defectos apuntados sin poderlos corregir o evitar por los medios usuales). En principio, deben reducirse estas excepciones al mínimum. Por ejemplo, encontraremos gran número de trabajos que podremos medir forzando un poco la organización y reflexión y que a primera vista los hubiésemos clasificado entre aquellas excepciones. Por lo menos encontraremos, casi siempre, manera de interesar al obrero en su trabajo de un modo u otro.

Este sistema por piezas presenta la gran ventaja

de permitirnos conocer exactamente el precio de coste, sin que tengamos que temer imprevistos como sucede con los demás sistemas.

b) Las tarifas del tipo de la de Willians son recomendables para casos tales como el 2.º del n.º 22, empleados en competencia con el sistema por piezas; también lo son cuando se teme que la producción o la rapidez en el trabajo sean excesivas; y finalmente en aquellos casos en que no se habrá podido estudiar a fondo la cuestión de la mano de obra. En la actualidad, este es el caso corriente al aplicar estos salarios a las industrias mecánica y metalúrgica. Pero no deberá considerársela más que como período de transición para llegar a la aplicación de la tarifa por piezas. De este modo puede estudiarse con detenimiento y experiencia la mano de obra y por sucesivas modificaciones de los coeficientes escogidos, llegar finalmente a una tarifa racional que será la definitiva.

c) La tarifa Rowan parece ser mucho menos ventajosa que las dos precedentes, por colocar al obrero bajo la influencia de un máximum de salario y además porque más allá de un determinado límite, para obtener un pequeño beneficio, necesitará efectuar un esfuerzo considerable; es lógico suponer que renunciará a obtener este pequeño beneficio por no considerarlo suficientemente recompensado.

Lo más que puede concederse a este sistema es que es superior al de jornal y que puede emplearse de modo transitorio para llegar a la supresión del mismo.

d) Las tarifas Taylor y Gautt responderán solamente en circunstancias especiales, y los sistemas indicados en el n.º 18 en los casos particulares allí especificados.

28. *Consideraciones generales.*—En general, será buen sistema de salario aquel que asegure un beneficio elevado a los obreros y tienda a disminuir el precio de coste. Sabido es que estos resultados, en ningún modo, son contradictorios, y las consideraciones expuestas en el presente estudio comprueban este principio.

Teóricamente, si los precios de venta variasen proporcionalmente a los salarios, nada variarían las condiciones de vida de los obreros, de tal modo que podrían disminuirse simultáneamente unos y otros. Pero en la práctica no sucede otro tanto. Los obreros no comprenden bien este punto y mucho tiempo ha de pasar hasta que se convenzan de ello. Pues siempre preferirán elevados salarios nominales (en dinero) y se opondrán con todas sus fuerzas a una disminución de los mismos. Además, el interés general tiene que luchar muchas veces con intereses particulares, cuando se trata de discutir una base de salario con una agrupación aislada de obreros; en efecto, todo el interés de éstos estará en obtener un elevado salario, ya que el conjunto de los gastos de la vida no han entrado todavía en juego, como tampoco los salarios de los demás obreros extraños a la cuestión. El interés particular de cada grupo será evidentemente de obtener un elevado salario respecto de los demás trabajadores.

Por esto mismo, cada vez que se modificará un sistema de salarios, será imposible, salvo rarísimas excepciones, reducir nominalmente el existente anteriormente; no se obtendrá nunca el consentimiento de los obreros para cualquier modificación propuesta por el patrono mientras no sea para obtener un alza de salarios. El estudio racional de las bases de los salarios deberá, pues, conducirnos a este resultado. El porcentaje de aumento podrá variar entre límites muy extensos dependientes de las circunstancias particulares de cada negocio, principalmente del salario anterior y de la economía realizada.

Debe condenarse siempre el sistema de fijar un máximum en la producción que el obrero no deba rebasar. ¿Qué diríamos si se promulgase una ley que limitase las ganancias de los patronos?

El alza de los salarios, iniciada algunos años antes de estallar la gran guerra, continuará probablemente, excepción hecha de algunos salarios extraordinariamente elevados concedidos durante la guerra por las circunstancias realmente excepcionales creadas por la misma. Pero a pesar de esta alza sucesiva de salarios, no se agravarán las condiciones de la existencia si se logra intensificar la producción, adoptando todos los perfeccionamientos que nos aconseje el progreso técnico.

C. Tiberj

Director de las manufacturas del Estado francés

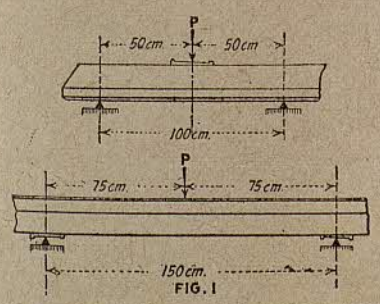
(De *La Technique Moderne*, número de marzo de 1919).

VEINTE AÑOS DE TRAVIESAS FERROVIARIAS DE HORMIGÓN ARMADO

Revista de experimentos y experiencias en los Estados Unidos y en los otros países. — Resultados bastante indeterminados y desfavorables. — Continuación de los ensayos. — Tipos principales.

No se puede decir de las traviesas en hormigón armado que hayan progresado más allá del estado experimental, puesto que su aplicación es aún bastante limitada y que para ser comparadas económicamente con las de madera es necesario que cuenten una vida de a lo menos treinta años. Excepto un informe, de dudosa autenticidad, de haberse utilizado tales traviesas desde hace treinta y un años en Méjico, los datos indican que los primeros experimentos fueron hechos en Alemania hace veintidós años y que desde entonces continuaron en pequeña escala. Fué Italia el verdadero campeón colocando más de 300,000 en diez y nueve años. Los ferrocarriles franceses en Indochina empezaron los experimentos hace veinte años, y al cabo de diez años tenían en uso alrededor de un millón de traviesas en hormigón armado. En Francia se vienen haciendo experimentos desde hace diez y nueve años; en Inglaterra, once años; Suiza y Suecia unos diez años y en Dinamarca ocho años.

Los experimentos de los Estados Unidos comenzaron veinte años ha, y el número de traviesas puestas en servicio asciende a unas 20,000. Para los Estados Unidos los resultados de los experimentos en el propio país son de mayor importancia que los de los ferrocarriles extranjeros, dado que la carga que soportan las ruedas, en Europa es considerablemente menor y las condiciones del tráfico menos severas. Desgraciadamente, muchos de los datos no son completos ni mucho menos. Desde 1907 la «American Railway Engineering Association» ha obtenido valiosas informaciones sobre el particular; sin embargo, muchos de sus datos son incompletos.



