

APLICACIONES DE LA ORGANIZACION CIENTIFICA EN LA CONSTRUCCION

Por FRANCISCO BARCELO,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor un interesante ejemplo de la aplicación de la organización científica del trabajo, que tan óptimos resultados dió en la industria, a la construcción, y pone claramente de manifiesto las ventajas obtenidas.

I. La productividad en la construcción.

El progreso técnico y la organización científica del trabajo (1) han sido la base del formidable aumento de la productividad acaecido en los últimos cien años. Se define este término, hoy tan usual, como el cociente de la cantidad de productos fabricados por el número de horas de trabajo empleadas.

Descuella, como ejemplo de altos incrementos de la productividad en este período, la operación de siega de un área de trigo:

En 1800 se tardaba una hora con una hoz.

En 1925 se tardaba cuarenta segundos con una segadora-agavilladora mecánica.

Hasta 1800, para obtener un quintal de trigo trillado se necesitaban tres horas; hoy bastan diez minutos. Por ello, el quintal de trigo que en 1800 equivalía a 20 veces el jornal del peón, ha podido bajar, en los Estados Unidos, al mismo orden de magnitud que dicho salario; o dicho en otras palabras, el poder de compra del jornal del peón, expresado en trigo, ha pasado de 1 a 20.

Como término medio, podemos decir que el obrero americano produce cinco veces más mercancías en 1944 que en 1870, y con ello ha aumentado en una proporción semejante el nivel medio de vida y el poder adquisitivo de las masas.

Ante esta optimista perspectiva, hemos de reconocer imparcialmente que el aumento de productividad conseguido en la Construcción ha sido mucho menor que en la mayor parte de las otras industrias. Si realizásemos una clasificación de las industrias en orden a los progresos en productividad realizados, veríamos a la Construcción clasificada en los últimos lugares; aunque en ciertos aspectos, como la perforación de túneles o el movimiento de tierras, el progreso ha sido magnífico y, en general, parece iniciarse una saludable evolución en muchos aspectos.

El ejemplo más palpable de escaso progreso en

nuestra industria es el de la edificación; la construcción de una casa cuesta hoy día casi las mismas horas de trabajo que hace cien años. Un albañil coloca actualmente unos 500 ladrillos-día, rendimiento que ya se lograba hace un siglo. En la industria del automóvil se ha conseguido, desde su creación, un 92 por 100 de ahorro en mano de obra; en cambio, el pintor emplea hoy el mismo tiempo que hace cien años en pintar una pared.

Las principales causas de este mediocre progreso son:

1.º Variedad. Las Empresas de construcción, en contraposición con la mayor parte de las industrias, ejecutan obras variables en género e importancia, en lugares diferentes y en espacios relativamente cortos de tiempo. Esto constituye evidentemente una dificultad, pero no una imposibilidad de aplicar los principios de la organización científica.

2.º Escasa mecanización. Una estadística francesa referente a la potencia instalada en diferentes industrias por cada 100 obreros, servirá como comprobación de este aserto.

Metalurgia	650 CV.
Minas	500 »
Industria química	300 »
Canteras y obras públicas	150 »
Edificación	30 »

Este hecho es todavía más acusado en España, puesto que la mecanización es menos elevada que en Francia. Si llamamos 100 a la relación del valor de la maquinaria instalada en una obra española con respecto al coste de la obra ejecutada, en Francia este índice sería, aproximadamente, 250, y en Estados Unidos, 1 700 (1).

3.º Inestabilidad de la mano de obra. La figura 1.ª se ha obtenido (2) con datos referentes a cuarenta meses de trabajo en el salto Moncabril, y da

(1) Datos deducidos de un informe de la Comisión francesa de productividad en E.E. UU.

(2) Del artículo "Incentivos del trabajo en la construcción", por Emilio Cuevas, aparecido en *Racionalización*, julio 1952.

(1) La denominación "organización científica" es la que se ha impuesto en el mundo, desde Taylor, aunque parece más adecuada la denominación "organización racional" o "racionalización del trabajo".

una clara idea de la reducida permanencia del personal.

4.º Falta de formación profesional adecuada de la mano de obra y, en especial, de los mandos subalternos.

5.º Falta de adaptación a los métodos modernos de organización del trabajo. Es más difícil introducir estos métodos en las industrias clásicas que en las de reciente creación: ejemplo de ello lo ofrece la industria del automóvil.

establecidos para, en caso necesario, tomar las oportunas medidas.

Análisis. — El estudio de las condiciones y sistemas de ejecución, durante el curso de una obra, nos permitirá mejorar los procedimientos empleados y conseguir importantes economías. A su vez, ello nos procura un mejor conocimiento de los tiempos de ejecución, que se reflejará en una mayor exactitud en nuestras futuras previsiones.

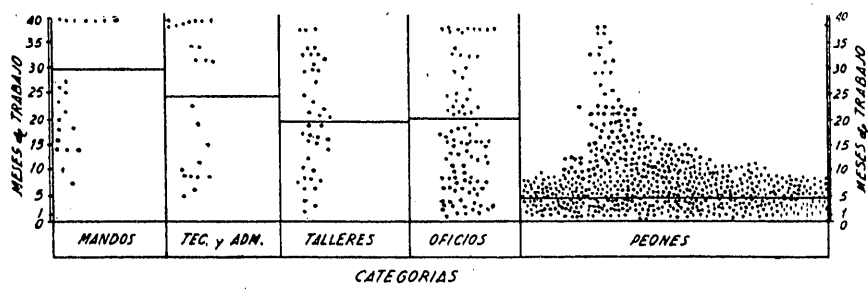


Figura 1.ª

El empleo de nuevos materiales, la normalización de elementos y conjuntos, la prefabricación e industrialización, la utilización intensiva de maquinaria adecuada, la selección y formación profesional y la introducción de los métodos de la organización científica del trabajo son, en síntesis, los medios aplicables para incrementar la productividad en la Construcción.

