

Prueba de resistencia a la compresión. — Hechas seis probetas cúbicas con un mortero igual al de la probeta anterior; mantenidas en una atmósfera húmeda durante siete días; desmoldadas y sumergidas en agua dulce, dieron a los veintiocho días una re-

sistencia a la compresión de treinta y cuatro kg. por centímetro cuadrado.

Yacimiento. — Es muy abundante, presentándose el material en masas granulares, homogéneas y de escasa cohesión.

Eugenio SUÁREZ GALVÁN,
Ingeniero de Caminos.

Consideraciones sobre la fabricación de gravillas

En el número del 15 de enero último de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, mi distinguido compañero Sr. Aguirre ha puesto de relieve el problema de la fabricación de gravillas para la ejecución de riegos asfálticos en las carreteras. Nos permitimos en este artículo dar unas notas complementarias del notable citado, que son el producto de una propia y personal atención a este problema.

* * *

La transformación de un mineral a un tamaño relativamente pequeño se ha obtenido hasta hace poco empíricamente, por cualquier medio; parecía al principio una operación simple que no necesitaba estudio serio; es una equivocación; se trata, por el contrario, de una industria tan delicada como cualquier industria de transformación, a la cual las necesidades crecientes de los firmes asfálticos han dado una importancia considerable.

* * *

Partiremos del supuesto, bien cerca de la realidad, que se riega actualmente en España, aproximadamente "cien mil toneladas" de hidrocarburo (sea alquitrán, betún asfáltico o emulsión), y que se emplea, aproximadamente, 10 litros de gravilla para cubrir un litro de hidrocarburo. La cantidad que se necesita de gravilla será, aproximadamente, de "un millón" de metros cúbicos al año, cifra digna de toda consideración.

Se trata, pues, de una industria importante, cuya técnica merece ser conocida por los interesados, y que vamos a exponer en la presente Memoria.

Designaremos por machaqueo la operación, que consiste en reducir un bloque de roca, del tamaño de 60 mm. o más, y por trituración la operación, que consiste en reducir un material en elementos inferiores a 15 mm.

Trataremos de esta segunda transformación que es la que más preocupa hoy día a los interesados en los riegos bituminosos de carreteras.

FABRICACIÓN DE LA GRAVILLA. — ¿Qué se entiende por gravilla? Una serie de productos de 5 a 15 milímetros de rocas variadas.

Las piedras generalmente empleadas para las "gravillas de carreteras" son:

Los granitos, basaltos, pórfidos, ofitas, cuarcitas, sílex.

Estas piedras se emplean según las regiones, y la adopción de unas u otras depende casi siempre de su proximidad a la obra.

El resultado en las carreteras del empleo de estas diversas calidades es sensiblemente igual, pero no es lo mismo por lo que se refiere a las dificultades varias que se presentan en la fabricación de la "gravilla".

Estas piedras son muy distintas entre sí, y para la trituración se debe tener en cuenta los siguientes caracteres, que si bien son de conocimiento elemental, conviene recordarlos para el mejor orden de este trabajo.

La dureza, la homogeneidad, la compacidad, la resistencia al desgaste y la densidad.

La dureza. — La dureza es la resistencia a la penetración de un cuerpo duro, pero no la resistencia a la rotura, porque una piedra puede ser dura y frágil y romperse a un simple choque (el cristal es duro y frágil).

La homogeneidad. — Ciertas piedras están compuestas de varios elementos ligados entre sí por otros distintos (granito); al disgregarse su trituración es distinta de la de una piedra de un solo grano muy apretado.

La compacidad. — Es un factor de gran importancia; una piedra dura y compacta se tritura peor que otra también dura, pero compuesta de elementos duros unidos por otros menos consistentes.

La resistencia al desgaste. — Consiste en el poder de desgaste de una piedra; una piedra no muy dura ni compacta puede ser muy resistente al desgaste si contiene parte de sílex.

La densidad. — La densidad de la piedra tiene importancia para determinar la producción de los aparatos de trituración y, en general, las piedras de más densidad son las más duras y las más resistentes.