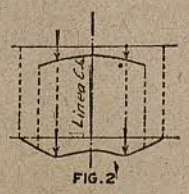


Fig. 2.—*Relación de la longitud de la traviesa con la tensión bajo la carga*

Fig. 1.—*Pruebas de carga con traviesas italianas.*

El propósito de este artículo es de presentar en forma resumida la información disponible sobre las traviesas de hormigón armado, en lo que se refiere a su estructura, su utilización y los resultados prácticos obtenidos.

Está basado sobre un extenso informe, que fué hecho por orden de John D. Isaac, Ingeniero consultor de la «Southern Pacific Co.»

La experiencia ha demostrado que el proyectar una traviesa de hormigón armado es un problema que requiere considerable reflexión y estudio. Dado que el hormigón no tiene la flexibilidad de la madera, es esencial que todos los elementos que afecten la acción elástica de la traviesa sean tenidos en consideración al proyectar un substituto aprovechable para la traviesa de madera.

La elasticidad de una traviesa depende de su longitud, de su rigidez y de la naturaleza del balasto. Una traviesa demasiado corta presenta su curvatura máxima en el centro, mientras que una traviesa de longitud bien proporcionada se encorva particularmente en el lugar debajo de los carriles. Esto se ve en la figura 2. Una traviesa flexible se encorva y ejerce fuerte presión sobre el balasto directamente debajo de los carriles, mientras que una traviesa rígida presenta menos pliegue distribuyendo la presión de manera más uniforme sobre el balasto. Por lo tanto, las traviesas hechas de material que posee comparativamente poca flexibilidad deberían ser construídas tan rígidas como fuera posible. En otras palabras: las traviesas de hormigón armado deberían tener un gran momento de inercia.

G. H. Kimball, inventor de una traviesa dividida, ha puesto de relieve que en las construcciones de línea ordinaria, la presión sobre la traviesa es excéntrica. Las traviesas se extienden unas 16 pulgadas hacia afuera y 30 pulgadas hacia adentro del centro de cada carril, y como aquí presentan mayor superficie sostenedora, tienden a asentarse de manera desigual. En otras palabras: el centro de presión y el de la figura de la superficie sostenedora no coinciden. Por esta razón, los extremos de la traviesa están más o menos aflojados en el balasto, excepto cuando están

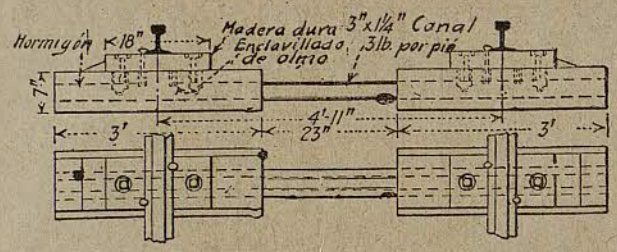


Fig. 3.—*La traviesa* Kimball *se compone de dos bloques de hormigón armado, reunidos por canales de acero.*

bajo carga. La traviesa de hormigón armado debiera de proyectarse para poder actuar como viga de resalto y así resistir los fuertes golpes producidos por el hundimiento de los cabos de la traviesa al paso de la carga en línea de acción de gravedad céntrica.

Es esencial poner hierros de refuerzo cerca de la superficie de todas las partes que soporten esfuerzos de tensión en las diferentes condiciones de carga. Con traviesas de longitud correcta la tensión se producirá en la parte superior en el centro de la traviesa y en el asiento debajo de los carriles. Hacia afuera del carril puede haber tambien tensión en el asiento, dependiendo de las condiciones de la capa del balasto.

El refuerzo en el centro del perfil transversal no sería de ninguna utilidad, ya que no ayuda a resistir un esfúerzo de tracción alguno. En general, al proyectar una traviesa de hormigón armado debieran tenerse en cuenta los siguientes requisitos, que se fundan en la teoría y en los resultados de experiencia práctica:

1. Suficiente área de la superficie soportadora en el balasto, para transmitir holgadamente a la capa del mismo el peso y golpes de las cargas.

2. Suficiente resistencia friccional en el balasto, para prevenir los movimientos laterales de la línea.

3. Suficiente fuerza, elasticidad y resistencia, para prestar servicio bajo todas las exigencias del tráfico, incluso la capacidad de resistir a los descarrilamientos.

4. Que sea apta para mantener el ancho interior de los carriles y para guardarlos en posición perpendicular al plano de la vía.

5. Una sección tal que permita que las traviesas sean colocadas suficientemente próximas las unas a las otras, para prevenir cualquier flexión apreciable de los carriles entre los soportes.

6. Un método eficaz para la fijación de los carriles y que el anclaje sea sencillo y fácilmente accesible a los ajustes y reparaciones.

7. Prever un aislamiento adecuado. El hormigón es casi materia aislante, pero hay que tener cuidado para impedir un contacto con el metal de refuerzo. Una traviesa no aislada convendría fuese factible de ser aislada, sin necesidad de removerla de la línea.

8. Los bloques de cojín, caso de utilizarse, deberían ser movibles.

9. Para facilitar el entretenimiento de la via, las traviesas habrían de ser de forma y sección tales que permitan que debajo de ellas el balasto sea apisonado de manera adecuada, con el fin de ayudar a la conservación de la alineación y superficie del trayecto.

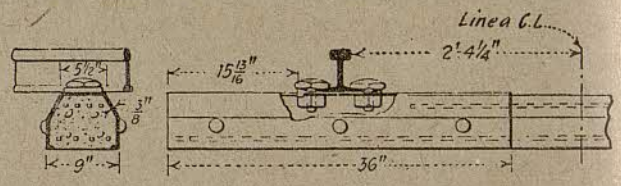


Fig. 4.—*La traviesa* Atwood *tiene dos piezas huecas de acero, empotradas en el hormigón*

Aplicación de los conocimientos de ingeniería

Aunque es escasa la información fidedigna que se tiene sobre las cualidades de la traviesa de Maciachini (italiana) en uso actual, es interesante observar las particularidades de cinco dibujos. Los resultados obtenidos llevaron al continuo aumento en el momento de inercia, primero robusteciendo el refuerzo y luego aumentando el área del perfil transversal del hormigón. Se vió que era más ventajoso reemplazar las numerosas varillas pequeñas, que primero fueron distribuídas sobre todo el perfil transversal por un número de varillas menos considerable, pero bastante más gruesas, colocadas cerca de las caras superior e inferior.