Pero en el presente artículo nos vamos a limitar a tratar de las aplicaciones de la organización científica a la Construcción, con ejemplos concretos extraídos de la realidad.

II. La organización científica del trabajo.

- La organización de una obra requiere tres fases:
- la preparación del trabajo o planificación;
 - el control o inspección;
 - el análisis.

Preparación del trabajo. — Previamente a la ejecución, debe prepararse un programa lo más detallado posible de la obra a ejecutar, previsión de mano de obra, materiales, máquinas, dinero, etc. Esta previsión debe basarse en un proyecto completo, cosa que no siempre sucede, pues, en muchos casos, hay que comenzar las obras con anteproyectos muy someros.

Los datos para efectuar esta previsión los suministra la experiencia de la Empresa conseguida a través de análisis sistemáticos de las diferentes operaciones que se ejecutan en una obra

El control o inspección. — Permite conocer en cada momento si se cumplen las previsiones y planes

El análisis de una operación implica, ante todo, el conocimiento de los tiempos de ejecución, base primordial de un sistema de organización. El procedimiento más preciso de medir el tiempo de ejecución es mediante cronometrajes sistemáticos. Ello ofrece un grado mayor de precisión que el simple método de controlar el tiempo global de duración de un trabajo, anotando simplemente el principio y el fin, sin entrar en detalles, con lo cual no pueden apreciarse los defectos del sistema de ejecución.

En muchos dominios de la industria, en los cuales el cronometraje ha dado ya todos sus frutos, se ha recurrido al estudio de los micromovimientos (empleo del cine e incluso de la célula fotoeléctrica), que representa una aproximación de segundo orden en la serie que conduce a las altas productividades.

Otro procedimiento que hoy día comienza a usarse, trata de descomponer cualquier tarea en movimientos elementales, cuya duración ha sido obtenida previamente y de una vez para todas, y proceder después, en cada caso particular, para la medición de una operación compleja por integración de todas las operaciones elementales que la componen, sin necesidad de cronometraje previo. Claro está que falta demostrar que el repertorio de operaciones elementales es finito y que el orden no influye sobre la velocidad. Se obtendrían así los elementos simples del mundo del trabajo, como hace tiempo se demostró la existencia de 100 cuerpos simples en el mundo de la Química. Los americanos, autores del sistema, lo denominan *Methods-Time-Measurement* (M.T.M.).

En el campo de la Construcción, los cronometrajes y estudios de tiempos apenas se han empleado, a pesar de las ventajas que ha proporcionado su in-

roducción en la industria, lo cual debía haber incitado a los constructores a recurrir a este método.

III. Estudio de tiempos.

La medición del tiempo se realiza, preferentemente, con cronómetros de graduación decimal, en los que cada división corresponde a una diezmilésima de hora; ello reporta ventajas en el método operatorio.

Pero la cantidad de actividad desarrollada por un obrero depende no sólo del tiempo empleado, sino también de la velocidad con que se ha ejercido esta actividad. La apreciación de esta velocidad implica el establecimiento de un patrón de comparación, de una actividad de referencia. Esta velocidad, que llamaremos normal, tiene, en el sistema Gombert (1), el valor 100, siendo el valor óptimo posible 140.

La cantidad de actividad o el valor del trabajo elemental desarrollado es:

$$C = \frac{V}{V_n} (1 + K) t;$$

en donde:

V es la velocidad desarrollada.

V_n , la normal igual a 100.

K , un coeficiente de reposo que depende de la clase del trabajo.

t , el tiempo, cronometrado, que dura dicho trabajo elemental.

La suma de valores de cada elemento constituye la cantidad total de trabajo considerado

El coeficiente K varía, normalmente, de 0,07 a 0,24, según normas establecidas de antemano.

La velocidad, V , se mide por apreciación de cronometradores experimentados. A pesar de esta ausencia de rigor científico, el cronometraje da resultados muy satisfactorios. En algunos países, para habitar a los cronometradores a apreciar velocidades, se hacen películas de diversas operaciones realizadas a distintas velocidades.

En la determinación de la actividad de las operaciones elementales de muy corta duración (gestos elementales o micromovimientos), puede obtenerse directamente C , sin necesidad de apreciar la velocidad, sólo en función del tiempo cronometrado, utilizando unas curvas previamente determinadas en el sistema Gombert, basadas en el supuesto de que cada gesto elemental se hace siempre a la misma velocidad.

Este método, lo mismo que el ya citado M.T.M., no tienen hoy todavía aplicación en el campo de la Construcción; además, en el ahorro de tiempo y

esfuerzo tiene mucha más importancia el modo operatorio y la coordinación de operaciones que los gestos elementales en sí, y hasta no haber agotado los resultados del cronometraje de operaciones, no es lógico iniciar el estudio de los micromovimientos.