Podemos clasificar la naturaleza de las piedras como sigue:

Piedras duras y compactas . .	"Pórfido-Ofita".
Piedras de poca homogeneidad.	"Granito-Basalto".
Piedras duras y de gran resistencia al desgaste	"Cuarcita-Sílex".
Piedra no dura, pero compacta.	"Caliza".

Antes de pasar a los métodos de fabricación a emplear para obtener económicamente esta "gravilla", debemos tener en cuenta algunas leyes, o mejor teorías que forman la base de los procedimientos industriales de la transformación de las rocas en gravilla.

Cualquiera que sea el aparato empleado para efectuar esta transformación, dos factores primordiales deben considerarse:

1.º La suma de superficies a producir, o sea, la serie de tamaños a producir.

2.º La potencia a disponer para producir la suma de esta superficie.

El primero de estos factores da la noción de relación que existe entre la dimensión inicial de los materiales a tratar y la de los productos a obtener (en una o varias operaciones).

Si estos elementos no tienen empleo en la obra, deben volverse a echar en la máquina. La tendencia

de muchos productores de las trituraciones es de evitar la producción de estos elementos, que consideran perjudiciales al rendimiento; estiman que la supresión de ellos aumentará la producción de productos aprovechables y, en consecuencia, reducen la apertura de salida del aparato; *esto es una gran equivocación.*

En efecto, obrando así, encontramos que la supresión de los elementos gruesos produce:

A) Una disminución sensible de la producción (inevitable si se ha reducido el orificio de salida).

B) Un desgaste más rápido de las piezas de trituración.

C) Un aumento de fuerza motriz.

D) Una mayor cantidad de productos "finos" (desaprovechables), lo que se añade a la disminución de la producción neta.

Como hemos dicho antes, el *rendimiento útil* del aparato es *elevado* cuando la producción *neto* es *mayor* y la fuerza absorbida menor.

En consecuencia, cerrar la salida de la gravilladora para no obtener elementos gruesos, es antieconómico, porque lo que se cree ganar de un lado, se pierde del otro. El mejor método de trituración para que la máquina funcione dentro de las mejores condiciones, es reglarla, para que la proporción de los elementos gruesos sea del 15 por 100, y volver a pasarlos a la "gravilladora".

FORMA DE DISGREGACIÓN DE LOS MINERALES. — Una vez detallado cuanto antecede, ¿cuál es el método mecánico a adoptar para la trituración racional de los materiales? Hay tres:

1.º La disgregación por choque provocando el estrellamiento.

2.º El procedimiento por aplastamiento, y

3.º La combinación de estos dos principios.

La experiencia demuestra que, en la mayoría de los casos, sobre todo tratando materiales de gran resistencia al desgaste, la trituración por aplastamiento da los mejores resultados; permite las condiciones de fabricación más favorables, obteniéndose las conclusiones siguientes:

La fuerza motriz menor.

Un desgaste menos rápido de las piezas de trituración.

Un rendimiento mayor.

MÉTODO DE TRITURACIÓN EN UN TIEMPO. — No vamos a examinar nada más que la trituración en un tiempo, o sea, con una sola "gravilladora".

Hemos visto antes que la transformación en productos menudos de una roca de gran tamaño no se puede hacer económicamente con una sola máquina, sino con varias combinadas entre sí.

Conocido y demostrado por la práctica que el coeficiente de reducción no debe pasar de 4,5, si X es el tamaño de la "gravilla" deseada, el tamaño inicial de los materiales a tratar, deberá ser de X milímetros por 4,5. En caso de necesitar gravilla de 0,15 mm.:

$$15 \times 4,5 = 67,5 \text{ mm.}$$

Hasta hace poco, para la producción de la gravilla se empleaban los bloques corrientes de 200 mm. pasándolos en una machacadora corriente a la cual se había cerrado completamente las mandíbulas y el resultado era que, buscando en una sola operación un

coeficiente de reducción de $\frac{200}{15} = 13,33$, el rendi-

miento era desastroso (aproximadamente 1 m.³ por hora) y el consumo de fuerza y de mandíbulas elevadísimo.

Cuanto más elevado es el coeficiente de reducción tanto más disminuye el rendimiento *económico* de la máquina.