Se vió que era necesario probar la fuerza de cada traviesa, sin excepción, antes de ponerla en servicio, siendo la prueba más importante la que se refiere al momento de rigidez negativo en el centro de la traviesa. Las pruebas de resistencia propuestas por Maciachini, tal como se demuestran en la figura 1, representan las fuerzas que actúan sobre la traviesa cuando están en uso: (1) una carga de 2,000 kilogramos aplicada al asiento del carril; (2) una carga de 1,200 kilogramos aplicada a media distancia entre los asientos de los carriles, con la traviesa invertida y soportada como se demuestra.

En los Estados Unidos, Kimball fué el primero en reconocer la importancia de tener en cuenta el esfuerzo de tensión en la cara superior de la traviesa e hizo frente a esta exigencia por un procedimiento

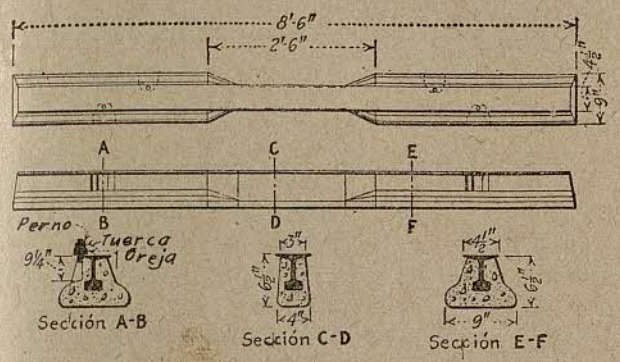


Fig. 5.—*La traviesa de* Buhrer *confía para la resistencia en un viejo carril*

nuevo. En lugar de hacer una traviesa de longitud entera, utilizó un juego de bloques de hormigón, cada uno de una longitud de tres pies, conectados por un trozo de carril viejo o un juego de ligeros canales de acero. Los bloques están colocados simétricamente debajo de cada carril, de manera que el centro de presión y el de la figura de las traviesas coinciden, quedando así eliminada en la traviesa el esfuerzo de tracción más destructivo. Varias de las traviesas posteriores fueron concebidas sobre líneas de construcción similares, con buenos resultados en la mayoría de los casos, comparados con aquellos de las traviesas de longitud entera.

En varios tipos de traviesa, especialmente en los primitivos, fueron descuidados algunos de los principios elementales.

La traviesa Percival, que se termina en punta cuneiforme en el medio, con el fin de darle estabilidad, no tiene suficiente área soportadora; las traviesas de Affleck, Campbell, Hickey y Leopoldina Ry, tienen el refuerzo en el centro; las de Bowman y de Ulster & Delaware RR, no tienen refuerzo en el asiento debajo de los carriles, en tanto que la traviesa Mac Martin es imperfecta en la cara superior entre los carriles.

Por el otro lado, las traviesas indestructibles, Mac Donald y Stoneback, en América; las de Hall y Jagger, en Inglaterra; las de Asbeston y de Vorion-St. Beron, en Francia; las de Asbeston y Dickerhoff-Widman, en Alemania, y la traviesa Maciachini (tipo 4), en Italia, son todas ejemplos de traviesas de longitud entera, en las cuales el refuerzo ha sido dispuesto teniendo debidamente en cuenta la situación de los esfuerzos de tensión.

Clasificación de las traviesas de hormigón

El espacio disponible no permite una descripción detallada de todos los tipos. Algunos de los más notables han sido descritos como sigue: *Engineering News*: 3/4 y 28/8/1902, Kimball; 7/7/1904, Voiron-St. Beron, 6/10/1904, Ulster & Delavare R. R.; 17/8/1905, Buhrer; 5/10/1905, Campbell y Percival; 30/9/1909, Jagger y Chenoweth; 17/2/1910, Reigler; 15/3/1917, Wolf. *Engineering Record*: 19/8/1905, (suplemento), Percival; 25/11/1095, (suplemento), Chenoweth. (Véase también los volúmenes publicados del *Index to Engineering News*). Existen unos setenta dibujos, la mitad de los cuales son de origen americano. En general, pueden ser clasificados en los cuatro tipos principales siguientes:

1.° Una traviesa dividida consistente en un juego de bloques conectados por alguna forma de barra de acero o tensores.

2.° Una traviesa de longitud entera, en la cual el acero resiste prácticamente toda la tensión y teniendo el hormigón utilidad meramente secundaria, sirviendo ya para rellenar las partes metálicas de la traviesa, ya como medio de distribución de la carga sobre una área suficiente del balasto.

3.° Una traviesa de longitud entera, en la cual el refuerzo está completamente rodeado por hormigón y distribuído de manera a contribuir efectivamente a resistir la tensión en las partes del hormigón sujetas a la tracción.

4.° Traviesas huecas o con núcleo, consistentes en una viga hueca de hormigón armado convenientemente para resistir a la flexión.

Descripción de algunas traviesas de hormigón representativos de los diversos tipos

La traviesa Kimball, la Atwood (o Buhrer), la Indestructible y la Wolf son representativos respectivamente de esos cuatro tipos principales, y las vamos a describir algo más detalladamente:

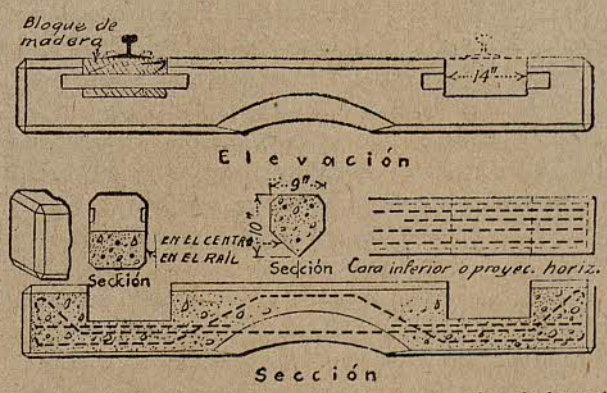


Fig. 6.—*La traviesa* Indestructible *es una viga de hormigón armado*

Traviesa Kimball. — Consiste en dos bloques de hormigón de 9 pulgadas de ancho, 7 de altura y 3 pies de largo, con los lados convexos. Estos están conectados por un juego de dos piezas de acero de forma acanalada de 3 × 1 1/2 pulgadas, puestos de espalda y extendiéndose bajo los carriles hasta a una pulgada del cabo de los bloques. La superficie de estos hierros que está fuera de los bloques está protegida por dos capas de mortero de cemento de Portland y el espacio entre ellos está lleno de hormigón. Los bloques de madera dura, 3 × 9 × 16 pulgadas, que sirven de cojin al carril, están asegurados por tornillos centrales de 1/2 pulgada, fijados helicoidalmente dentro de áncoras colocadas en el hormigón. Los carriles están sujetos por escarpias de vía ordinaria, clavadas, a través de los bloques de madera, dentro de la incrustación de olmo en el hormigón. Cada bloque de hormigón tiene una oreja en la cara superior, para facilitar un apoyo lateral para el cojín. Con hormigón de piedra las proporciones son: 6 : 11 : 3, utilizando piedras rotas 1 1/2 pulgada. Hormigón de grava es una mezcla de 2 : 1 : 3, utilizando grava limpia, de orilla de 3/4 pulgadas. El peso de la traviesa completa es de 436 libras.