Modo operatorio.— El cronometrador escribe sucesivamente, sobre la hoja de anotación de tiempos, los empleados en las diversas operaciones elementales que componen el ciclo y la velocidad a que son ejecutados durante una jornada completa, aproximadamente. Después se saca la media de tiempos y velocidades de cada operación del ciclo (más garantías ofrece calcular la media, después de eliminar los tiempos anormales). Se multiplican estos tiempos medios por la velocidad y por el coeficiente de reposo, y así obtenemos tiempos ponderados y reducidos al ritmo normal de trabajo, o, en otras palabras, obtenemos la cantidad de actividad en una unidad que, en el sistema empleado por nosotros, denominamos Gombert-hora (G.-h.).

Resulta de ello que un valor en Gombert-hora representa el tiempo durante el cual un obrero normal ejecuta la tarea correspondiente trabajando a una marcha normal, sin prisa, y tomando el porcentaje de reposo admitido para ese trabajo:

Con los valores de las diversas operaciones elementales se dibuja un gráfico de los tiempos que componen las diversas operaciones. Entonces se estudia el procedimiento para acortar la operación más larga, o sea la que determina la duración del ciclo. Se analizan los tiempos de espera y la sucesión de operaciones para conseguir una mejora del rendimiento.

En síntesis, la labor de reorganización y economía de tiempos y movimientos es, primero, una operación de medición de tiempos, y después, conseguir la coordinación racional de las diversas fases u operaciones.

Factores externos.— No debe olvidarse que la organización debe crear, ante todo, un estado de espíritu en todo el personal; tratar de convencer y no de imponer los nuevos métodos.

Por ello, antes de iniciar un estudio de tiempos, es muy conveniente oír la opinión de los encargados y capataces del tajo, y conseguir su colaboración en la aplicación del sistema. También hay que lograr la adhesión del obrero; para ello, el único sistema eficaz es la demostración práctica y efectiva de las ventajas económicas que le reportará, para lo cual, una parte del ahorro conseguido debe revertir al obrero, en forma de primas, por aumento de producción. Precisamente, como conocemos con exactitud, gracias al cronometraje, los tiempos de ejecución; pueden establecerse racionalmente unas primas adecuadas. Se

(1) Sistema creado por el Ingeniero belga G. Gombert, que es el que hemos adoptado en nuestras aplicaciones.

han ideado muchas fórmulas para calcular primas (Towne, Rowan, Halsey, etc.); pero la mayor parte de ellas adolecen de excesiva complicación y tendencia a la elucubración matemática, cuando, en realidad, la condición principal que deben cumplir es ser sencillas e inteligibles para el obrero.

IV. Aplicación a un caso práctico.

Para llegar a una comprensión perfecta del método, nada mejor que una descripción de una aplicación concreta y real.

De entre las numerosas que hemos realizado, optamos por describir la organización del hormigonado de la galería forzada del Salto Moncabril.

