
# EL COSTO DE PRODUCCIÓN Y SU CONTROL

Por RAFAEL CALVO, Ingeniero Aeronáutico.

Cuando tratamos de ejecutar una obra, uno de los principales problemas que se presentan es el establecimiento de su precio de costo, del que hay que deducir el de contratación, en forma que admita un rendimiento racional a la empresa que lo realiza.

Este problema presenta siempre dificultades, pues dado el gran número de factores difícilmente ponderables que pueden influir, sólo un estudio concienzudo y la comparación con otros precios de obras semejantes, ejecutadas con resultados conocidos, pueden permitir resolverlo satisfactoriamente.

Cuando se trata de obras unitarias, como edificios, obras hidráulicas o terrestres, en general, así como en la construcción mecánica, grandes trasatlánticos, acorazados, etc., un estudio minucioso de la obra, así como de los factores elementales que en ella influyen, como materiales, jornales, índices de vida, valor adquisitivo de la moneda, etc., permiten establecer precios de unidades de obra sobre los que se puede establecer un presupuesto, que puede compararse con los costos de obras semejantes, teniendo en cuenta los factores antes indicados.

En la producción múltiple, en serie, el problema se complica extraordinariamente, pues sobre los factores señalados influyen, y en grado considerable, la especialización tecnológica de la industria y la puesta a punto y adiestramiento en la fabricación.

De todos es sabido la influencia que la especialización tecnológica ejerce sobre el precio de coste, permitiendo, mediante la utilización de máquinas especiales y una organización apropiada de la producción que facilite la fabricación en serie y el encadenamiento de operaciones, reducir la mano de obra; y hoy puede considerarse que no hay industria cuya producción múltiple no se organice bajo tales principios.

En cuanto a la influencia de la puesta a punto y adiestramiento en la fabricación, si bien se le ha concedido siempre importancia, la experiencia actual ha puesto de manifiesto que estábamos muy lejos de ponderar debidamente estos factores.

Datos estadísticos de la producción americana han puesto de manifiesto que las horas de trabajo necesarias para producir un kilo de estructura en los cien primeros aviones es, aproximadamente, cuatro veces y media mayor que las que se precisan en el avión número 5.000, sin más causa que el adiestramiento que supone en el personal y la puesta a punto industrial correspondiente, debida a la repetición de las operaciones de fabricación.

Cualquier mejora en la organización o en los medios productivos dista mucho de poder permitir alcanzar economías semejantes, lo que prueba ampliamente que el factor adiestramiento no debe ser considerado como uno de tantos que influyen en el costo de la producción, sino que hay que darle importancia muy superior y controlar constantemente sus efectos.

En este orden de ideas, carece de sentido el pretender establecer o comparar precios sin considerar las series a que corresponden, ya que, como vemos, un mismo producto puede variar de precio en magnitud insospechada, según corresponda a una u otra cifra de producción, y aun para estudiar un presupuesto se nos hará preciso referirnos *concretamente* a la serie que debe producirse.

Se comprende, en consecuencia, lo necesario que resulta traducir en valores numéricos la influencia de dicho factor, lo cual no sólo nos permitirá tratar de los costos de producción en forma racional, sino que permitirá controlar correctamente la marcha productiva de una industria. De ello nos vamos a ocupar en estas líneas.

*La curva de adiestramiento.*—La observación minuciosa de la influencia que ejerce el adiestramiento en el costo-horario de la producción ha permitido determinar estadísticamente la ley a que se ajusta tal variación. Esta ley establece que "cuando se dobla la cifra de producción, el número de horas invertidas en la fabricación de una unidad se reduce en un porcentaje constante". Tal ley puede expresarse con una función de la forma

$$H = C\,Q^{-m},$$

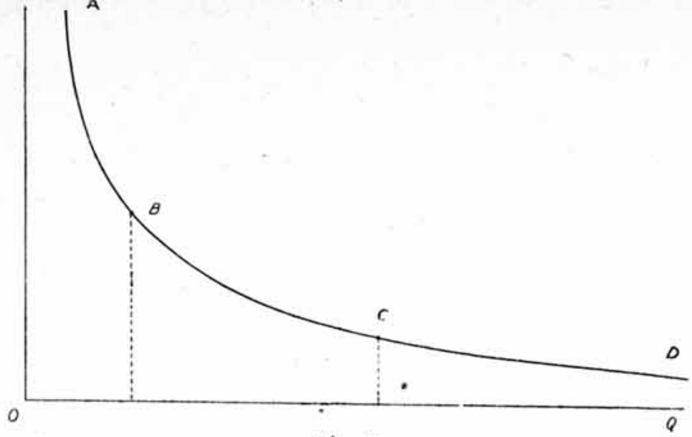


*Fig. 1ª*

en la que

$H$ = número de horas empleadas por unidad.

$Q$ = número de unidades producidas.

$m$ = una constante que depende del % de reducción que experimente $H$ cuando se dobla $Q$.

$C$ = el número de horas que teóricamente corresponden a la primera unidad producida.

La ecuación anterior podrá ser representada por una curva de la forma que indica la figura 1.ª En ella podemos realizar interesantes observaciones.

Por una parte, vemos que costo de producción va disminuyendo conforme aumenta la serie, pero la economía que se obtiene (diferencia entre ordenadas) va siendo también sucesivamente menor, tendiendo hacia cero.

También observamos que en la curva podemos considerar tres zonas: La primera, $A\,B$, en la que es casi vertical, lo que indica que pequeños aumentos de producción determinan grandes variaciones en el costo horario. En la segunda, $B\,C$, el número de horas de producción es razonablemente reducido al incrementar la serie. Finalmente, en la zona $C\,D$, la curva tiende a tomar la horizontalidad; tiende, pues, a estabilizar el costo horario, aunque como no presenta una asíntota paralela al eje de las $X$, sino que es este mismo eje el asintótico, la estabilización completa no puede lograrse más que a costo igual a cero, con una producción infinita.

Esta forma característica de la curva permite sacar las siguientes consecuencias:

1.ª Las primeras unidades de una serie no deben ser tomadas como datos de un programa de producción, ni aun teniendo en cuenta la influencia de la curva de adiestramiento, por los grandes errores a que se hallan sometidas y la gran variación que determina el adiestramiento.