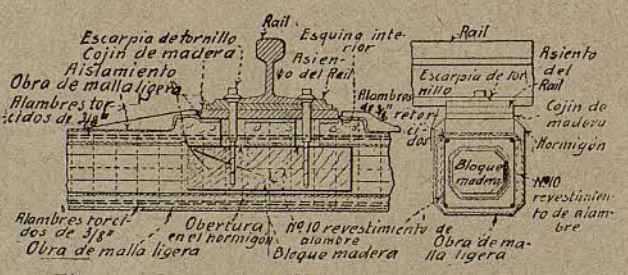


Fig. 7. — *La traviesa* Wolf *es una viga hueca.*

Traviesa Atwood. — Está formada por dos recipientes de acero, 3/8 pulgadas de grueso, cada una situada centralmente debajo del carrril, teniendo los recipientes 5 1/2 pulgadas de ancho en la parte superior y 9 pulgadas en la base, 8 pulgadas de altura y 3 1/2 pies de longitud. Están llenos y conectados con hormigón armado, siendo la longitud total de la traviesa unos 8 pies y 5 pulgadas. El refuerzo consiste en cuatro barras cuadradas de acero en la cima y cuatro en la base. No se requiere del hormigón que actúe como viga, ya que las dos piezas de acero son de fuerza suficiente para soportar la carga de las ruedas; pero sirve de amplia superficie para distribuir la carga sobre el balasto. La traviesa está aislada, toda vez que las barras que refuerzan la cima no se extienden bajo los carriles, eliminando así todo contacto entre las barras y los pernos de 1 1/8 pulgadas que sujetan los carriles.

Traviesa Buhrer. — En este tipo se utiliza un trozo de carril de 65 ó 80 libras, invertido, con la cabeza de rodadura y el nervio del carril empotrados en el hormigón. El hormigón está desigualmente repartido a lo largo de la traviesa, que tiene 8 pies, 6 pulgadas de longitud, de manera que proporcione una base soportadora de 8 a 9 pulgadas de anchura en

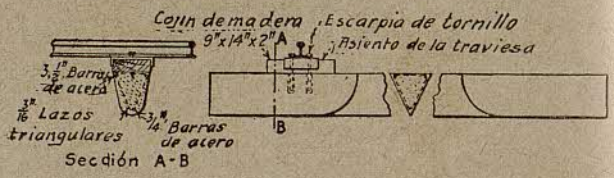


Fig. 8. — *Traviesa* Percival. —

una longitud de tres pies a partir de cada extremo. En el centro la base tiene una anchura de 3 a 4 pulgadas, en tanto que la altura de la traviesa es de 6 1/2 pulgadas en toda su extensión. El patín del carril invertido forma un asiento para el carril de la línea y sirve de sujeción a los medios de fijación, que son una pinza, una tuerca y un perno de 3/4 pulgadas. Algunas traviesas son de hormigón de cascajo, en proporción 1 : 4. Otras tienen una parte de cemento, otra de piedra caliza fina y lavada y tres partes de piedra caliza lavada de 1/2 pulgada. El peso de la traviesa, con un trozo de carril de 80 libras, es de 460 libras.

Traviesa indestructible. — Tiene 9 pulgadas de ancho, 12 pulgadas de altura y 8 pies de longitud con todos los ángulos y puntas biseladas. En el centro la base forma un arco de una altura de 2 pulgadas y los lados están cortados dando una forma cuneiforme, proporcionando así un agarradero en el balasto.

El refuerzo consiste en cinco varillas de acero, situadas como sigue: Una larga varilla redonda de 1/2 pulgada, a 4 1/2 pulgadas de la base de la traviesa, excepto que en los extremos está torcida y provista de ganchos; dos largas varillas redondas de 3/4 pulgada, enganchadas en los extremos, colocadas a 2 pulgadas de la base de la traviesa debajo de los carriles, pero dobladas de manera que pasan a muy poca distancia de la cima de la traviesa en el centro de la misma; una corta y derecha varilla redonda de 3/4 pulgada en cada extremidad, a 4 1/2 pulgadas de la base. Debajo de cada carril la traviesa está entallada para recibir un bloque de madera de 6 × 8 × 14 pulgadas, en cada uno de cuyos lados hay una placa de acero de 3/8 × 2 1/4 × 21 pulgadas. Las placas están colocadas dentro de ranuras en el hormigón y ancladas por dos

pernos de 3/4 pulgadas. El carril descansa sobre la madera y está sujetado con pinzas o tornillos. El hormigón está hecho con grava y el peso de la traviesa completa es de 660 libras.

Traviesa Wolf — Se trata de una traviesa hueca, ancha de 8 pulgadas por 7 de altura y 8 pies, 6 pulgadas de longitud, siendo su forma exterior similar a la de una traviesa de madera. Las paredes tienen un espesor de 1/2 pulgadas, aumentadas a 2 pulgadas, bajo los asientos del carril, aunque algunas traviesas tienen paredes de 2 pulgadas de espesor en toda su longitud. El refuerzo consiste en cuatro varillas longitudinales, cableadas, de 3/8 pulg., una cerca de cada esquina, en cuyo derredor hay un revestimiento de alambre de una malla de 2 × 4 pulgadas. Además hay una obra de malla ligera, de 1 1/2 pulgadas de malla, colocada cerca de las superficies interior y exterior. El carril descansa en una placa de acero sobre un bloque de pino, que sirve de cojín y tiene 1 × 8 × 12 pulgadas, apoyado en un talón de la traviesa, de 1 pulgada. El anclaje de los carriles está libre de la estructura de la traviesa, pasando las escarpias helicoidales a través de una apertura del asiento de los carriles dentro de un bloque de madera de 18 pulgadas de longitud, insertado libremente dentro de la traviesa. La mixtura media del hormigón es 1 : 2 : 3 y el peso de la traviesa es de 320 libras.