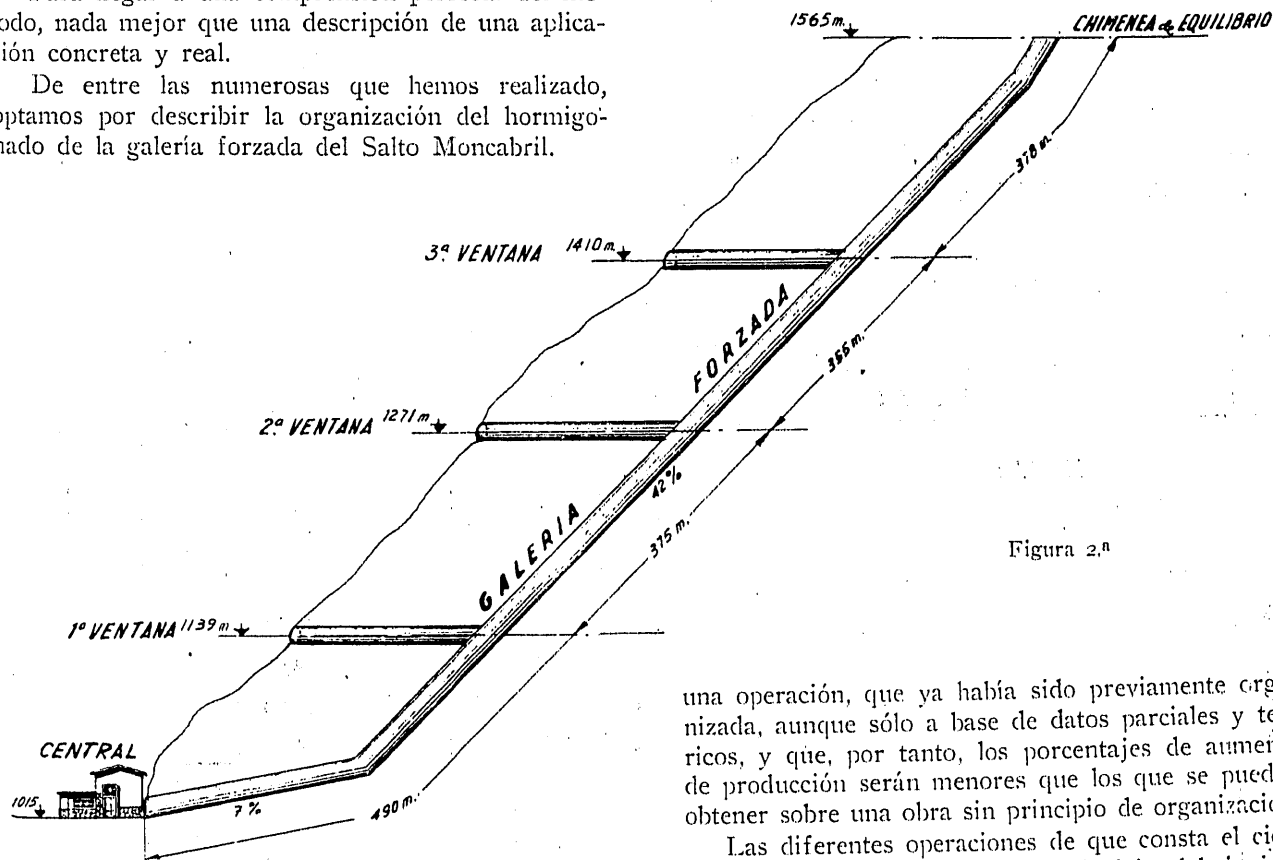


Figura 2.^a

a) *Descripción de la obra.* — Esta galería (fig. 2.^a) conduce el agua desde la chimenea de equilibrio hasta la Central, salvando un desnivel de 551 m., con una longitud de 1 560 y una pendiente del 42 %. En la galería excavada en la roca se introduce una tubería metálica, y el espacio comprendido entre ésta y la roca se rellena de hormigón. La sección de excavación tiene un diámetro de 2,00 m., y la de la tubería, 1,40; quedando, por tanto, un espesor medio de 0,30 m. a rellenar de hormigón.

b) *Forma de ejecutar el trabajo.* — La estación de hormigonado se establece en el exterior de las ventanas de ataque, y el hormigón fabricado se transporta en vagonetas hasta las proximidades del tubo; allí, mediante un Johnny, aparato de hormigonado

neumático, se introduce el hormigón en el estrecho espacio de 30 cm. (mínimo), existente entre el tubo y la roca.

En un análisis previo de la operación, se cronometró el rendimiento del Johnny al aire libre, y con los datos de velocidades de cabrestantes y hornigoneras se hizo una organización previa del trabajo, que fué la que se adoptó para iniciar la obra. Hacemos esta observación para mostrar que se cronometró

una operación, que ya había sido previamente organizada, aunque sólo a base de datos parciales y teóricos, y que, por tanto, los porcentajes de aumento de producción serán menores que los que se puedan obtener sobre una obra sin principio de organización.

Las diferentes operaciones de que consta el ciclo de hormigonado se ejecutan, en principio, del siguiente modo (fig. 3.^a):

1.^a *Fabricación del hormigón.* — Con una hornigonera de 350 litros, perfectamente abastecida de áridos.

2.^a *Transporte horizontal, A.* — Se transporta el hormigón en dos vagonetas de $\frac{1}{2}$ m.³ desde la hornigonera hasta el final de la ventana horizontal. Allí se vierte a otra vagoneta de 1 m.³.

3.^a *Transporte inclinado, B.* — En una vagoneta especial, adaptada a la pendiente, se hace el transporte con cabrestante, por la galería inclinada, hasta el Johnny.

4.^a *Hormigonado neumático.* — Descargado el hormigón sobre chapas, es paleado por dos hombres

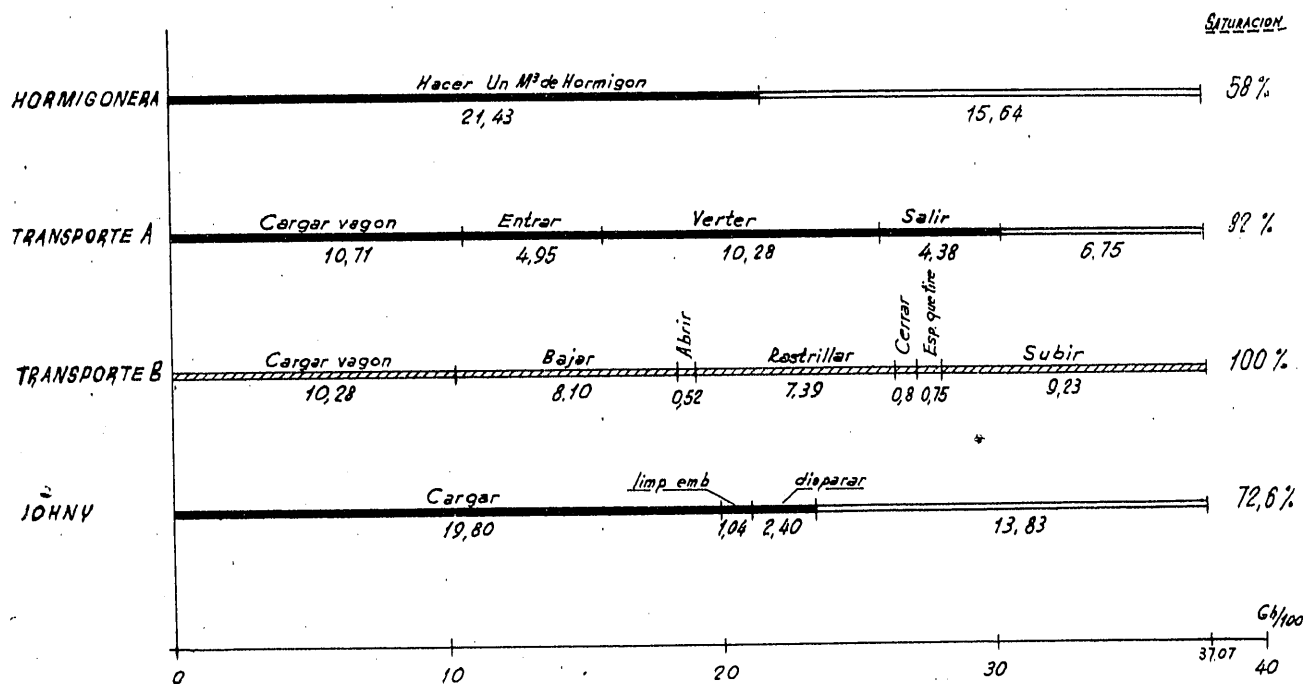


Fig. 5.^a. — Ciclo de un m.³ de hormigón, 37,07 a 300 m. Sistema primitivo.