La técnica moderna aconseja el empleo de trituradoras especiales, estudiadas principalmente para la producción económica de la "gravilla".

FACTORES QUE DETERMINAN EL PRECIO DE FABRICACIÓN DE LA GRAVILLA. — Intervienen en el coste de la fabricación de la "gravilla":

1.º El precio de adquisición de la *trituradora de la criba, del "motor" de accionamiento y la instalación.*

2.º La duración de dicha máquina.

3.º El consumo de fuerza motriz.

4.º Los gastos de piezas de desgaste (mandíbulas, etc.).

5.º La mano de obra.

6.º La producción exacta de productos aprovechables.

Adquisición. — Se supone siempre conocido el precio de adquisición e instalación.

Duración o amortización. — La duración de una buena máquina es variable entre cinco y diez años, y esto debe servir de base para determinar la amortización.

Fuerza motriz. — Conocida la fuerza motriz absorbida por la "gravilladora", para determinar la fuerza del motor de accionamiento, se debe tener en cuenta las irregularidades de dureza y tamaño de piedras, y, por lo tanto, prever un motor con reserva de fuerza, sobre todo en los casos de motores "Diesel", que instalados a ciertas alturas sobre el nivel del mar pierden de su rendimiento inicial.

Gastos de piezas de desgaste. — Este capítulo tiene una importancia capital. Muchos contratiempos son debidos a la desestimación de estos gastos.

En efecto, con la misma "gravilladora" se ha observado el desgaste de estas piezas con:

Piedra ofita o pórfido, después de 3 000 m.³, y con piedra cuarcita o canto rodado, después de 350 metros cúbicos.

Calculando el coste de este recambio en 500 pesetas, resulta que la piedra ofita o pórfido ha costado

$$\frac{500}{3000} = 0,166 \text{ ptas. por metro cúbico, y}$$

la piedra cuarcita o canto rodado

$$\frac{500}{350} = 1,428 \text{ ptas.}$$

Mano de obra. — Depende de las regiones y de los medios que se adopten para la alimentación de la "gravilladora" (elevadores de cangilones, cintas transportadoras o manualmente).

Producción. — La producción varía según los sistemas y tamaños de las "gravilladoras", pero hemos visto anteriormente que una ley general influye muchísimo, y es el reglaje de la apertura de salida de la piedra.

Este punto es esencial para la determinación del precio del metro cúbico de gravilla, siendo esta cifra la que, dividida por la suma de todos los gastos, determina el coste.

Damos a continuación un ejemplo del coste del metro cúbico de gravilla, aunque es evidente que con las bases anteriores se obtendrá siempre fácilmente. Para generalizar, supongamos representados por:

P_A = precio de adquisición de la gravilladora, criba, motor, instalación, etc. Para una instalación corriente de las utilizadas en las obras del Circuito Nacional de Firmes Especiales, por ejemplo, u obras análogas de las Jefaturas de Obras públicas, P_A viene representado por 30 000 pesetas para una producción de 15 000 m.³, máquina e instalación amortizada.

C = coste del metro cúbico por el concepto P_A = 2,00 ptas.

F_m = fuerza motriz absorbida por la máquina, en el ejemplo que seguimos = 25 HP. (motor Diesel), que a 0,250 g. por HP.-hora, son 5 litros por hora, que a 0,40 ptas. el kg., son: 2,00 ptas. por hora, y en ocho horas = 16 ptas. Aceite y grasa, durante las ocho horas... 4 ptas. Como la producción en ocho horas puede suponerse en 25 m.³ de gravilla, término medio, el coste de F_m será = 0,80.

P_r = coste de piezas de recambio por metro cúbico. Ya hemos visto que puede suponerse entre 0,16 pesetas y 1,42 ptas. por m.³. Véase la importancia de la calidad de la piedra en el coste del metro cúbico. Para piedra pórfido = ejemplo que seguimos = 0,16. Para piedra silícea = 1,43.

M_o = coste de la mano de obra. Se necesitan 8 peones en ocho horas de trabajo, a 7,00 ptas., por término medio = 56 ptas., y un mecánico encargado de 20,00 ptas., hacen 76,00 ptas., o sea, por m.³ = 3,04.