En el cuadro siguiente se da una clasificación, bajo los cuatro tipos principales que acabamos de describir, de los varios dibujos de traviesas de hormigón armado, indicándose los pesos cuando se conocen:

Tipo 1. *Americanas.* Bates (450 libras); Corell, Kimball (436 libras); K. C. & H; Western.
Danesas. Jensen & Schumacher.
Inglesas. Green & Moore; Meyrick; Northeastern Ry. (Planos B, D, D²); R.-P. & T.; Victoria; Yokeblock.

Tipo 2. *Americanas.* Atwood; Buhrer (460 libras); Champión (600 libras); Mershon (400 libras); Riegler (800 a 850 libras); Simplex (350 a 370 libras); United States.

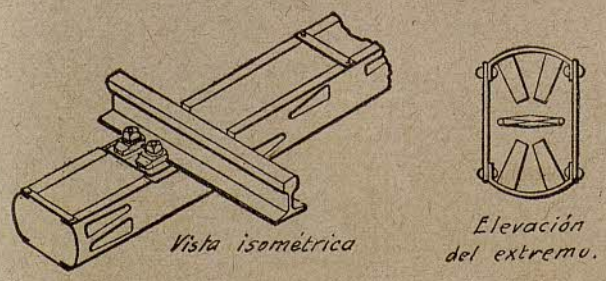


Fig. 9. — *La traviesa* Riegler *tiene un envolvente de acero*

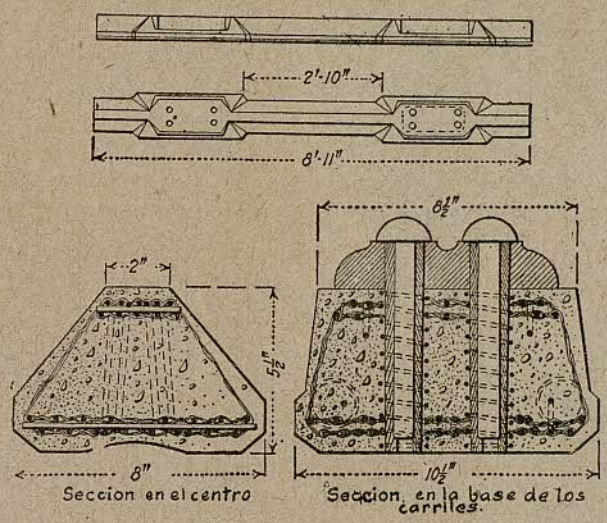


Fig. 10. — *La traviesa* Jagger *está reforzada con malla de alambre y varillas pequeñas.*

Tipo 3. *Americanas.* Affleck; Bowman; Brukner (345 libras); Brunson; Burbank; Campell (356 libras); Chenoveth (300 libras); Colorado & Southern; Harrell (300 libras); Hickey; Indestructible (660 libras); Keefer; Mac Martín; Mac Donald; Percival (445 libras); Stoneback (580 libras); Ulster & Delaware R. R. (450 libras); Waples (1,000 libras); Weber.
Brasileñas. Ferrocarril Leopoldina (267 libras).
Inglesas. A. P. C. Co.; Hall; Jagger; Northeastern Ry. (Plano C) (365 libras).
Francesas. Asbeston; Indochina; Sardar (308 libras); Ferrocarril Voiron Saint Baron (232 libras).
Alemanas. Asbeston (397 libras); Bávaras: Dyckerhoff & Widman (386 libras); Ferrocarriles del Estado.
Italianas. Maciachini (tipo 1) (287 libras); tipos 2, 3, 4, 5.
Suizas. Hintermann.

Tipo 4. *Americanas.* Leonard (600 libras); Wolf (320 libras).
Inglesas. Auden; Marriott; Ferrocarril Northeastern (Plano A); Rings.

Pernos y ovalillos, escarpias helicoidales y ordinarias son los medios más comunes para fijar los carriles sobre las traviesas, colocándose los pernos en la mayoría de los casos desde abajo arriba. Las escarpias se clavan ya sea dentro de bloques de madera ya a través de los bloques y dentro de dovelas de madera o de metal blando incrustadas en el hormigón. En la traviesa Asbeston, el hormigón en el asiento de los carriles está hecho con amianto y

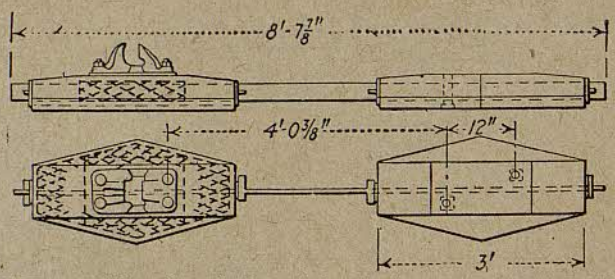


Fig. 11.—*Traviesa de hormigón del ferrocarril Northeastern (Inglaterra)*

puede ser barrenado cual madera por las escarpias helicoidales (tirafondos).

Se han introducido placas de sujeción de varias formas, en combinación con pernos, tornillos o escarpias. Acusan la tendencia de trabajar libremente, en tanto que las cabezas de los grapones están a veces colocadas de manera a prevenir el estrechamiento de las tuercas. La fijación por medio de escarpias parece ser la forma más eficaz de anclaje.

El cemento Portland ha sido utilizado en casi todas las traviesas americanas. El agregado fino lo constituyó generalmente la arena, en tanto que para el agregado grueso tomóse grave machacada o piedras aplastadas (la piedra caliza se recomienda en varios modelos), si bien en algunos pocos casos se echó también mano de loza. En general, el agregado grueso alcanza de media a tres cuartos de pulgada; sin embargo, en las traviesas Percival y Kimball se utilizan piedras de una y una y media pulgadas, respectivamente. Las proporciones usuales son una parte de cemento para cuatro o cinco partes de agregado, siendo muy común una mezcla de 1 : 2 : 3. Con el hormigón adecuadamente mezclado y colocado, su composición parece que no ejerce ningún efecto apreciable sobre la fuerza y durabilidad de la traviesa.

El espacio disponible no permite arreglar en cuadros los datos de servicio sobre los cuales descansan las subsiguientes conclusiones, y además hay que hacer constar que muchos de los datos son incompletos. Salta a la vista que los experimentos con un reducido número de traviesas (una docena o aun menos) no pueden facilitar resultados de mucho valor; pero es dudoso, no obstante, que los resultados prácticos pudiesen ser afectados seriamente por tales experimentos, aunque se practicaran en escala algo más considerable.

