

RENTABILIDAD DE LOS ENCOFRADOS

Por J. MARTIN PALANCA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Trata el autor de concretar y cifrar conceptos relativos al moderno planteamiento económico de la operación "encofrado", que ha sufrido un cambio radical en los últimos tiempos, bien conocido en su parte externa, visible, pero aún poco estudiado en su fondo.

El coste de la unidad "m.² de superficie encofrada para obras de hormigón", comprendiendo la totalidad de los gastos de materiales, maquinaria y medios auxiliares, así como también los de la mano de obra necesaria para la ejecución de todas las operaciones de desencofrado, movimiento del material hasta su nueva posición, limpieza, eventual reparación, embarnado con desencofrante y reencofrado, es una expresión del tipo siguiente:

$$C_T = \frac{P + A \cdot D}{S_{TE}} + \frac{H \cdot N \cdot J}{S_{MC}}$$

El primer sumando se refiere a materiales, maquinaria y medios auxiliares. El concepto P es la suma de los costes de aquellos elementos que han de perecer en la obra (madera, puntas, alambres, espirales, vainas o pasadores perdidos, desencofrante, etc.), más el de aquellos otros para los cuales es preciso considerar su amortización total aunque no perezcan, pues han sido construidos a la medida de la obra a ejecutar y no es probable que encuentren reutilización posterior (encofrados metálicos especiales para túnel, para vigas prefabricadas, etc.). El producto $A \cdot D$ (A , alquiler diario; D , días de utilización) recoge el importe de los alquileres (reales o contables) de aquellos elementos que no precisan ser totalmente amortizados en la obra, tales como maquinaria (grúas, cabrestantes, tractores), medios auxiliares (andamios tubulares), e incluso una parte, o la totalidad, de un encofrado metálico, cuando por ser de tipo normalizado sea susceptible de reutilización en cualquier otra obra. Como puede verse, la expresión $A \cdot D$ que comentamos, más que produc-

to de dos factores, es una suma de productos binarios. Por último, el denominador S_{TE} es la superficie total de paramentos que va a ser encofrada con el material cuyo coste se expresa en el numerador.

El segundo sumando comprende todo lo relativo a la mano de obra de utilización. Si se trata de un encofrado con manejo conjunto de superficies S_{MC} más o menos grandes, H es la duración en horas del ciclo operatorio, realizado por un grupo de N operarios, cuyo jornal horario medio (comprendiendo cargas y seguros sociales, gastos generales de obra y de empresa) será J . En otro caso, si se tratara de un encofrado de manejo en piezas, desarmando y armando cada vez, S_{MC} sería la superficie total de encofrado maniobrada en jornada laboral de H horas, por un grupo de N operarios, cuyo jornal medio horario fuese J .

Aunque la expresión anterior es válida para toda clase de encofrados (madera, hierro, aluminio, etc.), centraremos nuestro estudio sobre el encofrado metálico de hierro, que en el estado actual de la técnica, y desde un punto de vista exclusivamente económico, cubre la inmensa mayoría de las aplicaciones, con excepciones muy escasas, que son las que siguen:

a) Cuando se traté de obtener la calidad plástica de paramentos que ofrece la madera, utilizando encofrados muy bien construidos, y limitando con gran dureza el número de empleos; como se ve, el imperativo en este caso no es de tipo económico.

b) En paramentos ocultos (trasdós de muros de contención, de bóvedas a cielo abierto, etc.), para los que las exigencias de calidad superficial son razonablemente pequeñas, es rentable

a veces el empleo de encofrados de madera (la generalidad no puede afirmarse, pues cuando el número de utilidades sea bastante grande, no prestándose la madera a soluciones de manejo conjunto, es más que probable que lo que se ahorra en materiales, se gaste con creces en mano de obra de manipulación). En cuanto a los paramentos vistos, la aplicación de cualquier pliego de condiciones (por ejemplo, las normas sobre acabado de superficies del Bureau of Reclamation), limita de tal forma el número de empleos, que la solución madera pasa a ser prohibitivamente cara.

c) Cuando el número de usos sea muy pequeño, a pesar de que el encofrado de madera con exigencias de calidad es caro, resultaría aún más costoso un encofrado metálico especial, a amortizar sobre muy pocas puestas. Si la forma del paramento fuera sencilla, la comparación de precios debería hacerse con un encofrado metálico normalizado, y entonces la madera habría de ceder también su posición ventajosa.

d) Aluminio, para encofrados normalizados, cuya aplicación específica está constituida por las soluciones desarmables, la ligereza de los paneles de aluminio ofrece ventajas para la maniobra manual, que a veces compensará la diferencia en precio de adquisición con el hierro. En cambio, para soluciones de manejo conjunto (mediante carretones, plumas, grúas, etc.), dicha ventaja pierde su importancia casi por completo.

e) Hay otras muchas soluciones: encofrados mixtos de madera y hierro (superficie encofrante de madera, con estructura resistente de hierro; todo de madera, forrando de hierro la superficie encofrante; paneles encofrantes de hierro, con estructura resistente de madera, etc.); superficie encofrante de contrachapado, de madera aglomerada; recintos neumáticos de caucho como encofrados interiores; fábrica o terreno encofrantes; encofrados perdidos de ladrillo, fibrocemento, cartón, madera, etc. Todas ellas se siguen empleando, con más o menos éxito: unas veces con carácter excepcional, para resolver un problema concreto y localizado; en otros casos, como reiteración hasta la saciedad de aplicaciones experimentales; que nunca llegan a resultados concluyentes. De cualquier forma, ninguna de esas soluciones de encofrado tiene hoy importancia industrial.