2.ª Series que corresponden a cifras de producción de la segunda zona son poco interesantes para contratar, ya que los pequeños aumentos de producción permiten obtener economías sensibles. En cambio, los datos estadísticos sobre unidades de estas series son los más interesantes y permiten plantear con precisión un programa de producción.

3.ª Las series que corresponden a la tercera zona son las únicas que económicamente deben producirse, y, por tanto, en esta zona habrá que estudiar las cifras de producción a contratar. Como la economía que se obtiene es cada vez menor para una mejor producción, ya que se reduce a un porcentaje constante para un incremento creciente en proporción geométrica de las unidades producidas, aunque no haya verdadera estabilización podrá determinarse una serie mínima en la que ya no sea interesante la economía que pueda alcanzarse en una producción racional.

*Curva del 80 por 100.*—Los datos estadísticos en la producción de aviones han dado lugar a que corrientemente se acepte que el porcentaje de reducción en la curva de adiestramiento es de un 20 por 100, es decir, que cada vez que la producción es doblada, el número de horas invertidas en la construcción de un avión se reduce a un 80 por 100.

Con arreglo a estos datos, la ecuación correspondiente a la curva de adiestramiento permite calcular el valor del exponente $m$.

Así tendremos:

$$0{,}8 = 2^{-m},$$

o sea

$$m = 0{,}321.$$

Por tanto, la ecuación de la curva del 80 por 100 será:

$$\boxed{H = C\,Q^{-0{,}321}}$$

El trazado de esta curva se simplifica extraordinariamente acudiendo a su representación logarítmica. Para ello, si tomamos logarismos, vemos que:

$$\log H = \log C - 0{,}321 \log Q.$$

Esta ecuación es la de una recta inclinada con respecto al eje de las $Q$ el valor $-0{,}321$, y que corta al eje de las $H$ a una distancia del origen igual a $log.\ C$.

Su trazado es muy sencillo en papel doble logarítmico. Basta para ello conocer el valor de $H$ para un valor de $Q$ determinado.

Supongamos, por ejemplo, que datos experimentales estadísticos nos indican que para fabricar el avión número 500 del tipo y modelo que consideremos se precisan 2.730 horas.

Tomando, pues (fig. 2), en papel doblemente logarítmico, sobre la abscisa $Q = 500$, el punto $P$ con el valor $H = 2.730$, tendremos un punto de la recta que corresponde a la representación logarítmica de la curva del 80 por 100 para el tipo y modelo del avión considerado. Por tanto, la recta $A\,B$, inclinada con respecto al eje $Q$ un ángulo cuya tangente sea

$$\text{tang}\ \alpha = 0{,}321,$$

es la línea buscada. Para cada valor de $Q$, número de orden del avión que se produzca, tendremos el valor de $H$, número de horas que requiere su fabricación.

En el origen el punto $A$ nos indica el número de horas teóricamente necesarias para la fabricación del primer avión del tipo considerado, que resulta ser

$$H\ (1) = 20.000 \text{ horas.}$$

Al avión número 100 corresponderán:

$$H\ (100) = 4.540 \text{ horas.}$$

*Curva acumulativa.*—En muchos casos, más interesante que conocer el número de horas necesarias para fabricar un avión determinado de la serie, resulta poder conocer el promedio de horas de fabricación por unidad que corresponde a una serie compuesta de un número de unidades determinado, teniendo en cuenta el principio enunciado de la curva del 80 por 100.

Este valor podemos deducirlo de las fórmulas anteriores teniendo en cuenta que si llamamos $H_a$ = promedio de horas por unidad, tendremos:

$$H_a = \frac{\int H\,d\,Q}{Q} = \frac{\int C\,Q^{-m}\,d\,Q}{Q} = \frac{C}{m+1} \cdot \frac{Q^{-m+1}}{Q} = \frac{C}{1-m}\,Q^{-m}.$$

Esta ecuación vemos que es análoga a la que nos dé los valores unitarios de $H$, sin más diferencia que la del término independiente.

Para el trazado de la curva que nos relaciona los valores de $H_a$ con los de $Q$, acudiremos al mismo expediente que en la curva unitaria, es decir, a la representación logarítmica.

Tomando logaritmos en la ecuación anterior tendremos:

$$\log H_a = \log \frac{C}{1-m} - m \,.\, \log Q.$$

Esta ecuación es también la de una línea recta inclinada con respecto al eje de las $Q$, el valor $-m$, y, por tanto, será paralela a la recta de la ecuación unitaria.

Para trazarla, en la hipótesis de que nos referimos a la curva del 80 por 100, bastará tener en cuenta que la diferencia de ordenar $(H_a - H)$ entre línea acumulativa y la unitaria en su expresión logarítmica, es:

$$\log H - \log H_a = \log C - \log \frac{C}{1-m} = \log (1-m) = \log 0{,}679.$$

Tomaremos, pues, en papel doble logarítmico el valor *log. 0,679*, sobre la ordenada de un punto cualquiera de la línea unitaria, y trazaremos una paralela para la misma, que será la expresión logarítmica de la curva acumulativa del 80 por 100 buscado (fig. 2).

Las líneas unitarias y la acumulativa se unirán arbitrariamente en el origen, ya que para

$$Q = 1, \text{ debe ser } H = H_a.$$

La curva acumulativa nos permite determinar el promedio de horas en la producción de un avión en una serie de 100 aviones; por ejemplo: para el que vemos corresponde

$$H_a = 6.700 \text{ horas},$$

mayor que,

$$H = 4.540 \text{ horas}.$$

que nos daba la curva unitaria como debe ser, ya que cuanto menor sea el número de orden mayor será $H$, y, por tanto, el promedio debe ser superior al unitario.

*Aplicaciones.*—Las curvas unitarias y acumulativas del 80 por 100 nos permiten resolver problemas muy interesantes de la construcción.

En primer lugar, nos revelan que es antieconómico producir ciertas series, pues por su reducido número corresponden a la rama vertical de las curvas y, por tanto, exigen un considerable número de horas de trabajo.