MODIFICADO

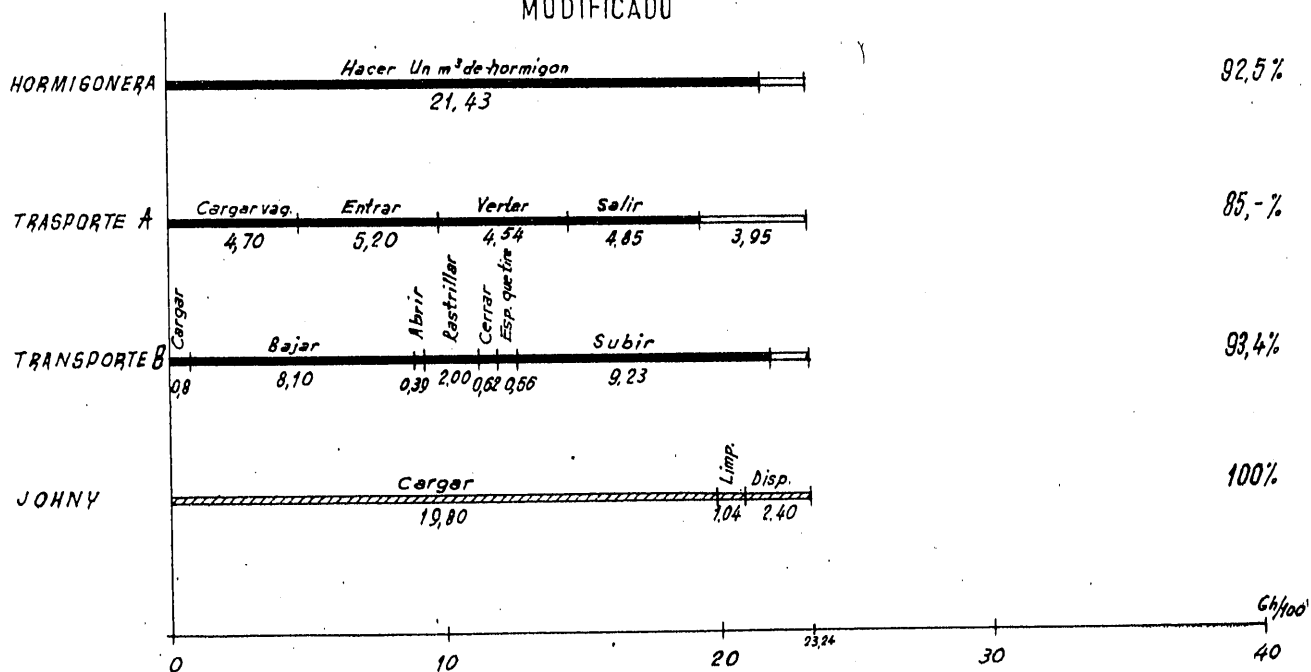


Fig. 6.^a. — Ciclo de un m.³ de hormigón, 23,24.

al Johnny (con capacidad de 250 l.), y por medio de aire comprimido, a 2 ó 3 Kg. de presión. es lanzado, a través de una tubería de 200 mm. de diámetro, hasta el espacio comprendido entre tubo y roca. Entonces se procede al vibrado del hormigón.

c) *Estudio de tiempos.* — Se han cronometrado todas las operaciones que componen el ciclo; primeramente, el cronometrador en la obra anota, sucesivamente, todos los tiempos y velocidades de las diversas operaciones. Después, sobre la hoja de elementos (fig. 4.^a), se anota solamente la media de los tiempos (t_0) y velocidades (v_0) de cada operación. Si multiplicamos estos dos factores por el coeficiente de reposo (1,14), obtenemos la cantidad de actividad con que se ejecuta cada operación; multiplicando estas cantidades por la frecuencia con que se repite cada operación en el ciclo, obtenemos la duración de cada una de ellas, expresada en G.-h. Con estos tiempos se dibuja un gráfico (fig. 5.^a). De su examen deducimos que la operación que fija la duración del ciclo es el transporte B.

Por tanto, es ésta la operación que hay que analizar cuidadosamente para conseguir un ahorro de tiempo en su ejecución. Se observa también que, en las otras operaciones, las máquinas y los obreros quedan parados un gran porcentaje del ciclo, por defecto de organización, por lo que hay que tratar de armonizar la duración del tiempo útil de cada operación, llegando a la saturación de hombres y máquinas.