Puesto que a efectos matemáticos, el caso

de amortización parcial puede asimilarse al de amortización total, podemos simplificar la expresión anterior estableciendo como numerador del primer sumando, una P_c que englobe todos los gastos imputables a materiales, maquinaria y medios auxiliares, cualquiera que sea su clase.

$$P_c = P + A \cdot D$$

En el encofrado metálico (al contrario de lo que suele ocurrir con el de madera), lo conveniente, y hasta cierto punto, lo normal ya hoy es que al estudiar la organización de la obra, en función de plazos y de métodos de trabajo, se decida la clase y cantidad de encofrados a utilizar, como parte integrante del programa de adquisiciones, cantidad que en general no varía a lo largo de la ejecución. Entonces, el denominador S_{TE} (superficie total a encofrar), será igual a la superficie S_{MC} del equipo de encofrado de que se disponga, multiplicada por el número U de usos previstos.

$$S_{TE} = U \cdot S_{MC}$$

En rigor, hay casi siempre una pequeña diferencia entre ambas cantidades, procedente de las superficies de solape, que obligaría a distinguir entre superficies geométrica y útil de un encofrado; pero a efectos de nuestro estudio general, podemos despreocuparnos de ella.

El producto $H \cdot N$ (horas de trabajo de la brigada que se ocupa de la maniobra por número de operarios integrantes de ella), dividido por S_{MC} (superficie del encofrado maniobrado); nos dará una cifra H_0 de tiempo de maniobra por unidad de superficie:

$$H_0 = \frac{H \cdot N}{S_{MC}}$$

Por otra parte, pensando concretamente en encofrados metálicos de solución no muy compleja que no requieran el empleo de maquinaria ni de medios auxiliares, el valor P_c se refiere sólo al coste de adquisición del encofrado, incluyendo eventualmente sus medios propios de movimiento (carretón, plumas, etc.), y al dividir por su superficie encofrante S_{MC} se obtendrá un precio medio por unidad superficial. Ahora bien, en el caso sencillo que estamos considerando en este razonamiento, el encofrado es casi exactamente un trabajo típico de calderería media, incluyendo unos ciertos gastos de proyecto; por tanto, el precio por unidad super-

ficial antes deducido equivaldrá al producto de un peso G_0 por unidad de superficie, multiplicado por el precio T coyuntural, a que se pague en cada lugar y momento un trabajo de calderería media, con su correspondiente proyecto, del tipo hasta cierto punto homogéneo que constituye el encofrado:

$$\frac{P_c}{S_{Mc}} = G_0 \cdot T$$

Cuando formen parte del encofrado metálico, como casi siempre ocurre, trabajos mecánicos de alguna importancia (ruedas, husillos, articulaciones, rodamientos, gatos, etc.), en lugar de aumentar en consecuencia el valor de T consideraremos un "peso equivalente" superior al real; igual habrá que hacer para tomar en consideración la maquinaria y medios auxiliares cuando intervengan en la operación; con lo cual, la transformación indicada consigue una generalidad prácticamente absoluta.

A la vista de todas estas consideraciones, la expresión objeto de nuestro estudio toma la forma siguiente:

$$C_T = \frac{G_0 \cdot T}{U} + H_0 \cdot J = T \left[\frac{G_0}{U} + H_0 \cdot \frac{J}{T} \right]$$

El coeficiente J/T , relación entre el coste de una hora de operario no cualificado ocupado en el manejo de los cofres y el de un kilogramo de trabajo de calderería media del tipo que constituye los encofrados, es una invariante económica coyuntural:

$$K = \frac{J}{T}$$

En el momento presente, en España, su valor es del orden de 1,50 (suponemos, 26 pesetas/kilogramos para trabajo de calderería en encofrados, y 40 ptas. por hora de operario); en países más industrializados, sin datos concretos en que apoyarnos, estimamos pueda llegar a valer hasta 4 o 5; por el contrario; en países de menor desarrollo industrial, la J es más pequeña, a la vez que la T es apreciablemente mayor.

Los valores de G_0 (peso equivalente unitario del encofrado en Kg. por m.²) y de H_0 (tiempo de maniobra del mismo por unidad de superficie en horas por m.²) son características más o menos universales de cada solución de encofrado y guardan una indudable relación entre sí. En efecto, encofrados desarmables, sin elemento de maniobra alguno y con fijaciones muy próximas, pesan (G_0) relativamente poco por

unidad de superficie, pero en cambio, el tiempo unitario (H_0) preciso para desarmar, transportar a brazo, volver a armar y disponer las abundantes fijaciones es considerable. En el otro extremo de la escala, un encofrado de túnel de gran sección transversal, maniobrado conjuntamente mediante carretón por anillos de bastante longitud con elevación y recogida de alas utilizando gatos hidráulicos accionados por electrobomba, desplazándose el carretón por motorreductores eléctricos, etc., realiza la maniobra de una considerable superficie de encofrado en muy pocos minutos, con la intervención de un personal reducidísimo; con un valor de H_0 muy pequeño en consecuencia, aunque para ello haya sido preciso adquirir un equipo cuyo peso unitario equivalente G_0 , es bastante alto. Entre ambas soluciones extremas existen normalmente siempre otras varias intermedias.