Cuando la fabricación es muy limitada, es decir, pequeña la serie, no puede, pues, extrañarnos el alto precio que cuesta la unidad. Basta examinar la curva de la figu-

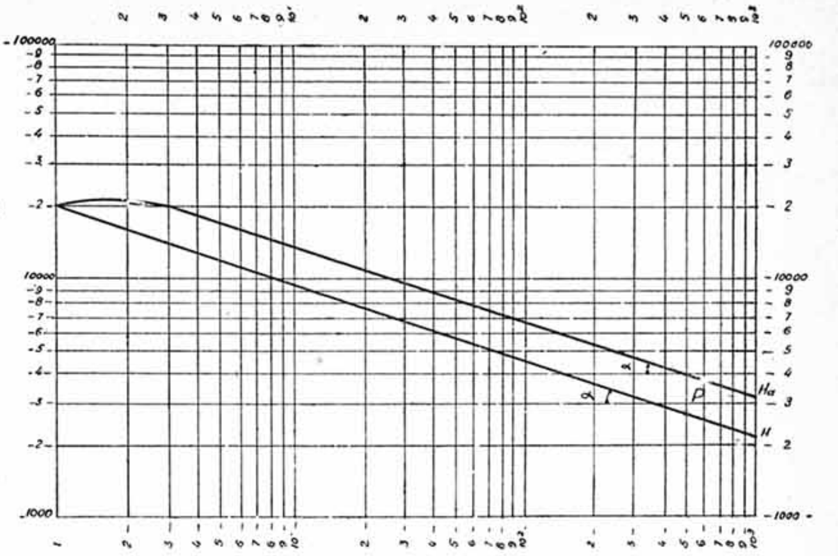


Fig. 2ª

ra 2.ª, y vemos que mientras en una serie de 200 aviones el promedio (en el tipo a que se refiere la curva) cuesta 5.400 horas productivas, si la serie fuese de 1.000 aviones costaría tan solo 3.400 horas productivas.

Dado que la economía debe ir siendo cada vez menor, conforme aumenta la serie, es interesante determinar en qué punto de la curva puede considerarse estabilizada la producción, es decir, para qué serie de aviones no tiene ya sensible ventaja aumentar la cantidad a producir, pues la economía que se obtenga sería pequeña. Claro está que ello sólo es posible cuando le limitamos voluntariamente los saltos o incrementos de producción, pues con saltos ilimitados es natural que la economía siempre podrá ser teóricamente importante, ya que, por definición de la curva, cada vez que doblamos la producción, tenemos una economía del 20 por 100. Asimismo será necesario fijar el límite de reducción que consideramos aceptable, estableciendo que a partir de un tanto por ciento determinado de reducción de valor ya no es interesante aumentar la producción para aumentar la economía.

Supongamos, pues, que partimos de saltos o series parciales de 100 unidades, y nos preguntamos: ¿cuántas series de 100 aviones conviene realizar para alcanzar una estabilización determinada?

Admitamos, por ejemplo, que la estabilización la consideramos aceptable cuando un aumento de una serie parcial nos reduce el costo medio horario en menos de un 5 por 100. Ello quiere decir que, llamando $H_{a1}$ y $H_{a2}$ los promedios horarios para la fabricación de las series $Q_1$ y $Q_2$, tendremos:

$$H_{a2} = 0{,}95\ H_{a1},$$

o sea,

$$\frac{H_{a_2}}{H_{a_1}} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{-m} = 0{,}95; \qquad (1)$$

y como hemos dicho que los incrementos de serie eran de 100 unidades,

$$Q_2 = 100 + Q_1. \qquad (2)$$

Resolviendo, pues, las ecuaciones (1) y (2), nos resulta:

$$Q_1 = 588, \text{ y } Q_2 = 688.$$

Es decir, que a partir de una serie de 688, un aumento de una serie parcial de 100 unidades nos reporta una reducción en el costo horario medio de la serie, inferior al 5 por 100 del alcanzado en la serie de 688 aviones.

Puede, pues, considerarse que, para los valores fijados de series parciales de 100 aviones y estabilización al 5 por 100, una producción de más de 700 aviones carece de interés, desde el punto de vista de la economía de producción.

Si la estabilización la considerásemos al 10 por 100, para series parciales también de 100 aviones, obtendríamos el valor:

$$Q_1 = 256, \text{ y } Q_2 = 356;$$

o sea, que a partir del 356, los aumentos carecen de interés, pues economizan menos del 10 por 100. Las series deberán ser, por lo menos, de 350 a 400 aviones.

Mediante la curva de adiestramiento podemos también estudiar el precio que razonablemente se puede aplicar por avión en una serie a contratar. Bastará para ello conocer el número de horas que exige la fabricación de aviones análogos en las grandes industrias extranjeras, teniendo en cuenta que, por tratarse de industrias de amplia producción, tales horas hay que considerarlas para un régimen de estabilización, que, generalmente, se considera alcanzado en el avión número 1.000. Con el valor de $H_a$ así conocido, podemos fácilmente trazar las curvas logarítmicas unitaria y acumulativas en la forma expuesta, para luego, con ellas, determinar el valor de $H_a$ para la serie que deseemos contratar. Este valor sirve de base para establecer el precio, previa fijación calculada del importe de los materiales y convencional de los gastos generales y beneficio industrial, mediante la fórmula

$$P = M + (1 + t)\ H_a\ p\,.\,(1 + t'),$$

en la que

$M$ = importe de los materiales.
$t$ = tanto por uno de gastos generales.
$H_a$ = número de horas productivas por avión medio de la serie.
$p$ = jornal horario medio.
$t'$ = tanto por uno de beneficio industrial.

Otros muchos problemas relacionados con el precio de coste pueden resolverse mediante el trazado de las correspondientes curvas de adiestramiento en la forma expresada.

*Las unidades WAP.*—Las curvas de adiestramiento, al expresar la variación del costo horario de la producción con el desarrollo de ésta, obliga a modificar el criterio generalmente adoptado para expresar la capacidad productiva y el rendimiento de la producción.

Era frecuente, en efecto, expresar dichos extremos en aviones, o más correctamente en kilogramos de estructura, producidos en un tiempo determinado el primero, y en horas necesarias para producción kilogramos de estructura (H/Kg) el segundo.