1.º *Análisis del transporte B.* — En cargar el vagón B con el hormigón procedente de los dos vagones A del transporte horizontal, se tarda 10,28 G.-h./100. Si colocamos una tolva de 1 m.³, la operación se ejecutará en 0,8 G.-h./100, ya que, al llegar el vagón B, abriendo la tolva se carga instantáneamente. En la descarga se emplea 7,99 G.-h./100. Efectuando dos pequeñas modificaciones en el vagón, consistentes en aumentar la pendiente del fondo y sustituir un angular de la parte delantera por una junta de goma abatible, se logra que el hormigón deslice más fácilmente. Esto, unido al adiestramiento de los peones en la operación de abrir, vaciar y cerrar, permite reducir la operación a 3,01 G.-h./100.

En la operación de bajar y subir el vagón, realizada con un cabrestante, sólo se conseguiría reducir su duración cambiando esta máquina.

Con las modificaciones introducidas (v. figura 6.^a), se ha reducido el transporte B de 37,07 a 21,70 G.-h./100, de tal forma, que ahora es el transporte A el que determina el ciclo, por lo cual vamos a estudiarlo para conseguir una economía de tiempo.

2.º *Análisis del transporte A.* — El tiempo de la carga de hormigonera a los dos vagones A, se redu-

ce considerablemente colocando bajo la hormigonera una tolva de $\frac{1}{2}$ m.³ y teniendo una tercera vagoneta, que hace también de tolva móvil; así se acorta la duración de esta operación de 10,71 a 4,70 G.-h./100.

La descarga de las vagonetas A se simplifica con la tolva de 1 m.³ antes citada, ya que permite descargar las dos vagonetas A simultáneamente. Con las dos modificaciones citadas, la duración total del transporte A se reduce de 30,32 a 19,29 G.-h./100.

Con estas reducciones en los transportes A y B hemos dibujado el ciclo modificado de 1 m.³ de hormigón colocado (fig. 6.^a). En él, todas las máquinas y obreros se hallan próximos a la saturación, o sea, ocupados el 100 % de la duración del ciclo.

Como ahora determina el ciclo, el Johnny, si quisiéramos reducirlo, tendríamos que acortar la duración del hormigonado neumático; pero la mayor parte de este tiempo se emplea en la carga del recipiente del Johnny, operación que, en nuestro caso, se hace a mano y con actividad 115 por parte de los peones. La única mejora posible sería mecanizar la carga con un elevador, pero dada la poca altura de la galería, ello ofrece grandes dificultades. A su vez, esta reducción obligaría a reducir los tiempos de fabricación de hormigón y de transporte, lo cual requeriría la sustitución de máquinas costosas.

En resumen, vemos que con el ciclo modificado descrito (fig. 6.^a) se consigue un ahorro de tiempo importante con la adopción de medidas y medios elementales, cuyo coste no supera las 6 000 pesetas.

Todas las operaciones de que consta el ciclo son independientes de la distancia al tubo donde se coloca el hormigón, a excepción del transporte B, que es función de esta distancia. En las figuras 7.^a y 8.^a se han dibujado los ciclos primitivos y modificados, en función de la distancia de transporte, cuyo máximo es de 374 m. en el túnel II.

d) *Ventajas conseguidas.*

Duración del ciclo	Primitivo máximo...	40	G.-h./100
	» mínimo ...	30	»
	Modificado	23,40	»
Aumento de producción media		51	%

En realidad, el ahorro de tiempo se refleja en el área rayada de la figura 7.^a.

Producción por hombre y jornada (equipo de 10 hombres):

$$\begin{aligned} \text{Sistema primitivo} &= \frac{800}{35} = 2,28 \text{ m.}^3/\text{hombre y día.} \\ \text{» modificado} &= 3,44 \text{ » » »} \end{aligned}$$

En ambos descontamos un 15 % de disminución de rendimiento por atascos del Johnny, averías de