No es fácil llegar a cifrar, con cierta exactitud, la relación entre G_0 y H_0 . Algunas de las razones que se oponen a ello son las que siguen:

a) En primer lugar, la heterogeneidad respecto a G_0 y H_0 , impuesta por el carácter universal que tratamos de dar a nuestro estudio que no queremos limitar en modo alguno a una sola aplicación de encofrado (galería, canal, presa, viga prefabricada, etc.) y mucho menos a un cierto tamaño dentro de cada aplicación.

b) Sin embargo, es un hecho que, si bien las superficies encofrantes propiamente dichas pesan prácticamente lo mismo para cualquier clase de aplicación, no ocurre igual ni mucho menos con los elementos resistentes (aun a igualdad de complejidad de solución), pues por razón de su forma presentan diferencias de peso (real o equivalente) bastante considerables de unas aplicaciones a otras.

c) Además, a igualdad de aplicación y a igualdad de complejidad de solución, los valores de G_0 aumentan con las dimensiones por incrementarse, a la vez, luces y sollicitaciones.

d) Por otra parte, puesto que los elementos de maniobra (carretones, etc.), son en general únicos para un cierto equipo; su repercusión sobre el peso equivalente G_0 de cada unidad superficial encofrante a igualdad de solución será tanto menor cuanto más importante sea el equipo. En definitiva, por esta causa y hasta cierto límite, el hormigonado a ritmo rápido es más económico que a pequeña velocidad.

e) En sentido contrario a lo anterior, la ve-

locidad ascensional de hormigonado, al aumentar el empuje del hormigón fresco, aumenta el valor de G_0 ; en este aspecto de la cuestión, la velocidad tiene un precio. (Aunque donde realmente reside el precio de la velocidad es en la reducción del número de usos, consecuencia de la disminución del plazo de ejecución.)

f) La dificultad para establecer unas hipótesis razonables respecto al valor de las presiones del hormigón fresco origina una cierta disparidad de criterios que repercute en la capacidad resistente de las estructuras y, en definitiva, en sus pesos.

g) No puede menospreciarse la influencia de la mano del proyectista, especialmente en la clase de trabajo que nos ocupa, en que tanto abundan los *dilettanti*, cuya inexperiencia se manifiesta, entre otras muchas cosas, en la colocación de hierro donde pesa, pero no resiste.

h) No siempre radica en el peso la dificultad. Determinadas circunstancias, a veces no imputables al encofrado en sí, aumentan de manera apreciable el valor de H_0 . Por ejemplo, en las galerías, la falta de espacio para la maniobra, que no sólo proviene de sus dimensiones transversales, sino también de que sea preciso simultanear el hormigonado con la excavación, de que ambos frentes de trabajo estén más o menos próximos, de la frecuencia y gálibo de los vehículos para extracción de escombros, de las filtraciones de agua y su evacuación, de la forma, velocidad y eficacia de la evacuación de los gases de las voladuras, etc.

i) Errores e imprevisiones de proyecto y deficiencias de ejecución, a veces simplemente de detalle, dificultan la maniobra del encofrado, lo que en definitiva repercute en un aumento de H_0 . Restar tiempo al proyecto y a la construcción, con esa impaciencia tan española con frecuencia, se paga caro a lo largo de la obra.

j) Lamentamos tener que volver aquí otra vez contra los aficionados. Es demasiado optimismo esperar que un grupo proyectista, con poca experiencia específica sobre el problema concreto del encofrado, con muy pocas horas de meditación sobre sus posibles soluciones y con una información bibliográfica tan escasa como existe al respecto, acierte no sólo con la concepción general, sino también con los detalles constructivos más adecuados para el caso. Consecuencia, valores de H_0 más altos de lo preciso y, al final, teniendo en cuenta el importante multiplicador ($S_{TE} = U \cdot S_{MC}$), mucho mayor coste para la obra.

k) Circunstancias especiales representan un importante desequilibrio en las escalas de G_0 y H_0 . Así, en la prefabricación en taller, con abundantes medios mecánicos de elevación y movimiento, son más pequeños los valores de G_0 , necesarios para obtener determinados valores de H_0 ; la diferencia estaría, aproximadamente, representada por el alquiler de los medios de maniobra, cuya amortización no suele cargarse sobre la operación en las instalaciones permanentes a que nos referimos, sino indirectamente en concepto de gasto general.

l) Para hormigones de árido grueso, la resistencia de los encofrados debe ser mayor para poder soportar los fuertes y frecuentes impactos, desequilibrando en consecuencia también la escala de valores considerada.

Etcétera, porque la relación completa de las causas de inexactitud en las relaciones entre G_0 y H_0 sería interminable.

No obstante, amparados en nuestra experiencia de varios años de trabajo sobre el asunto, con todas las reservas propias del caso y confiando en que la amplia generalidad del presente estudio puede consentir elevados márgenes de error, nos atrevemos a proponer el siguiente cuadro de valores.