Estos valores no podremos ahora considerarlos correctos, ya que variando lo que cuesta producir una unidad, según el número acumulativo que le corresponda, los kilos de estructura tendrán distinta importancia, según se refieran a una unidad o a otra.

El ingeniero americano P. B. Crouse tuvo la ingeniosa idea de proponer medir el peso de los aviones (o en general de los elementos producidos en serie) mediante unas unidades variables, transformando las invariables unidades de pesos normales, libras, kilogramos, toneladas, etc., en unidades de peso corregidas con arreglo a la ley que establece la curva del 80 por 100.

Estas unidades, que denominó WAP (Weighted Airframe Pounds), las calculó estableciendo arbitrariamente que al avión número 1.000 corresponde un valor 1, y calculando los valores correspondientes a los demás números acumulativos por la fórmula

$$Y = x^{-0{,}321}$$

de la ley del 80 por 100. Con los valores obtenidos formó la tabla de factores WAP que se acompaña, que copiamos del *Aero-Digest* de diciembre de 1944.

Para transformar el peso de un avión en peso corregido en WAP., basta multiplicar el peso real por el factor WAP que corresponde a su número acumulativo. Así tendremos que un avión de 10.000 kilogramos, por ejemplo, corresponde a 10.000 × 2,68 = 26.800 WAP, si es el número 100 de la serie de producción, y a 10.000 × × 2,10 = 21.000 WAP si es el 200.

Con tal artificio, al sustituir el peso de estructura de un avión por peso corregido de estructura del mismo WAP., haremos comparables las cifras de producción así como los rendimientos, ya que los independizamos del número acumulativo del avión de que procede.

Un WAP tiene igual importancia desde el punto de vista de la producción, lo mismo que se trate del avión número 100 que del 5.000, ya que costará lo mismo producirlo; lo que sucederá es que siendo los factores WAP

para el 100: $f = 2{,}10$;
para el 5.000: $f = 0{,}60$,

el kilogramo del avión 100 representa 2,10 WAP, mientras que el del 5.000 sólo 0,60.

Si, en vez de querer transformar en WAP el peso del avión aislado, queremos transformar en WAP un avión cualquiera de una serie determinada, multiplicaremos su peso por el factor que corresponde al avión medio de la serie total.

Así, en una serie de 500 aviones de 2.000 kilogramos de peso, el promedio de WAP que corresponde a cualquiera de ellos será:

$$\text{Para } n = 250; \qquad f = 1{,}56;$$

luego

$$2.000 \times 1{,}56 = 3.120 \text{ WAP}$$

será el valor buscado.

Vemos, pues, que en lugar de considerar el número de kilogramos de estructura producidos y horas necesarias para producir un kilogramo de estructura, que son valores que nada indican en concreto de la producción, consideremos "WAP producido" y "número de horas por WAP" como valores que tienen una completa generalidad y de los cuales podemos alcanzar grandes enseñanzas.

Supongamos un sencillo ejemplo:

En una industria de aviones cuyo peso es de 2.000 kilogramos, se han empleado 3.000 horas en producir el avión número 100, y al producir el avión número 200 las horas invertidas han sido 2.600; queremos saber si su marcha es correcta.

Aparentemente, vemos que se han ahorrado horas en la fabricación, y hasta, si consideramos el número de horas para producir un kilogramo de estructura, aparece que mientras en el avión númeor 100 han sido necesarias

$$\frac{3.000}{2.000} = 1{,}50 \text{ h/kg.},$$

en el 200 se han necesitado sólo

$$\frac{2.600}{2.000} = 1{,}3 \text{ h/kg.}$$

Es decir, que para un kilogramo de estructura se ha economizado tiempo y, por tanto, parece que la industria se desenvuelve correctamente.

La aplicación de los factores WAP nos muestra, sin embargo, que no es así.

En efecto, la tabla nos dice que los factores WAP, que corresponden a los aviones en cuestión, son:

Para el avión 100......... 2,10;
para el avión 200......... 1,68.

Así, pues, dado que el peso del avión que se produce es de 2.000 kilogramos, el peso corregido será:

$$\text{Avión 100: } 2{,}10 \times 2.000 = 4.200 \text{ WAP;}$$
$$\text{avión 200: } 1{,}68 \times 2.000 = 3.360 \text{ WAP;}$$

por tanto, tomando "horas por WAP" en lugar de "horas por kilo", como antes, tendremos:

$$\text{Avión 100: } \frac{3.000}{4.200} = 0{,}71 \text{ horas/WAP;}$$

$$\text{avión 200: } \frac{2.600}{3.360} = 0{,}77 \text{ horas/WAP.}$$

Vemos, pues, que el número de "horas por WAP" es inferior en un avión 100 que en el 200, lo que pone de manifiesto que, contrariamente a lo supuesto, no se ha prosperado debidamente en la producción, es decir, que el adiestramiento no ha conducido a la reducción del 80 por 100 previsto, sino a una menor, y, por tanto, el trabajo se conduce por mal camino.

El examen de la marcha de la producción de una industria suele hacerse más que examinando las h/WAP de aviones determinados de la serie, determinando las que corresponden a la producción mensual, con lo que se puede ir reconociendo si la marcha de la industria mejora o no realmente, teniendo en cuenta el efecto dicho de la curva del 80 por 100.

Sea, por ejemplo, una industria que produce un avión de 7.300 kilogramos de peso de estructura. Supongamos que la marcha de la producción en ocho meses sea la que se señala en el cuadro inferior.

Vemos en este ejemplo que así como si tomamos como término de comparación las horas invertidas por kilogramo de estructura, el rendimiento de la industria parece mejorar, pues pasa de 12,7 h/kg. a 9,70 h/kg., lo que parece indicar una buena economía en tiempo, tan pronto aplicamos los factores WAP vemos que la economía obtenida es engañosa, pues las horas por WAP suben de *4,86* a *6,20*, lo que indica que la economía en tiempo no se ajusta a la curva del 80 por 100 debida, ya que aumenta el tiempo necesario para producir un WAP en lugar de mantenerse constante, lo que indicaría una marcha normal de acuerdo con la economía del 80 por 100, o disminuir, lo que revelaría una excelente organización, pues la economía sería superior a la normalmente previsible.