D = desperdicios. Supongamos un 25 por 100 de elemento inferiores a 5 mm. Para un promedio del metro cúbico de piedra de pórfido, de adquisición de 10,00, incluido el remachaqueo previo, cifra algo inferior a la media real en España, el sobreprecio será 2,50 ptas por m.³. Y en piedra silícea igual.

Coste total de metro cúbico

$$10,00 + 2,00 + 0,80 + \begin{matrix} 0,16 \\ 1,43 \end{matrix}$$

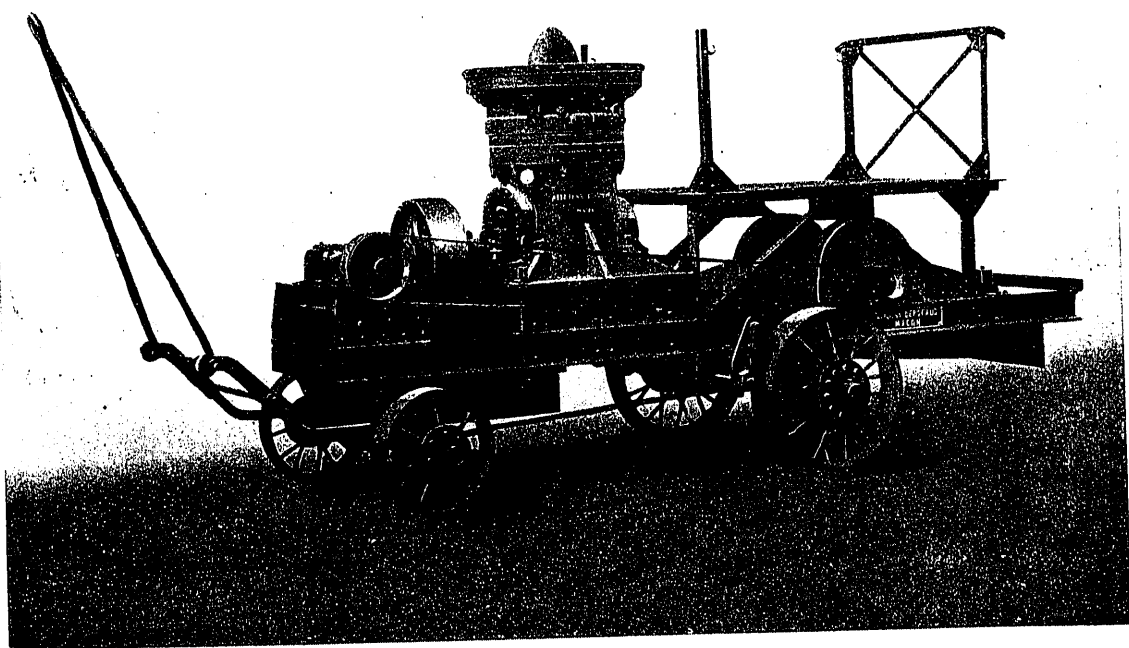
$$+ 3,04 + 2,50 = \begin{matrix} 18,50 \\ 19,77 \end{matrix} \text{ ptas.}$$

TIPOS O SISTEMAS DE GRAVILLADORAS. — Necesitando para las obras una cantidad de gravilla relativamente pequeña, ésta se fabrica en una sola trituradora. En los Congresos y Reuniones Internacionales se ha preconizado que el empleo de las "gravilladoras" sean del tipo de mandíbulas con gran superficie de trituración y de velocidad elevada (500 v. p. m.) o bien del tipo giratorio de eje vertical llamadas "girogravilladoras", teniendo estas últimas más partidarios que las primeras.