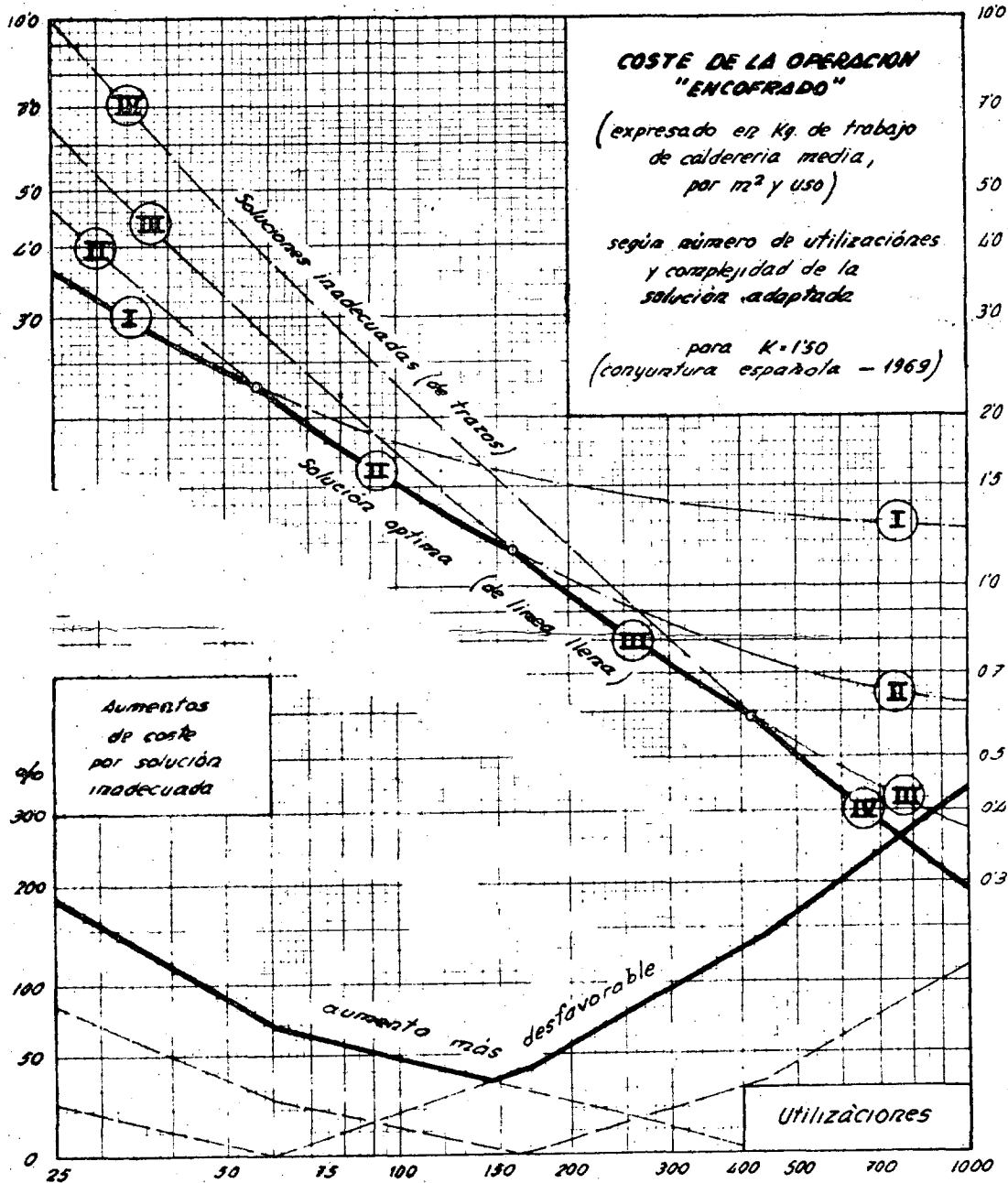
GRADO DE COMPLEJIDAD DEL ENCOFRADO		G_0 Kg./m. ²	H_0 H./m. ²
I	Encofrado metálico cuya maniobra se realiza desarmando y volviendo a armar, trabajando con fijaciones bastantes próximas	60	0,80
II	Encofrado metálico de manejo conjunto en superficies no muy grandes, aumentando apreciablemente la distancia entre fijaciones	100	0,35
III	Encofrado metálico, de manejo conjunto en superficies importantes, con movimiento no muy mecanizado	150	0,15
IV	Encofrado metálico, de manejo conjunto en superficies importantes, con alto grado de mecanización de movimientos	220	0,05

La serie de consideraciones anteriores nos permitirá ahora poner la expresión en estudio de esta forma nueva y definitiva:

$$C_{TT} = \frac{C_T}{T} = \frac{G_0}{U} + K \cdot H_0$$

Que nos dará el coste unitario (C_{TT}) de la operación encofrado (por m^2 y uso), expresado