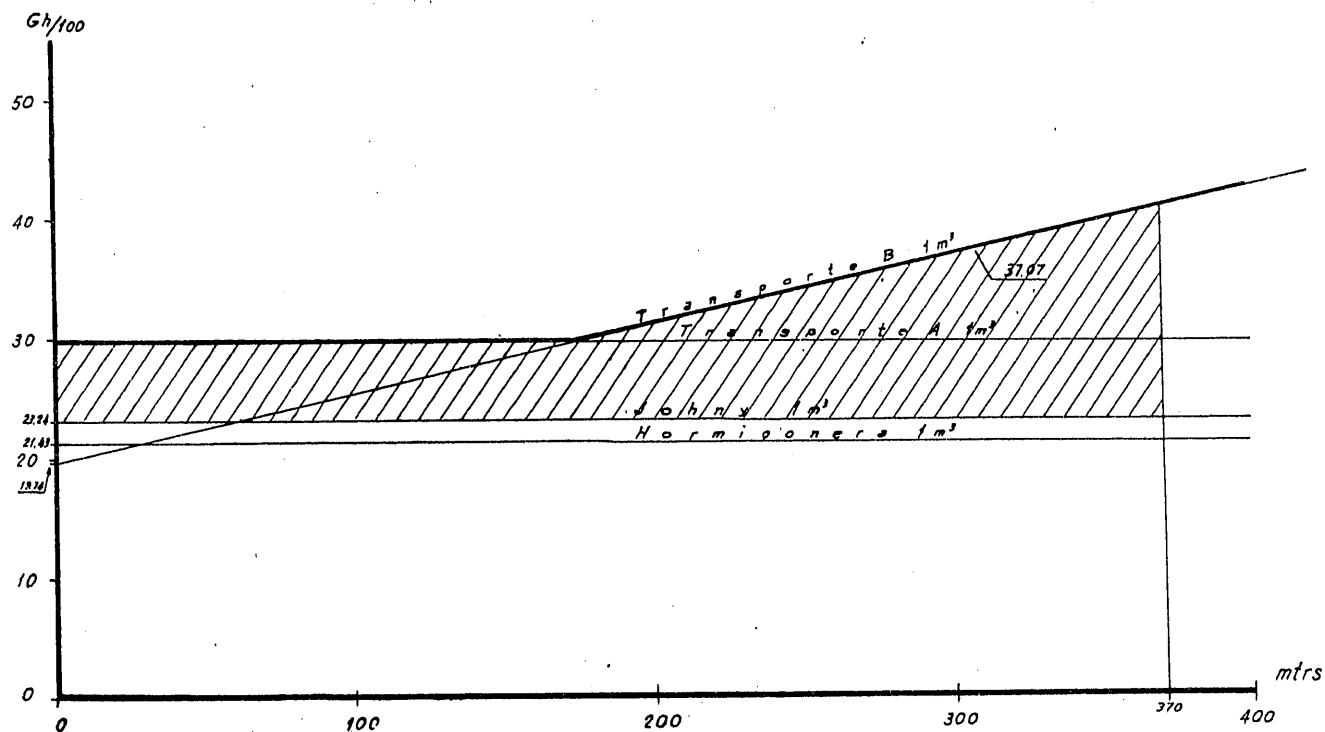


Fig. 7.^a — Ciclo del transporte en función de la distancia. Sistema primitivo.

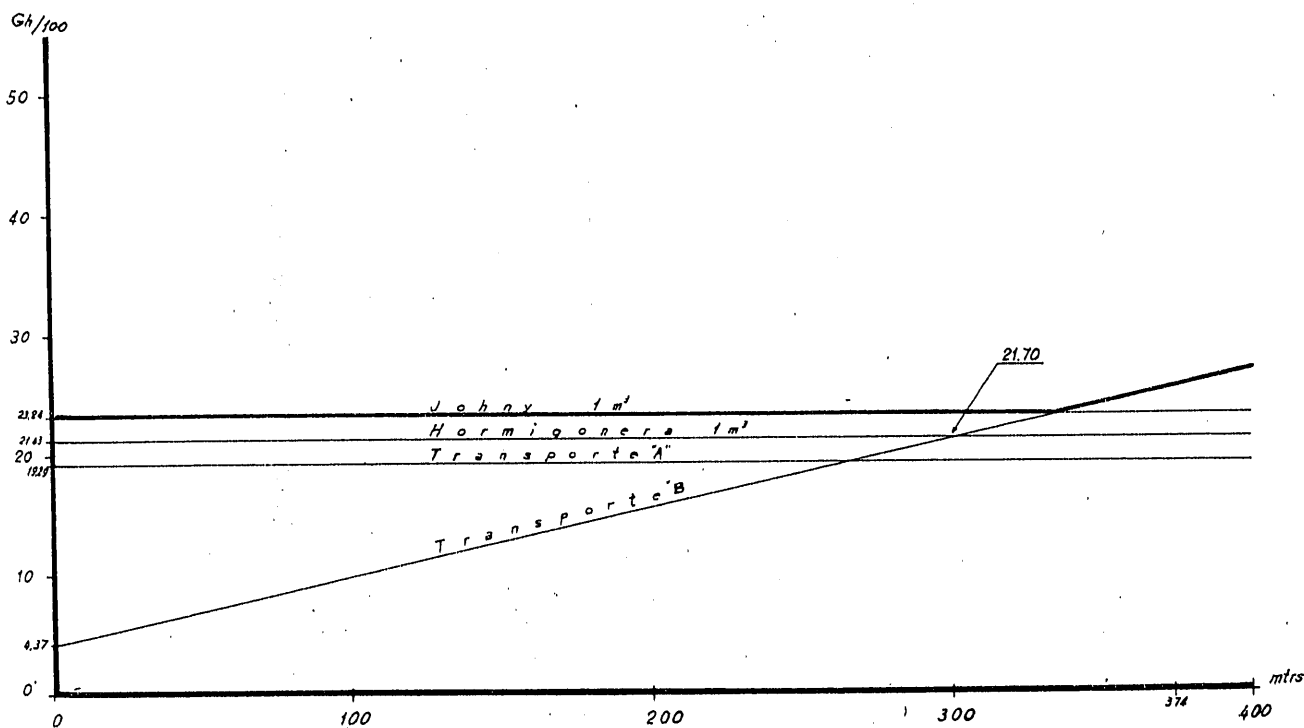


Fig. 8.^a — Ciclo del transporte en función de la distancia. Sistema modificado.