Una de las ventajas de medir la producción en unidades WAP, es que en la producción total de la industria pueden acumularse las horas invertidas en producir diversos modelos de aviones, y que corresponda a número de serie o acumulativos diversos, pues la corrección de los factores WAP compensa la heterogeneidad de los datos iniciales.

Supongamos una industria que produzca dos modelos de avión, ambos de 10.000 kilogramos, por ejemplo, e imaginemos que en el primer modelo se inicia el año por el avión número 6 de la serie, y en el segundo modelo por el número 8.000. Es decir, que elegimos un caso de cambio de un modelo por otro en el momento del tránsito.

En el cuadro de la página siguiente establecemos los valores que corresponden a cada mes en nuestra hipótesis.

En el ejemplo expuesto vemos que la producción de cada modelo se desarrolla convenientemente. En el *A*, aunque las "horas por kilogramos" bajan de 11,84 a 3,56, que parece indica una mejora considerable, las "horas por WAP" expresan sólo una reducción de 3,20 a 2,08, o sea sólo algo

| | *Enero* | *Febrero* | *Marzo* | *Abril* | *Mayo* | *Junio* | *Julio* | *Agosto* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aviones producidos | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 40 | 40 |
| Número de la serie a que corresponden | 55 | 70 | 90 | 115 | 145 | 185 | 225 | 265 |
| Kilogramos producidos (por 1.000) | 73 | 110 | 146 | 183 | 220 | 292 | 292 | 292 |
| Horas invertidas (por 1.000) | 927 | 1.431 | 1.656 | 2 092 | 2.400 | 3.080 | 2.880 | 2.842 |
| Horas por kilogramo | 12,7 | 13 | 11,3 | 11,4 | 10 9 | 10,6 | 9,9 | 9,7 |
| Número del avión medio | 50 | 63 | 80 | 103 | 130 | 165 | 205 | 245 |
| Factor WAP | 2,62 | 2,43 | 2,25 | 2,08 | 1,93 | 1,79 | 1 67 | 1,57 |
| WAP producidos (por 1.000) | 190 | 266 | 328 | 375 | 425 | 523 | 487 | 457 |
| Horas por WAP | 4,86 | 5,30 | 5,5 | 5,55 | 5,65 | 5,85 | 5,90 | 6 20 |

MODELO A

| | *Enero* | *Febrero* | *Marzo* | *Abril* | *Mayo* | *Junio* | *Julio* | *Agosto* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aviones producidos | 2 | 4 | 8 | 15 | 25 | 35 | 55 | 80 |
| Número de la serie a que corresponden | 8 | 12 | 20 | 35 | 60 | 95 | 150 | 230 |
| Kilogramos producidos (por 1.000) | 20 | 40 | 80 | 150 | 250 | 350 | 550 | 800 |
| Horas invertidas (por 1.000) | 273 | 418 | 710 | 1.045 | 1.440 | 1.760 | 2.320 | 2.850 |
| Horas por kilogramo | 11,84 | 10,22 | 8,86 | 6,98 | 5,78 | 5,02 | 4 22 | 3,56 |
| Número del avión medio | 7 | 10 | 16 | 27 | 47 | 77 | 122 | 190 |
| Factor WAP | 3,6 | 4,48 | 3,82 | 3 20 | 2,68 | 2,28 | 1,97 | 1,71 |
| WAP producidos (por 1.000) | 101 | 179 | 306 | 480 | 670 | 800 | 1.082 | 1.365 |
| Horas por WAP | 3,2 | 2,34 | 2,32 | 2,18 | 2,15 | 2,20 | 2,13 | 2,08 |

MODELO B

| | *Enero* | *Febrero* | *Marzo* | *Abril* | *Mayo* | *Junio* | *Julio* | *Agosto* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aviones producidos | 100 | 100 | 100 | 90 | 90 | 75 | 50 | 20 |
| Número de la serie a que corresponden | 8 100 | 8.200 | 8.300 | 8.390 | 8.480 | 8.555 | 8.605 | 8.625 |
| Kilogramos producidos (por 1.000) | 1.000 | 1.000 | 1 000 | 900 | 900 | 750 | 500 | 200 |
| Horas invertidas (por 1.000) | 1.320 | 1.300 | 1.320 | 1.125 | 1.117 | 862 | 625 | 230 |
| Horas por kilogramo | 1,32 | 1,30 | 1,32 | 1,25 | 1,28 | 1,25 | 1,25 | 1,15 |
| Número del avión medio | 8.050 | 8.150 | 8.250 | 8.345 | 8.435 | 8.518 | 8.580 | 8.615 |
| Factor WAP | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| WAP producidos (por 1.000) | 510 | 510 | 510 | 459 | 450 | 375 | 250 | 100 |
| Horas por WAP | 2,59 | 2,55 | 2,59 | 2,46 | 2,47 | 2,30 | 2,50 | 2,30 |

PRODUCCION COMBINADA A Y B

| | *Enero* | *Febrero* | *Marzo* | *Abril* | *Mayo* | *Junio* | *Julio* | *Agosto* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kilogramos producidos (por 1.000) | 1.020 | 1.040 | 1.080 | 1.050 | 1.150 | 1.000 | 850 | 750 |
| Horas invertidas (por 1.000) | 1.593 | 1.718 | 2.030 | 2.170 | 2.557 | 2.622 | 2.945 | 3.080 |
| Horas por kilogramo | 1,56 | 1,64 | 1,88 | 2,06 | 2,23 | 2,62 | 3,45 | 4,12 |
| WAP producidos (por 1.000) | 611 | 689 | 816 | 939 | 1.120 | 1.175 | 1.332 | 1.465 |
| Horas por WAP | 2,60 | 2,50 | 2,52 | 2,32 | 2,29 | 2,24 | 2,21 | 2,10 |

mayor que la que indica la curva del 80 por 100. Esta diferencia es natural, ya que tratándose de los primeros aviones de tal modelo que se producen (del 6 al 230), la reducción por "adiestramiento" debe ser muy elevada.

En el modelo *B*, en cambio, "las horas por kilogramo" bajan sólo de 1,32 a 1,15, pues se trata de una producción ya casi estabilizada (del avión número 8.000 al 8.625). Las "horas por WAP" bajan de 2,59 a 2,30, que expresa una ligera mejora sobre la curva del 80 por 100.