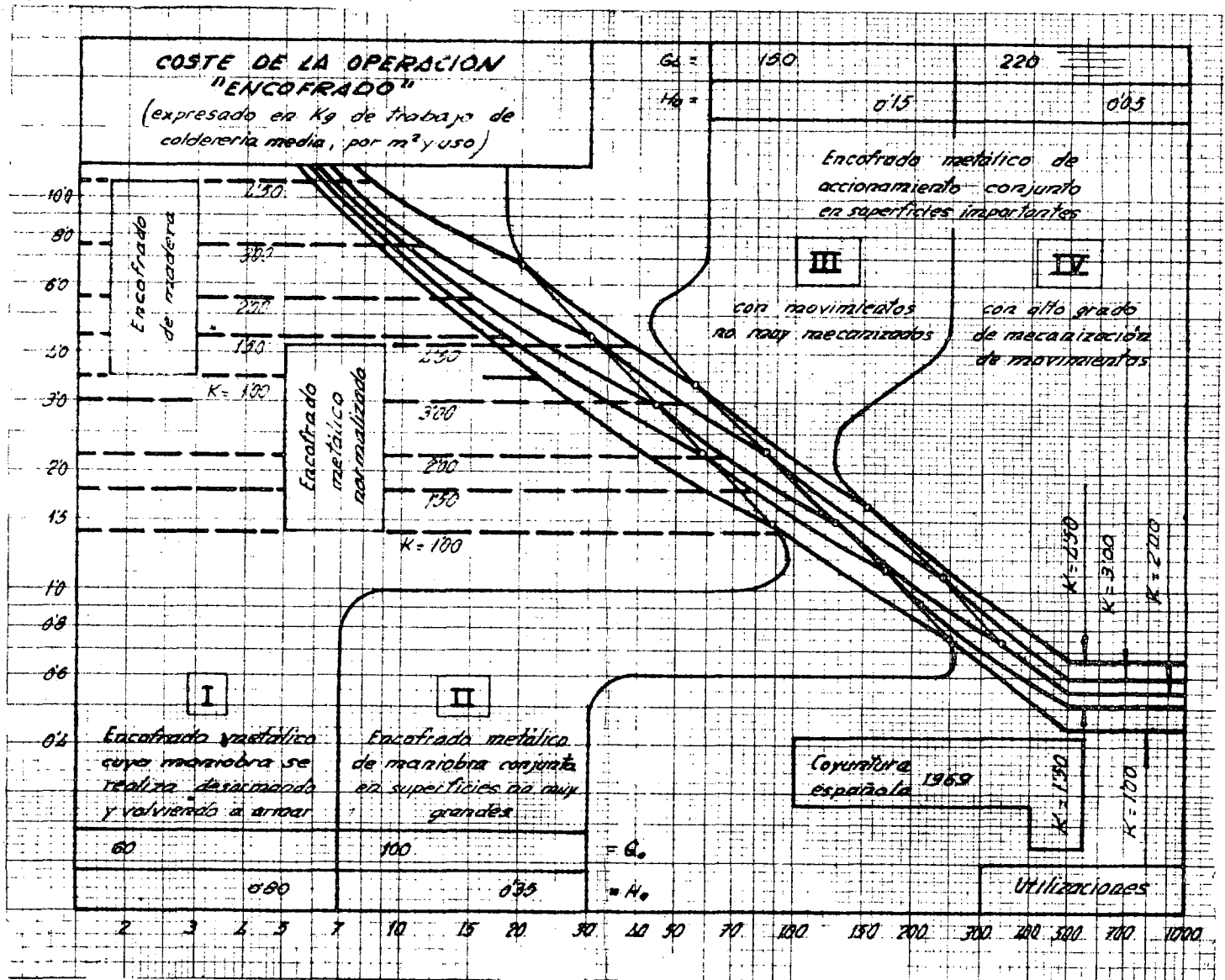
en kilogramos de trabajo de calderería media en función del número U de utilidades del material; tomando en consideración las constantes universales G_0 (peso equivalente unitario del encofrado en Kg. por m^2) y H_0 (tiempo unitario de maniobra del mismo en horas de operario por m^2), características ambas del grado de complejidad del encofrado, cifradas según cuadro anterior, y estimando también la in-



variante económica coyuntural K (relación, en cada lugar y momento, entre el coste de la hora del operario medio, a quien se confía la manobra del encofrado y el precio del kilogramo de trabajo de calderería media en la construcción del mismo).

Como es sabido, el precio de los productos industriales no tiende a subir a lo largo del tiempo (con independencia, naturalmente, de las fluctuaciones del valor de la moneda); si el producto se presta a la producción masiva, su tendencia es claramente a bajar de precio (auto-

móviles, electrodomésticos, etc.); para producciones no muy industrializables, como es la calderería media, el inevitable y paulatino aumento de coste de la mano de obra, queda más o menos compensado con la disminución de precio de las primeras materias (productos de gran serie), y con las mejoras de productividad de la propia industria. Por todo ello, el denominador escogido T es una unidad de valoración mucho más estable que el propio signo monetario, y por tanto, los valores C_{TT} disfrutarán de una cierta vigencia, a través del espacio, y a lo largo del tiempo.



Por lo demás, los razonamientos que siguen, lo mismo podrían haber sido hechos con referencia a pesetas-69, o a cualquier otra moneda, si hubiéramos encontrado alguna objeción grave para referirlos, como lo hemos hecho, a kilogramos de calderería media.

* * *

Representamos, en un primer gráfico, la función anterior para $K = 1,50$ (valor aproximado en España). Cada una de las cuatro parejas de parámetros G_0 y H_0 , da lugar a una rama de hipérbola asintótica al eje de ordenadas, y al correspondiente valor de $K \cdot H_0$. Las cuatro curvas se entrecruzan, y cada una de ellas constituye la solución óptima entre ciertos valores de U . Al pie del mismo gráfico, se representan las curvas de sobrepuestos por el empleo de soluciones inadecuadas (cociente entre las ordenadas de cada rama de hipérbola, y las de aquélla otra que constituye la solución más favorable en cada zona); como puede verse, dichos aumentos de coste pueden llegar a tener bastante importancia porcentual.

En una segunda figura, se representan, para distintos valores de K , las curvas formadas por los segmentos de hipérbola que ofrecen costes más bajos en cada caso. Tienen todas ellas por tanto, un aspecto lobulado, no muy perceptible en el rayado logarítmico doble que se utiliza. Los puntos de intersección de cada hipérbola con la contigua, al variar K , forman unas líneas sensiblemente rectas, que dividen el campo en cuatro zonas, correspondientes a cada uno de los grados de complejidad de encofrado que hemos definido.

Tal como dijimos antes, todas las curvas son teóricamente asintóticas por la derecha al correspondiente valor de $K \cdot H_0$. En la realidad, llega un momento en que el encofrado termina su vida (hemos supuesto $U = 500$), haciéndose forzoso proceder a su renovación. Dicha circunstancia constituye, en general, una discontinuidad en la curva, distinta para cada caso, salvo aquel particular (que adoptamos a efectos de nuestra representación) en que el número de usos es múltiplo del (o suficientemente grande frente al) valor límite establecido, para que podamos mantener constante la ordenada correspondiente al mismo.