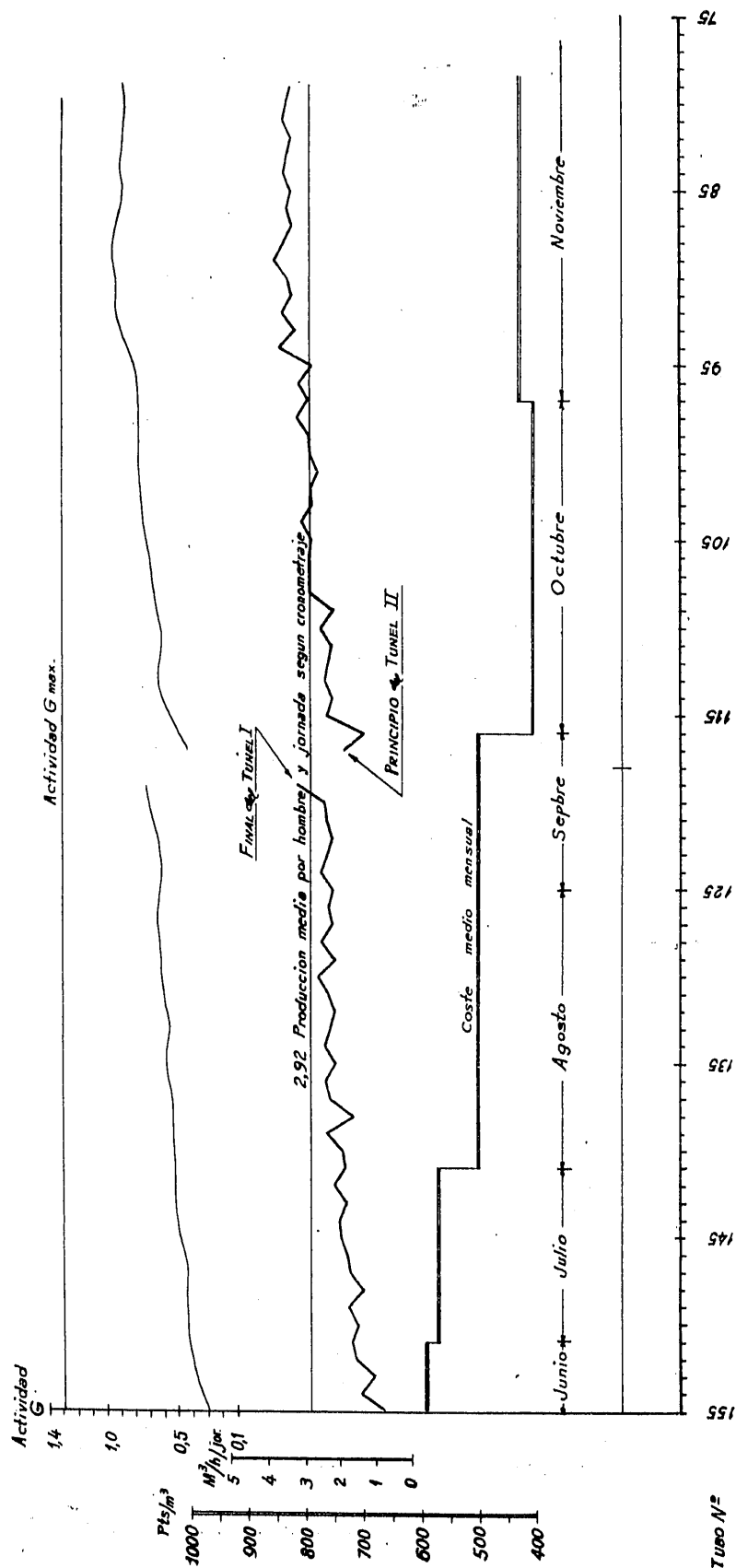


Fig. 9.^a — Producción por hombre y jornada y coste medio mensual en el hormigonado de tubos en la galería.

máquinas, etc., con lo cual obtenemos una producción de:

1,94 m. ³ /hombre y día en el sistema primitivo.
2,92 » » » modificado.

El ahorro de tiempo conseguido se cifra en unas 490 horas, o sea, 61 jornadas sobre el total previsto de 200 días.

En la figura 9.^a se presenta el gráfico de producción diaria, tal como sucedió en la realidad. Vemos el progresivo aumento de rendimiento desde el primer día, con todas sus dificultades, en que sólo se consiguió una producción de 1 m.³/hombre y jornada, hasta el máximo logrado de 4 m.³, habiéndose sobrepasado ampliamente el rendimiento fijado por el cronometraje de 2,92 m.³. Ello se debe a que, estudios de detalle, han permitido suprimir un hombre del equipo y alguna otra mejora, en cuyo detalle no entramos. También se ha dibujado en la figura 9.^a la curva que representa la actividad media del equipo.

A su vez, el coste de ejecución ha descendido de 600 ptas./m.³, el primer mes, hasta 404 (de las cuales, 250 corresponden al coste fijo del cemento). Podemos

calcular que el ahorro conseguido con la aplicación de los métodos de Organización Científica a esta obra es del orden de las 400 000 pesetas, con unos gastos de estudios y mejoras introducidas que no exceden de las 15 000 pesetas.

El conocimiento exacto de los rendimientos posibles, gracias al cronometraje, nos ha permitido calcular unas primas a la producción, perfectamente compatibles con la organización adoptada y sin necesidad de esfuerzos anormales por parte del obrero. En el cálculo de estas primas se ha tenido en cuenta no sólo la cantidad de trabajo desarrollado por cada hombre, sino también su calidad y el ambiente físico. Así se ha conseguido que, a la par que disminuían los costes unitarios del metro cúbico de hormigón colocado, subieran los salarios de los obreros, de tal forma que éstos han ganado como término medio de 2,5 a 3 veces el jornal base reglamentario.

No sería justo terminar este trabajo, fruto de un esfuerzo colectivo, sin unas palabras de agradecimiento para nuestra Dirección, que nos ha señalado el camino, y para todos los que han colaborado en su realización, en especial el Ayudante de Obras Públicas D. Emilio Cuevas y el cronometrador D. Joaquín González.