En la producción combinada vemos que mientras las "horas por kilogramo" suben de 1,56 a 4,12, de enero a agosto, las "horas por WAP" bajan de 2,60 a 2,10.

El primer factor nos da, pues, una idea equivocada del rendimiento de la industria, pues parece que la marcha de la producción va en descenso, siendo así que las unidades WAP expresan que mejora aún ligeramente por encima de lo que exige la curva de adiestramiento del 80 por 100. Esto es debido a la influencia variable del nuevo modelo *A* en la producción, pues mientras en enero sólo se producen dos aviones *A*, frente a 100 modelos *B*, en agosto la producción es de 80 de los primeros contra 20 de los segundos; es decir, que así como en enero la producción de aviones *A* representa una pequeña fracción de la producción total, en agosto representa la parte principal.

La producción referida a unidades WAP destruye completamente el error al corregir cada plan de producción con arreglo al adiestramiento que le corresponde.

*Otras aplicaciones.*—Refiriendo el trabajo producido a unidades WAP, se pueden resolver numerosos problemas de índole industrial.

Es un caso frecuente en los cambios de programa de fabricación el tener que cortar series contratadas antes de cumplimentar totalmente los pedidos concertados. En tal caso no es suficiente, como puede comprenderse, indemnizar a la industria de los gastos efectuados para la fabricación de las series parciales que se suspenden, sino que es preciso alterar el precio estipulado para los aviones suministrados, ya que, según hemos visto en las curvas del 80 por 100, el número de horas invertidas en cada unidad varía con el número de éstas producido. La traducción del trabajo a unidades WAP nos permite, con gran sencillez, calcular los nuevos precios.

Supongamos, por ejemplo, que se han contratado 200 aviones de 2.000 kilogramos de peso, al precio total de 400.000 pesetas por unidad. Imaginemos que este precio se descompone en la siguiente forma:

| | Pesetas. |
|---|---|
| Mano de obra directa: | |
| 10.000 horas a 2,50 ptas./h. | 25.000 |
| Gastos generales, 300 %: | |
| S/ mano de obra | 75.000 |
| | 100.000 |
| 15 % beneficio industrial | 15.000 |
| *Total precio producción* | 115.000 |
| Materiales y accesorios | 285.000 |
| *Total precio del avión* | 400.000 |

Supongamos ahora que al entregar el avión número 100 se ordena suspender la serie. Es indudable que no puede ser remunerador pagar los 100 aviones a las 400.000 pesetas contratadas, ya que las 10.000 horas de trabajo por avión corresponden cómo promedio en una serie de 200 aviones; pero si sólo se hacen los 100 primeros, costarán un número superior de horas.

Si reducimos el avión a unidades WAP, tendremos que para la serie de 200 aviones el factor WAP, que corresponde al número 100 (promedio de la serie), es:

Número 100............... 2,10 WAP.

Luego el número de WAP que corresponden en promedio a un avión de 2.000 kilogramos en serie de 200, será:

$$2.000 \times 2,10 = 4.200 \text{ WAP.}$$

Y como se han contratado al precio de 115.000 pesetas, el precio por WAP contratado es de

27,38 ptas./WAP.

Si solamente se entregan 100, cada avión no contiene ya 4.200 WAP, como antes, sino que correspondiendo al número 50 (promedio de la serie de 100) un factor WAP

Número 50 .............. 2,62 WAP,

los 2.000 kilogramos de avión contienen:

$$2.000 \times 2,62 = 5.240 \text{ WAP.}$$

Y por tanto, el precio de fabricación de cada uno de los cien aviones será:

$$5.240 \times 27,38 = 143.750 \text{ pesetas.}$$

Es decir, resumiendo: el nuevo precio se obtiene multiplicando el antiguo por la relación de factores WAP para cada serie:

$$\frac{2,62}{2,10} = 1,25.$$

El precio total resultante del avión será, desde luego,

$$143.750 + 285.000 = 428.750 \text{ pesetas.}$$

resultado de sumar al precio de fabricación el importe de los materiales.

*Unidades AWAP.* — Según hemos visto, las unidades WAP reemplazan ventajosamente a las unidades de peso para el estudio de la producción, dando un peso corregido con arreglo a la curva de adiestramiento. Ahora bien: es indudable que la generalidad de tales unidades queda limitada para una producción homogénea de aviones, que si bien pueden ser de modelos distintos, tienen que corresponder a un mismo tipo. Cuando no es así, cuando una industria produce simultáneamente aviones de caza y bombardeo, por ejemplo, o cuando se trata de comparar dos factorías que producen cada una uno de dichos tipos de avión, las unidades WAP no pueden ya ser equivalentes, pues de igual manera que un kilogramo de estructura de un caza no puede ser equiparado a un kilogramo de estructura de un polimotor, tampoco lo será una unidad WAP de cada estructura. El factor WAP sólo corrige el adiestramiento, pero no la clase de construcción.

En interés a generalizar las ventajas del sistema de unidades WAP para el estudio de la producción, Crouse ha establecido unos coeficientes de corrección que se aplican a los factores WAP, con lo que las nuevas unidades corregidas, AWAP (Adjusted weighted airframe ponnds), permiten ser sumadas en fabricaciones heterogéneas. Los factores establecidos por Crouse son:

| | |
|---|---|
| Bombardeo pesado | 1,00 |
| Bombardeo medio y bimotores | 1,49 |
| Caza y monomotores | 2,36 |
| Transportes pesados y medios | 1,36 |
| Entrenamiento y transformación ligeros | 1,26 |
| Hidros | 1,63 |

Multiplicando por estos factores las unidades WAP obtenidas como hemos expresado anteriormente, obtendremos las unidades AWAP, que pueden ser sumadas y comparadas entre sí cualquiera que sea el tipo, modelo, número de orden de los aviones a que se refieran, teniendo, por tanto, toda la generalidad apetecible.

En forma análoga podrían ser corregidas las unidades AWAP y poder pasar a otras unidades que pudieran permitir comparar procesos distintos de fabricación, utillajes, etcétera.