Por la izquierda, también en pura teoría, las ramas de hipérbola son asintóticas al eje de

ordenadas. En la práctica, al disminuir el número de usos, llega un momento en que resulta más ventajosa la utilización de un encofrado metálico normalizado de progresión desarmable (si la forma del paramento es sencilla, y cabe la posibilidad de su empleo) o la de un encofrado de madera (cuando no concurra la circunstancia anterior). A efectos de la figura, tan pronto supongan mejora respecto a los costes, las curvas lobuladas darán paso a las líneas representativas de ambas modalidades de encofrado, cuya expresión se deduce en los párrafos siguientes:

a) El encofrado metálico normalizado corresponde al primer escalón de complejidad de la tabla, en lo que respecta a peso y tiempo de maniobra; pero como por su normalización tiene muchas probabilidades de reemplazo, con independencia del número real de utilizaciones en la obra, habremos de considerar su amortización en 100 usos (admitase como justificación de esta cifra, relativamente baja, el maltrato en los transportes, las deficiencias de almacenamiento, y la habitual irresponsabilidad del variado personal que lo maneja). El coste de encofrado con material de este tipo, será, por tanto:

$$C_{II} = 0,60 + 0,80 \cdot K$$

b) El coste de utilización del encofrado de madera está muy estudiado en todos los libros de cálculo de precios y resulta, lógicamente, variable según el elemento a encofrar; tomando un valor medio, algo superior a las cifras correspondientes a un simple muro de paramentos planos y haciendo su preparación en la misma forma que venimos adoptando, en general, llegaremos a una expresión del tipo que sigue:

$$C_{II} = 1,50 + 2,00 \cdot K$$

* * *

Por las razones anteriormente indicadas, no sería lícito otorgar validez cuantitativa absoluta a los resultados obtenidos; lo cual, no obsta para que deban ser consideradas con la mayor atención, las consecuencias cualitativas, que trataremos de resumir en los párrafos siguientes:

a) Por contraposición al tradicional encofrado de madera, el metálico, gracias a sus características de resistencia, indeformabilidad y dura-

ción, se presta a una serie de soluciones de manejo conjunto con complejidad escalonada, cada una de las cuales a expensas, como es lógico, de un mayor coste de adquisición, logra reducir considerablemente los gastos de funcionamiento.

b) Para una cierta coyuntura K , a cada número de utilizaciones, corresponde como solución más rentable, una cierta complejidad del encofrado; tanto mayor complejidad, cuanto mayor sea el número de empleos.

c) Tiene un decidido interés utilizar la solución más adecuada en cada caso, pues tanto el quedarse corto como el pasarse de complejidad, representa innecesarios aumentos de coste para la operación de importante cuantía porcentual.

d) Con las naturales reservas, podemos establecer que en la coyuntura económica actual española ($K = 1,50$), los encofrados supermecanizados (solución IV), no entran todavía en el campo de la rentabilidad; que el límite de competencia con la madera está hacia las 20 utilizaciones; y que la mayor parte de las aplicaciones están encajadas entre las soluciones de complejidad II y III.

e) Al aumentar el parámetro coyuntural K , el conjunto de la curva lobulada, sufre una especie de corrimiento hacia la izquierda; es decir, que para un cierto número de usos, la rentabilidad corresponde a soluciones cada vez más complejas.

f) Para países bastante más industrializados que el nuestro, digamos con $K = 4,50$, los encofrados supermecanizados tienen ya un campo de aplicación importante (por encima de 150 usos), en tanto el límite de competencia con la madera baja hasta 8 empleos.

g) Gracias al escalonamiento de complejidad de soluciones, en tanto la mano de obra sube sensiblemente un 200 por 100, al pasar K de 1,50 a 4,50 (T variaría relativamente poco), el coste de la operación encofrado aumenta en una proporción mucho más pequeña; un 35 por 100 para 200 utilizaciones, un 50 por 100 para 50; el encofrado de madera en las mismas condiciones, subiría un 150 por 100.

h) Puesto que, a lo largo del tiempo, K evoluciona sistemáticamente en aumento, cuando estemos considerando un número de usos próximo a un punto de intersección de ramas de hipérbola, será conveniente inclinarse siempre hacia la solución de mayor complejidad, nunca

al revés, tanto más cuanto mayor sea el plazo de ejecución de la obra.

i) El ábaco de curvas lobuladas puede ser utilizado como orientativo del coste de la operación encofrado, en función del número posible de usos, para aquellos estudios previos que no requieran gran precisión. El encontrar después el tipo de encofrado del grado óptimo de complejidad, no suele presentar grandes dificultades.

j) No parece necesario hacer resaltar la aparente paradoja (en realidad, enfoque simplista de la cuestión), de que el menor coste de la operación encofrado (amortización del material, más mano de obra de manejo), no corresponde casi nunca al menor coste de adquisición. Salvo tal vez algunos casos de encofrados especiales, comprendidos en el escalón mínimo, para pequeño número de usos, en los cuales las diferencias de H_0 influyen relativamente poco, y tampoco tiene importancia que el G_0 no sea el que produzca el mejor cociente coste: vida.