Los datos demuestran que en los Estados Unidos se colocaron unas 19,000 traviesas de hormigón armado; en Italia hay instaladas 303,000; en Suecia más de 2,000; en Inglaterra más de 400, y en Francia más de 300 traviesas. Los datos daneses, alemanes, suizos y mejicanos son demasiado incompletos para permitir indicar números, aunque sólo fueran aproximados.

Se informa que alrededor del 18 por 100 de las traviesas americanas en hormigón tuvieron que ser quitadas por rotura; pero esta cifra aumentaría considerablemente si se dispusiera de datos completos. El relativo carácter del fracaso puede ser representado por las siguientes proporciones: Completamente rotas, 1'45 por 100; desintegradas, 2'5 por 100; hendidas, cortadas por los carriles y deterioros menores 1 por 100. Los fracasos de las traviesas europeas son proporcionalmente inferiores a los de América, debido principalmente a que la carga que soportan las ruedas es menor.

Los resultados más prometedores han sido obtenidos con traviesas de tipo Atwood o Buhrer, en las cuales el componente de acero es de por sí suficientemente rígido para resistir a la usura y a las fatigas; y también con traviesas del tipo Kimball, en las cuales los bloques de hormigón están conectados por un miembro comparativamente ligero.

Juzgando, pues, de los resultados hasta ahora obtenidos, es evidente que queda todavía por obtener una traviesa de hormigón armado, de verdadero éxito. Un adecuado anclaje de los carriles es tan esencial como la estructura de la traviesa. La carga, en las líneas normales, no se transmite sobre la traviesa entera, sino que se limita a un área que se extiende unas 15 pulgadas a cada lado de los carriles; así es que en el centro de la traviesa se produce a veces un alzamiento. Como el balasto cede y no siempre asegura un sostén uniforme, existe una tendencia a la flexión. Esto puede ser resistido muy bien por la madera, pero con el hormigón armado ocurre que éste se desprende del metal. Los resultados han demostrado que es muy difícil obtener una unión suficiente entre el hormigón y el acero para resistir a las rigurosas exigencias de un tráfico intenso.

En 1908 el «Comité de las Traviesas» de la «American Railway Engineering Association» se

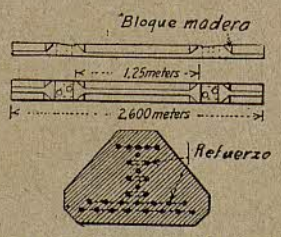


Fig. 12. — *Traviesa* Maciachini

ocupó del asunto de las traviesas compuestas y de metal. Su informe de 1909 manifestó que no había sido ideada ninguna traviesa de hormigón armado aprovechable para tráfico pesado y de gran velocidad, pero que tal traviesa, con adecuado anclaje, pudiera resultar económica para el tráfico de reducida velocidad y allí donde las condiciones son particularmente adversas a la vida de las traviesas de madera o de metal. En 1912 el Comité informó que no era ni deseable ni económico el intentar hacer frente a todas las exigencias con un solo proyecto de traviesas de hormigón armado, sino que debería haber al menos dos dibujos o tipos, el uno para el tráfico intenso y el otro para el ligero, lo mismo aisladas como sin aislar, según requiera el caso.

RESULTADOS SORPRENDENTES OBTENIDOS AL VARIAR LA PROPORCIÓN DEL AGUA EN LAS PRUEBAS DE HORMIGÓN

POR DUFF A. ABRAMS

Profesor encargado del Laboratorio de Investigación de materiales de construcción del Instituto Lewis, de Chicago

Se ha encontrado que la razón del agua para con el cemento tiene un efecto más importante sobre la resistencia del hormigón que la cantidad de cemento y la clase del agregado

GENERALMENTE se dice que el hormigón está compuesto de una mezcla de cemento, arena y guijarros o piedra aplastada. Esta concepción del hormigón pasa por alto un elemento esencial de la mezcla, o sea el agua. Una indicación exacta de los ingredientes del hormigón sería: cemento, agregado y agua. Este último componente aun no ha recibido la debida consideración al hacer ensayos con hormigón y en las especificaciones para las obras con este material.

Los primeros constructores que emplearon el hormigón concentraron toda su atención en la calidad del cemento, haciendo prácticamente caso omiso de los demás ingredientes. Durante la pasada docena de años se ha prestado alguna atención a la importancia del agregado, pero hace muy poco tiempo que hemos adquirido el conocimiento de que también el agua requiere que se le tome en la debida consideración.

Mucho se ha dicho y escrito recientemente sobre el efecto del agua en la resistencia y otras propiedades del hormigón, pero hasta ahora no se había señalado toda la importancia de este ingrediente. Una discusión que apareció en el número de abril de 1917 del *Concrete Highway Magazine* facilitó una corta recapitulación de los resultados de algunas operaciones experimentales, efectuadas en el sentido indicado por el «Laboratorio de investigación de materiales de construcción», del Instituto Lewis de Chicago. En ella se acentuó la relación entre el contenido de agua y la resistencia a la compresión del hormigón, en una vasta escala de consistencias, y se llamó la atención sobre el efecto pernicioso del empleo de una cantidad excesiva de agua. Los ensayos hechos en los estudios sobre el efecto del tamaño y clase de agregado han demostrado que la única razón del por qué se obtiene hormigón de mayor resistencia y duración empleando un agregado bien graduado, es que éste puede mezclarse con menos agua que un agregado de clase deficiente. Si no se hace esto, no se saca ningún provecho especial del empleo de un agregado grueso, bien graduado. La discusión que sigue demuestra que se puede sacar la misma conclusión acerca de una mezcla de hormigón rica comparada con una pobre. Es decir que si las mezclas de hormigón ricas son más resistentes que las pobres, es porque las primeras pueden mezclarse con una cantidad relativamente menor de agua.