Mediante la conversión en unidades AWAP de los kilogramos de estructura de un avión, puede acumularse en un solo valor la producción de una industria que produzca aviones de distintos tipos y modelos, y realizar, en forma análoga a como lo hemos expuesto para las unidades WAP, el estudio del rendimiento de la producción de tal industria y las comparaciones con otras en forma enteramente correcta, ya que se opera con valores homogéneos.

---

Las aplicaciones de las unidades WAP y AWAP son numerosísimas y permiten controlar la producción de industrias; estudia precios de coste, aplicados a la determinación de gastos de fabricación y generales, y cuantos problemas económicos plantea el coste de producción, ya que con ellos queda corregida la influencia tan importante del adiestramiento, sin lo cual hemos visto que cualquier consideración sobre el coste de la producción carece de sentido y puede conducir a errores de trascendental importancia.

| Número de avión | Factor WAP |
|---|---|
| 1 | 13:63 |
| 2 | 8.18 |
| 3 | 6.90 |
| 4 | 6.18 |
| 5 (x) | 5.70 |
| 6 | 5.34 |
| 7 | 5.06 |
| 8 | 4.83 |
| 9 | 4.64 |
| 10 | 4.48 |
| 11 | 4.34 |
| 12 | 4.21 |
| 13 | 4.10 |
| 14 | 4.00 |
| 15 | 3.91 |
| 16 | 3.82 |
| 17 | 3.75 |
| 18 | 3.68 |
| 19 | 3.61 |
| 20 | 3.55 |
| 21 | 3.49 |
| 22 | 3.44 |
| 23 | 3.39 |
| 24 | 3.34 |
| 25 | 3.29 |
| 26 | 3.24 |
| 27 | 3.20 |
| 28 | 3.16 |
| 29 | 3.12 |
| 30 | 3.09 |
| 31 | 3.06 |
| 32 | 3.03 |
| 33 | 3.00 |
| 34 | 2.97 |
| 35 | 2.94 |
| 36 | 2.91 |
| 37 | 2.88 |
| 38 | 2.86 |
| 39 | 2.84 |
| 40 | 2.82 |
| 41 | 2.80 |
| 42 | 2.78 |
| 43 | 2.76 |
| 44 | 2.74 |
| 45 | 2.72 |
| 46 | 2.70 |
| 47 | 2.68 |
| 48 | 2.66 |
| 49 | 2.64 |
| 50 | 2.62 |
| 51 | 2.60 |
| 52 | 2.59 |
| 53 | 2.58 |
| 54 | 2.56 |
| 55 | 2.54 |
| 56 | 2.53 |
| 57 | 2.51 |
| 58 | 2.50 |
| 59 | 2.48 |
| 60 | 2.47 |
| 61 | 2.46 |
| 62 | 2.45 |
| 63 | 2.43 |
| 64 | 2.42 |
| 65 | 2.41 |
| 66 | 2.40 |
| 67 | 2.39 |
| 68 | 2.37 |
| 69 | 2.36 |
| 70 | 2.35 |
| 71 | 2.34 |

| Número de avión | | Factor WAP |
|---|---|---|
| 72 | | 2.33 |
| 73 | | 2.32 |
| 74 | | 2.31 |
| 75 | | 2.30 |
| 76 | | 2.29 |
| 77 | | 2.28 |
| 78 | | 2.27 |
| 79 | | 2.26 |
| 80 | | 2.25 |
| 81 | | 2.24 |
| 82 | | 2.23 |
| 83 | | 2.22 |
| 84 | | 2.21 |
| 85 | | 2.21 |
| 86 | | 2.20 |
| 87 | | 2.19 |
| 88 | | 2.18 |
| 89 | | 2.18 |
| 90 | | 2.17 |
| 91 | | 2.16 |
| 92 | | 2.16 |
| 93 | | 2.15 |
| 94 | | 2.14 |
| 95 | | 2.13 |
| 96 | | 2.13 |
| 97 | | 2.12 |
| 98 | | 2.11 |
| 99 | | 2.11 |
| 100 | | 2.10 |
| 101 | | 2.10 |
| 102 | | 2.09 |
| 103 | | 2.08 |
| 104 | | 2.08 |
| 105 | | 2.07 |
| 106 | | 2.06 |
| 107 | | 2.05 |
| 108 | | 2.04 |
| 109 | 110 | 2.03 |
| 111 | 112 | 2.02 |
| 113 | 114 | 2.01 |
| 115 | 116 | 2.00 |
| 117 | 118 | 1.99 |
| 119 | 120 | 1.98 |
| 121 | 122 | 1.97 |
| 123 | 124 | 1.96 |
| 125 | 126 | 1.95 |
| 127 | 128 | 1.94 |
| 129 | 130 | 1.93 |
| 131 | 132 | 1.92 |
| 133 | 134 | 1.91 |
| 135 | 137 | 1.90 |
| 138 | 139 | 1.89 |
| 140 | 141 | 1.88 |
| 142 | 144 | 1.87 |
| 145 | 146 | 1.86 |
| 147 | 148 | 1.85 |
| 149 | 151 | 1.84 |
| 152 | 154 | 1.83 |
| 155 | 156 | 1.82 |
| 157 | 159 | 1.81 |
| 160 | 162 | 1.80 |
| 163 | 165 | 1.79 |
| 166 | 168 | 1.78 |
| 169 | 171 | 1.77 |
| 172 | 174 | 1.76 |
| 175 | 177 | 1.75 |
| 178 | 180 | 1.74 |
| 181 | 183 | 1.73 |
| 184 | 187 | 1.72 |
| 188 | 191 | 1.71 |
| 192 | 195 | 1.70 |
| 196 | 199 | 1.69 |