k) La aparición y el desarrollo del encofrado metálico en cada país, van siempre ligados a la evolución del valor de K . En países subdesarrollados, apenas tiene interés económico su empleo, y si a pesar de ello se utiliza a veces, suele ser por otras razones, tales como la escasez de mano de obra especializada para trabajar la madera, la necesidad de obtener fuertes velocidades de ejecución, la exigencia de gran perfección de paramentos, etc. Por el contrario, en países de gran desarrollo industrial, su empleo viene impuesto por poderosas razones económicas.

l) La falta de exactitud que puede atribuirse al presente estudio general, desaparece totalmente cuando se trata de un problema concreto. Es decir, dadas la sección, el número de usos, el valor de K , etc., pueden establecerse como posibles, unas cuantas soluciones de distinta complejidad, y para cada una de ellas, se determinarán sus valores G_0 y H_0 , el primero por medición, y el segundo por estimación. La curva lobulada que obtengamos, nos indicará, con la razonable precisión que es posible lograr en la estimación de H_0 , cuál es la solución óptima para el número de usos considerado, y cuál será el coste de funcionamiento de ella. En obras de importancia, puede resultar económicamente justificado el tiempo que se dedique a esta clase de investigaciones.

m) En lo que antecede, se han considerado dos tipos de encofrado metálico sustancialmente distintos: el especial, que debe ser íntegramente amortizado en la obra, y el normalizado, susceptible de ser reutilizado en otros trabajos, y que, por tanto, sólo requiere una amortización parcial. En la realidad, la cuestión no es tan simplista. En los encofrados especiales se acusa cada vez más la tendencia a utilizar la mayor cantidad posible de elementos normalizados. Aunque con ello se aumenta algo el precio de adquisición, la disminución del coste de la operación es importante, pues para dichos elementos, el denominador U puede ser superior, digamos en cien unidades, al número de empleos previstos para la obra. Esta circunstancia introduce un factor más (el porcentaje que los elementos normalizados representan frente al total de la adquisición) en el cálculo económico que estamos desarrollando; no hemos creído conveniente considerarlo, para no aumentar más su complejidad, pero tampoco parece razonable dejar de mencionar su existencia, que representa la posibilidad de obtener nuevas y sustanciales ventajas en el coste de la operación.

* * *

Según lo que antecede, dada una situación de mercado (K), a cada número (U) de utilidades, corresponde una complejidad de solución de encofrados óptima, y en consecuencia, un coste (C_{TT}) previsible para la operación.

El número de utilidades, en general, constituye dato previo intangible del problema. Es el resultado de dividir el plazo de ejecución, por la duración del ciclo operatorio. Este último se compone de varios sumandos: el más importante con mucho, suele ser el tiempo necesario para poder desencofrar, es decir, para que el hormigón llegue a adquirir la resistencia suficiente que le permita soportar su propio peso; a veces tiene importancia el tiempo que se tarda en hormigonar, dependiente de las capacidades disponibles de fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón; en hormigones armados, hay que organizar la ferralla (sacando el material del taller todo lo preparado que se pueda) para que el tiempo de colocación de armaduras sea relativamente poco importante, lo que no siempre se consigue; un último sumando, es precisamente el propio tiempo de maniobra de los encofrados.

Es decir, que la relación entre la complejidad de los encofrados y el número de utilidades es doble; por una parte, un valor de U predeterminado, condiciona la complejidad; pero hay veces en que la complejidad así obtenida supone un ciclo operatorio de duración mayor que el que ha servido de base para calcular el número de empleos; y se hace preciso resolver la contradicción de alguna forma. Indicaremos algunos casos de este tipo:

a) Supongamos se trata de encofrar un elemento sencillo y pequeño (por ejemplo, los cajeros sin armar de un canal), para el que sea lícito pensar en un ciclo operatorio de veinticuatro horas, de las cuales suponemos que unas dieciocho sean necesarias para endurecimiento del hormigón, y el resto, digamos por partes iguales, para hormigonar, y para mover el encofrado. Si el número de utilidades, determinado en función del plazo de ejecución, nos condujese a soluciones de complejidad baja, las tres horas disponibles para maniobra de los encofrados resultarían muy insuficientes. Se nos abren entonces dos caminos, en el supuesto normal de que el plazo de ejecución sea inalargable; o aumentar el ciclo operatorio a cuarenta y ocho horas (puesto que, salvo los raros casos de trabajo a triple turno, la periodicidad solar condiciona la organización de la obra), en cuyo caso se reduce a la mitad el número de usos, y en consecuencia, habrá que adquirir doble cantidad de encofrados; o bien, aumentar la complejidad de la solución, para que un sistema de maniobra conjunta permita hacer el movimiento en las tres horas disponibles al efecto. Ni que decir tiene, que en la inmensa mayoría de los casos, es preferible esta segunda solución, aunque su precio unitario (no el global) sea mayor que el de la primera. No hemos hablado de una tercera solución, parcial por lo menos, constituida por el empleo de acelerantes de fraguado; en general, no se gana todo el tiempo preciso para resolver el problema y, además, se encarece apreciablemente el coste del hormigón; parece preferible reservar esta posibilidad, para salvar las incidencias inevitables de funcionamiento. A veces, se presentan problemas parecidos para conseguir ciclos operatorios de cuarenta y ocho o setenta y dos horas, aunque es bastante menos frecuente.