En tanto que el efecto pernicioso del exceso de agua es manifiesto, los ensayos hechos en el Laboratorio demuestran que el verdadero papel fundamental que ejerce el agua en las mezclas de hormigón ha sido pasado por alto completamente en las discusiones anteriores de este asunto. La relación a que nos referimos fué establecida de una serie de

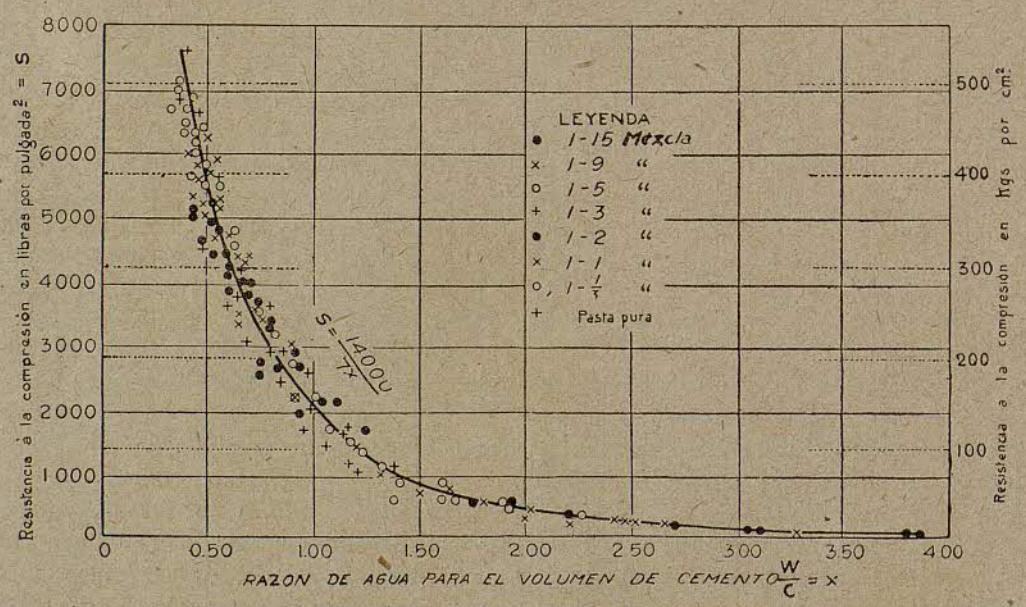
ensayos a la compresión hechos con unos 1,600 cilindros de hormigón de 6 × 12 pulgadas, (152 × 305 m/m.), integrados de la siguiente manera.

Mezcla Cemento-agregado	Alcance de tamaños de los agregados	Consistencia
1 : 15	Desde — hasta alcanzar el tamiz.	Se ensayaron varias consistencias diferentes para cada mezcla y agregado.
1 : 9		
1 : 5	o — de malla n.° 14	
1 : 3	o — » » » 4	
1 : 2	o — » » de 3/4 pul.	
1 : 1	o — » » » 1 1/2 »	
1 : 1/2	o — » » » 2 »	
Pasta pura		

Las mezclas empleadas abarcaban un gran alcance, como asimismo la graduación del agregado y de la consistencia. Los agregados consistieron de dos tamaños de arena y mezclas de arena y grava graduados para los tamaños que hemos indicado. La mezcla está expresada en términos de volúmenes de cemento seco y agregado, sin tener en cuenta la graduación, por ejemplo, cuando decimos una mezcla de 1 : 5 está hecha de 1 pie cúbico (1 saco) de cemento y 5 pies cúbicos de agregado tal como se empleaba, lo mismo tratándose de una mezcla fina o granulada, de hormigón.

Estas series facilitan una valiosa información sobre el efecto de la alteración de la cantidad de cemento, el tamaño del agregado y la cantidad de agua.

Puede estudiarse el efecto de muchas combinaciones diferentes de estas variables. Una serie de relaciones indican el efecto de la cantidad de cemento usando agregados de diferente tamaño y graduación; otra serie de relaciones hace ver el efecto de cantidades diferentes de agua, variando tanto la mezcla como el tamaño del agregado. En todos los casos los ensayos ponen de relieve las indicaciones de la primera y segunda serie y hacen resaltar la relación verdadera entre la resistencia y los materiales constituyentes del hormigón. En la figura adjunta se puede ver la relación entre la resistencia a la compresión y la proporción de agua de los ensayos de veintiocho días.



Mezclas ricas y pobres presentan una sorprendente analogía en las variaciones de la resistencia siguiendo las variaciones de la razón del agua al cemento

El contenido de agua del hormigón ha sido expresado como una razón del volumen del agua al volumen del cemento, considerando que el cemento pesa 94 libras por pie cúbico, es decir, una densidad de 1,506. En cada mezcla se empleó cemento de diferentes marcas, pero no se hizo distinción entre agregados de tamaños o de consistencias diferentes.

Trazando de esta manera la curva representativa de la resistencia a la compresión frente a la razón del agua al cemento, se obtiene una curva suave, debida al promedio de los puntos de las diferentes mezclas. Se omitieron los valores de los hormigones secos. Si los utilizáramos obtendríamos una serie de curvas que estarían dibujadas entre la que hay trazada y los ejes coordenados.

Se apercibe desde luego que el tamaño y la gra-

duación del agregado y la cantidad de cemento ya no son de importancia alguna, excepto por lo que estos factores influyen en la cantidad de agua requerida para producir un hormigón manejable. Esto nos da una concepción enteramente nueva de la fundición de los materiales constituyentes que entran en una mezcla de hormigón y se trata del principio fundamental más importante descubierto en nuestros estudios del hormigón.

La ecuación de la curva tiene la forma de

$$S = \frac{A}{B^x} \quad (1)$$

siendo S la resistencia de compresión del hormigón y x la razón del volumen de agua correspondiente al volumen de cemento de la mezcla; A y B son constantes cuyos valores dependen de la calidad del cemento usado, la edad del hormigón y las condiciones de conservación.

La ecuación expresa la ley de resistencia del hormigón en tanto que se refiere solamente a la proporción de los materiales. Se ve que para materiales de hormigón determinados, la resistencia depende de un solo factor: la razón del agua al cemento. Se han propuesto ya varias ecuaciones para determinar *a priori* la resistencia de un hormigón, las cuales contienen términos que tienen en cuenta factores tales como la cantidad de cemento, proporciones de agregados fino y granulado, los vacíos o huecos en el agregado; pero todas omitieron el único factor que tiene verdadera importancia: el agua.

La fórmula arriba indicada rige mientras que el hormigón no sea demasiado seco para la resistencia máxima y el agregado no sea demasiado grueso para una cantidad de cemento dada; es decir, siempre que se trata de una mezcla manejable.

Para las circunstancias de estos ensayos la ecuación (1) se transforma en

$$S = \frac{14{,}000}{7^x}$$

Otros ensayos hechos en este Laboratorio han demostrado que la naturaleza del agregado influye poco, con tal de que sea limpio y no sea de deficiente estructura. Se deberá tener en cuenta la absorción de agua por el agregado al hacer la comparación entre las diferentes clases del material añadido.

En ciertos casos una mezcla 1 : 9 es tan fuerte como otra de 1 : 2, dependiendo ello únicamente del contenido de agua. La resistencia del hormigón responde a las modificaciones en la cantidad de agua, sin que influyan las razones que hayan determinado dichas modificaciones.