| Número de avión | | Factor WAP |
|---|---|---|
| 200 | 202 | 1.68 |
| 203 | 205 | 1.67 |
| 206 | 208 | 1.66 |
| 209 | 211 | 1.65 |
| 213 | 216 | 1.64 |
| 217 | 220 | 1.63 |
| 221 | 224 | 1.62 |
| 225 | 229 | 1.61 |
| 230 | 233 | 1.60 |
| 234 | 238 | 1.59 |
| 239 | 243 | 1.58 |
| 244 | 248 | 1.57 |
| 249 | 253 | 1.56 |
| 254 | 258 | 1.55 |
| 259 | 263 | 1.54 |
| 264 | 268 | 1.53 |
| 269 | 274 | 1.52 |
| 275 | 280 | 1.51 |
| 281 | 286 | 1.50 |
| 287 | 293 | 1.49 |
| 294 | 299 | 1.48 |
| 300 | 305 | 1.47 |
| 306 | 311 | 1.46 |
| 312 | 317 | 1.45 |
| 318 | 324 | 1.44 |
| 325 | 332 | 1.43 |
| 333 | 339 | 1.42 |
| 340 | 346 | 1.41 |
| 347 | 355 | 1.40 |
| 356 | 363 | 1.39 |
| 364 | 372 | 1.38 |
| 373 | 380 | 1.37 |
| 381 | 388 | 1.36 |
| 389 | 397 | 1.35 |
| 398 | 407 | 1.34 |
| 408 | 417 | 1.33 |
| 418 | 427 | 1.32 |
| 428 | 437 | 1.31 |
| 438 | 448 | 1.30 |
| 450 | 459 | 1.29 |
| 460 | 470 | 1.28 |
| 471 | 482 | 1.27 |
| 483 | 494 | 1.26 |
| 495 | 506 | 1.25 |
| 507 | 519 | 1.24 |
| 520 | 532 | 1.23 |
| 533 | 546 | 1.22 |
| 547 | 560 | 1.21 |
| 561 | 575 | 1.20 |
| 576 | 590 | 1.19 |
| 591 | 606 | 1.18 |
| 607 | 622 | 1.17 |
| 623 | 639 | 1.16 |
| 640 | 657 | 1.15 |
| 658 | 675 | 1.14 |
| 676 | 694 | 1.13 |
| 695 | 713 | 1.12 |
| 714 | 733 | 1.11 |
| 734 | 754 | 1.10 |
| 755 | 775 | 1.09 |
| 776 | 796 | 1.08 |
| 797 | 820 | 1.07 |
| 821 | 845 | 1.06 |
| 846 | 871 | 1.05 |
| 872 | 897 | 1.04 |
| 898 | 926 | 1.03 |
| 927 | 955 | 1.02 |
| 956 | 986 | 1.01 |
| 987 | 1015 | 1.00 |
| 1016 | 1048 | .99 |
| 1049 | 1082 | .98 |

| Número de avión | | Factor WAP |
|---|---|---|
| 1083 | 1117 | .97 |
| 1118 | 1154 | .96 |
| 1155 | 1192 | .95 |
| 1193 | 1231 | .94 |
| 1232 | 1274 | .93 |
| 1275 | 1318 | .92 |
| 1319 | 1362 | .91 |
| 1363 | 1410 | .90 |
| 1411 | 1460 | .89 |
| 1461 | 1512 | .88 |
| 1513 | 1568 | .87 |
| 1569 | 1625 | .86 |
| 1626 | 1685 | .85 |
| 1686 | 1751 | .84 |
| 1752 | 1820 | .83 |
| 1821 | 1884 | .82 |
| 1885 | 1957 | .81 |
| 1958 | 2038 | .80 |
| 2039 | 2119 | .79 |
| 2120 | 2200 | .78 |
| 2201 | 2295 | .77 |
| 2296 | 2392 | .76 |
| 2393 | 2492 | .75 |
| 2493 | 2595 | .74 |
| 2596 | 2700 | .73 |
| 2701 | 2830 | .72 |
| 2831 | 2962 | .71 |
| 2963 | 3099 | .70 |
| 3100 | 3240 | .69 |
| 3241 | 3387 | .68 |
| 3388 | 3546 | .67 |
| 3547 | 3721 | .66 |
| 3722 | 3911 | .65 |
| 3912 | 4088 | .64 |
| 4089 | 4295 | .63 |
| 4296 | 4517 | .62 |
| 4518 | 4745 | .61 |
| 4746 | 5000 | .60 |
| 5001 | 5260 | .59 |
| 5261 | 5550 | .58 |
| 5551 | 5880 | .57 |
| 5881 | 6230 | .56 |
| 6231 | 6610 | .55 |
| 6611 | 7010 | .54 |
| 7011 | 7430 | .53 |
| 7431 | 7880 | .52 |
| 7881 | 8350 | .51 |
| 8351 | 8670 | .50 |
| 8671 | 8990 | .495 |
| 8991 | 9320 | .490 |
| 9321 | 9650 | .485 |
| 9651 | 9990 | .480 |
| 9991 | 10330 | .475 |
| 10331 | 10680 | .470 |
| 10681 | 11040 | .465 |
| 11041 | 11410 | .460 |
| 11411 | 11790 | .455 |
| 11791 | 12180 | .450 |
| 12181 | 12580 | .445 |
| 12581 | 13000 | .440 |
| 13001 | 13440 | .435 |
| 13441 | 13890 | .430 |
| 13891 | 14370 | .425 |
| 14371 | 14870 | .420 |
| 14871 | 15390 | .415 |
| 15391 | 15950 | .410 |
| 15951 | 16550 | .405 |
| 16551 | 17190 | .400 |
| 17191 | 17860 | .395 |
| 17861 | 18600 | .390 |
| 18601 | 19400 | .385 |
| 19401 | 20300 | .380 |

## TABLA DE FACTORES WAP

**Factores WAP correspondientes a los números acumulativos de aviones que se expresan.**

(x) Cuando el grupo de aviones incluye cualquiera de éstos, se prescinde de las operaciones (1) y (2) y se calcula el factor promedio como sigue: Se toma el factor respectivo para cada avión en el grupo, se agrega el conjunto de éstos y se divide por el número de aviones.

Para convertir el total de kilogramos de estructura de un avión o grupo de aviones en unidades WAP:

(1) Súmense los números acumulativos del primero y último avión del grupo y divídanse por dos para hallar el número que corresponde al avión medio del grupo; (2) determínese en la tabla el factor WAP que corresponde a este número; (3) multiplíquese el valor hallado por la suma del número de kilogramos de estructura que corresponden al total de aviones del grupo. Este producto serán las unidades WAP que corresponden al grupo de aviones.

NOTA.—Si el número de aviones de cualquier grupo fuese mayor que el número acumulativo del primer avión del grupo, debe fraccionarse aquél y calcular separadamente para cada subgrupo las unidades WAP en la forma anteriormente indicada.