b) Un caso análogo al anterior es el de grandes elementos prefabricados (vigas, losas,

etcétera), cuando para lograr el ciclo de un elemento por día se utiliza el curado al vapor, que ya de por sí absorbe unas veinte horas. En las cuatro restantes hay que desencofrar, a veces realizar un cierto grado de postesado, retirar el elemento de su bancada, colocar armaduras, reencofrar y hormigonar; no sobra tiempo, no. Como el cumplimiento del ritmo de veinticuatro horas es forzoso, se adoptará la complejidad de encofrados necesaria para conseguirlo, con independencia del número de utilizaciones.

c) Se supone implícitamente, que la organización de obra consigue siempre el pleno empleo del personal encofrador; unas veces, porque el equipo de encofrados es suficientemente amplio para ocupar toda la jornada laboral de la brigada de movimiento; otras, con equipos más reducidos, porque el mismo personal se ocupa sucesivamente de maniobrar encofrados, de hormigonar, e incluso de colocar ferralla; otras con equipos reducidísimos, porque existen otros tajos próximos donde ocupar el tiempo sobrante del personal de la brigada. Si no existieran dichos tajos próximos, o no fuera interesante considerarlos, habría un mínimo rentable de encofrados, condicionado por la capacidad de trabajo diario de la brigada, cuyo mínimo forzaría el número de utilizaciones, obligando a reducir en consecuencia el plazo de ejecución.

d) Ocurre a veces que la unidad "hormigón" sea única, o casi única, en la obra (túneles con calado total previo, canales con poca excavación, presas, etc.). El coste del encofrado es un sumando en general de cierta importancia, aunque sin llegar a ser fundamental, del precio del hormigón. En la medida de su trascendencia puede dejar de ser cierto, en el caso considerado, que la mayor economía de la operación "encofrado" haya de corresponder siempre al mayor número posible de reutilizaciones del material, pues llegaría a darse el caso de que el beneficio fuese absorbido, al tener que mantener unos gastos generales de obra, más o menos fijos, durante mayor número de meses. Planteado así analíticamente el problema, llegaríamos a una expresión análoga a la anterior, multiplicada por un binomio lineal en U , que sería otra rama de hipérbola, pero con asíntota no horizontal, sino inclinada un ángulo positivo, ofreciendo, por tanto, un mínimo en el campo de utilización, cuya abscisa sería el número óptimo de utilizaciones. Aunque, repetimos, el en-

cofrado no suele tener fuerza suficiente por sí sólo para influir sobre las decisiones generales del hormigonado, conviene, sin embargo, no olvidar que un segundo grado de aproximación del problema que nos ocupa, nos llevaría a desconfiar de las excesivas reutilizaciones.

* * *

En la época que nos ha tocado vivir, la técnica evoluciona tan rápidamente, que a veces no da tiempo siquiera para llegar a formarse una idea clara de cada situación. Aún no hace muchos años (concretamente, veinticinco en la Europa occidental del Plan Marshall, diez en la España de los planes de desarrollo); que la cuestión "encofrado" apenas ocupaba la atención del personal director de obra, y mucho menos del directivo de empresa. Era lógico, pues con la madera resulta difícil concebir algo mejor que un encofrado de complejidad mínima, para un número de usos muy corto. Tampoco se sentía la necesidad de otra cosa, pues con los jornales bajos de la época, la solución era rentable. En estas condiciones, todo quedaba reducido a un simple problema de proporcionalidad, entre encofrados y personal empleado al efecto, y hubiera sido inútil dedicarle mayor atención.

Al aumentar el nivel salarial, buscando una reducción de costes, se pensó simplemente en sustituir el encofrado de madera por otro que, aunque fuese más caro de adquisición, si soportaba mayor número de usos, diese cifras de amortización menores. Lógicamente se llegó al hierro, y conforme se iba trabajando con él, cada vez se perfilaba más la idea de que las mismas características que le daban mayor duración, le permitirían realizar grandes unidades de movimiento conjunto, verdaderas máquinas de encofrar, con las cuales se obtendrían nuevas economías de mano de obra, esta vez en el capítulo del manejo, pero mucho más importantes que las de simple amortización del material, que habían constituido el primer objetivo.

El mérito no es privativo del hierro. A iguales resultados se habría llegado (o se llegará en el porvenir), con cualquier otro material, metálico o no, que reúna las condiciones indispensables de resistencia, indeformabilidad, consecuente duración y relativa economía.

El cambio ha supuesto, por tanto, mucho más que una simple sustitución de materiales,

como tantas veces ocurre. Al introducir en el problema, por lo menos dos variables nuevas (el número de usos y la complejidad de soluciones), su complicación ha aumentado de forma considerable, dejando muy lejos aquella etapa de la simple regla de tres. Como contrapartida, sus ventajas han sido imprevisibles, espectaculares: en reducción de costes, en aumento de productividad, en disminución de plazos, en calidad de formas y superficies, en adecuación a métodos y condiciones de trabajo muy distintos, etc. La operación encofrado (en su triple aspecto de proyecto, construcción y utilización), ha dejado de ser pura artesanía, para convertirse en un proceso industrial (la utilización inclusive), y con ello queda preparada para afron-

tar, día a día, la cambiante (por evolutiva) situación económica.

En el orden social de las cosas, la complicación del problema ha rebasado las facultades resolutorias del jefe de la obra, para entrar en el programa de la sección de "métodos", a las órdenes directas de la gerencia de la empresa, que estudia y decide, simultánea y coordinadamente, respecto a encofrados, y a maquinaria para producción, transporte, puesta en obra y curado de los hormigones.

Esta es hoy la situación, hasta que la técnica, con una nueva cabriola, en dirección y en plazo imprevisibles, obligue a replantear la cuestión sobre otras bases, invalidando todos los razonamientos anteriores.