De lo que antecede no deberá sacarse la conclusión de que estos ensayos indican, que pueda substituirse sin límite alguno una mezcla rica por una de pobre. Estamos siempre limitados por la necesidad de usar el agua en cantidad suficiente para asegurar una mezcla manejable. Lo mismo ocurre en la graduación del material añadido. La obtención de una mezcla manejable será quien dicte en todos los casos la cantidad mínima de agua que puede emplearse. Resalta, pues, la importancia del factor de manejabilidad (o facilidad de aplicación) en el hormigón.

La razón por qué una mezcla rica da una resistencia mayor que una mezcla pobre, es que con aquélla puede producirse un hormigón manejable con una cantidad de agua cuya relación para con el cemento es menor. Si se emplea un exceso de agua, se echa a perder el cemento. Mezclas ricas y agregados granulados, bien graduados, son necesarias como siempre; pero ahora conocemos exactamente como estos factores afectan la resistencia del hormigón.

Podrá hacerse un empleo práctico de la curva al evaluar la resistencia relativa de un hormigón en el cual el contenido de agua, por una razón u otra, es diferente de otro cuya resistencia nos es conocida. Por ejemplo, un hormigón mezclado con 7'5 galones de agua (1 pie cúbico) por saco de cemento (de 1 pie cúbico también), se tuvo en cuenta la absorción de agua por el agregado, de modo que x = 1'00 y dió en esta serie de ensayos una resistencia de 2,100 libras por pulgada cuadrada.

Para x = 0'80 (6 galones de agua por saco de cemento) tenemos 3,000 libras por pulgada cuadrada: Para x = 0'75 (5'6 galones) 3,300 libras por pulgada cuadrada. El hormigón en una mezcla de 1 : 4 (igual que la habitual mezcla 1 : 2 : 3 con una arena gruesa) debiera mezclarse con 5 $^1/_2$ a 6 galones de agua por saco de cemento.

Salta a la vista la importancia de un método de mezclar, manejar, colocar y acabar el hormigón, que permita que el trabajo se haga con un mínimo de agua. Parece que ya se puede atribuir al empleo de demasiada agua los defectos de elaboración del hormigón.

Estos estudios llevaron a muchas conclusiones importantes referentes al valor de tópicos, tales como los ensayos del cemento, los ensayos de hormigón conteniendo diversas proporciones de cemento, etc. Los ensayos de cemento, desde este punto de vista, han durado varias semanas.

UTILIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES DE CALIDAD INFERIOR EN LA INDUSTRIA

(CONTINUACIÓN)

A continuación va una columna con pulverización de agua para lavar el gas de casi todo el resto del polvo que pueda arrastrar, y también empiezan a separarse algunas sales amoniacales, que son arrastradas por el agua junto con los lodos retenidos, recogiéndose en una cisterna inferior, de ladrillo, de donde se extraen después.

El gas pasa luego a un haz de tubos con refrigeración de agua y a otro aparato lavador situado en la parte inferior, en donde borbotando, se desprende de todas las partículas pulverulentas que no habían quedado retenidas todavía, y entra luego en un grupo de dos columnas con pulverización vesicular de agua, pasando sucesivamente por cada una de ellas, cuya temperatura, suficientemente baja, permite la condensación completa de los vapores amoniacales.

En cada una de estas dos columnas se inyecta, por medio de una bomba, el volumen mínimo de agua necesario; de este modo se logra obtener que las aguas amoniacales tengan ya la mayor concentración posible cuando se sometan a la destilación. Para economizar el agua, un mecanismo de bomba dirige el agua de refrigeración del haz tubular a la envolvente del gasógeno, pasando después a un recalentador de las aguas amoniacales, situado antes del aparato de destilación.

El conjunto de la instalación está dispuesto para que funcione con la mayor economía de agua y con la recuperación más completa posible de las calorías contenidas en los distintos líquidos.

Destilación de la turba

La destilación, propiamente dicha, de la turba no se verifica en gasógenos, sino en retortas como las de la destilación de la hulla.

En nuestra opinión, las retortas deberían preferirse verticales, dispuestas de tal modo que aseguren a la operación una marcha lenta, continua y progresiva, con derivaciones a diversas alturas para retirar los subproductos separados por las distintas temperaturas de la destilación.

Con esta disposición se facilita y aun puede ahorrarse, para algunos subproductos, una operación de segundo fraccionamiento, indispensable para otros.

Método Guardarassi y Gouilliard (figuras, 3, 4 y 5. — Aunque no poseemos datos concretos sobre el funcionamiento del aparato representado, creemos que su descripción resultará interesante por tratarse de una realidad industrial y, por tanto, se presta — mejor que cualquier dispositivo esquemático — a hacer claramente comprensible la aplicación de nuestra teoría.

El aparato de que tratamos (figuras 3, 4 y 5) se compone esencialmente de cuatro retortas T_1, T_2, T_3, T_4, superpuestas en sentido vertical y provistas respectivamente en su parte superior de toberas para la salida de gases y vapores t_1, t_2, t_3, t_4.

La carga se efectúa por una tolva superior A, provista de doble obturador d d para evitar las entradas de aire.

La forma de las retortas y su enchufe respectivo están calculados para que la materia efectúe una revolución completa sobre sí misma, describiendo una hélice, en su descenso, con objeto de que no se obstruya parcialmente el paso, lo que haría muy irregular el descenso, aunque su volumen quede reducido a $^1/_3$.

Las toberas de salida, t_1, t_2, t_3, t_4, inclinadas sobre la horizontal de unos 25°, están protegidas contra la obturación en su punto de arranque por el mismo dispositivo de enchufe de las retortas, que permite se forme una pequeña cámara de desprendimiento de los gases encima de la materia acumulada en cada retorta.

La retorta inferior en la cual la temperatura alcanza 1,000° está revestida de refractario.

El cok formado en ella cae a una cuba de agua U, en que se apaga, de donde se le extrae mecánicamente por medio de un tornillo sin fin P. El vapor producido por la extinción del cok asciende por la retorta T_4, y el tubo t_5, en comunicación con un baño de ácido sulfúrico, recoge el nitrógeno que se desprende del cok.

El hogar, propiamente dicho, lo constituye una parrilla Z, inclinada a 45°, colocada sobre un cenicero Z' de gran capacidad, que no se abre más que una sola vez cada día, para que la marcha sea lo más uniforme posible; el hogar se alimenta por la tolva Y.

(Concluirá)