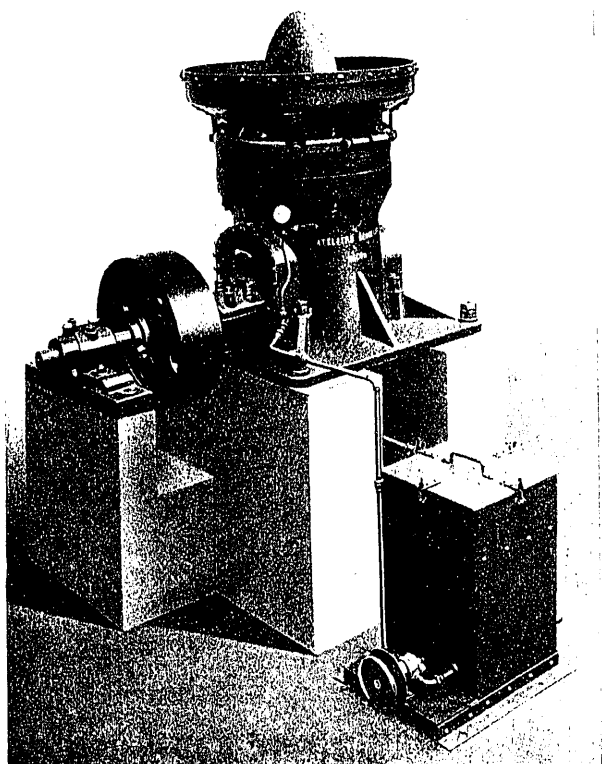
Sistema de mandíbulas. — Se trata de las clásicas machacadoras de mandíbulas de simple efecto, a las cuales se ha estrechado la apertura y aumentando la superficie de trituración, aumentado la anchura de las mandíbulas.

Las dimensiones de bocas están en la proporción de 400 × 100 ó 500 × 125, en lugar de 400 × 220 ó 500 × 300 de las machacadoras corrientes. También se ha variado la velocidad de 250 r. p. m. a 450 ó 500 r. p. m.

Los resultados con este tipo de máquinas no son los más económicos; la fuerza motriz absorbida por metro cúbico de gravilla a 15 mm. es aproximada-



Giro-Gravillador, sobre chasis transportable.



Giro-Gravillador, fijo.

mente de 7.8 HP. con piedra de pórfido (ver la conferencia sobre la fabricación de la gravilla en la "Semana de la Carretera", campaña 1934-1935).

El consumo de piezas de desgaste es de cierta importancia, sobre todo en caso de piedras de gran resistencia al desgaste, porque en las machacadoras de simple efecto la trituración no se hace por simple aplastamiento, sino que se produce un deslizamiento o roce, que acelera el desgaste de las piezas. En ciertos casos, con piedra dura y algo resistente, se ha observado un desgaste de 0,600 kg. de metal al manganeso por metro cúbico de gravilla.

Además, en este tipo de máquinas, un juego de mandíbulas pesa aproximadamente 100 kg. La producción de gravilla se efectúa normalmente mientras estas piezas conservan los dientes; pero desgastados éstos, el tanto por ciento de producción de la máquina disminuye considerablemente, por lo cual, después de gastar aproximadamente 18 a 20 kg. de acero al manganeso, estas piezas resultan inservibles.

No sucede lo mismo en el tipo de "gravilladora giratoria" que vamos a ver a continuación, en las cuales se puede aprovechar sobre 100 kg. de acero al manganeso, aproximadamente 50 kg.

Sistema giratorio. — Las "girogravilladoras" trituran por aplastamiento. Se componen de un eje vertical suspendido por unos cojinetes, haciendo rótula y desplazado constantemente en su centro por una excéntrica que va en la parte inferior.

La trituración se hace entre un anillo de acero al manganeso solidario de armazón y una campana también de acero al manganeso, sujeta al eje; estas dos piezas son las dos únicas sujetas al desgaste por el contacto de la piedra.

Como antes hemos dicho, la preferencia se orienta a este tipo de máquinas, que hasta ahora es el único que ha solucionado el problema de fabricación económica de la "gravilla".

Su consumo de fuerza motriz es aproximadamente de 3.2 CV. por metro cúbico de gravilla de pórfido al tamaño de 15 mm. (Ver la conferencia sobre la fabricación de la gravilla en la "Semana de la Carretera", campaña 1934-1935. París.)

Su producción es elevada debido a su velocidad (150 r. p. m.).

El consumo de piezas de desgaste es muy reducido gracias a su sistema de trituración (aplastamiento), que evita los roces con la piedra.

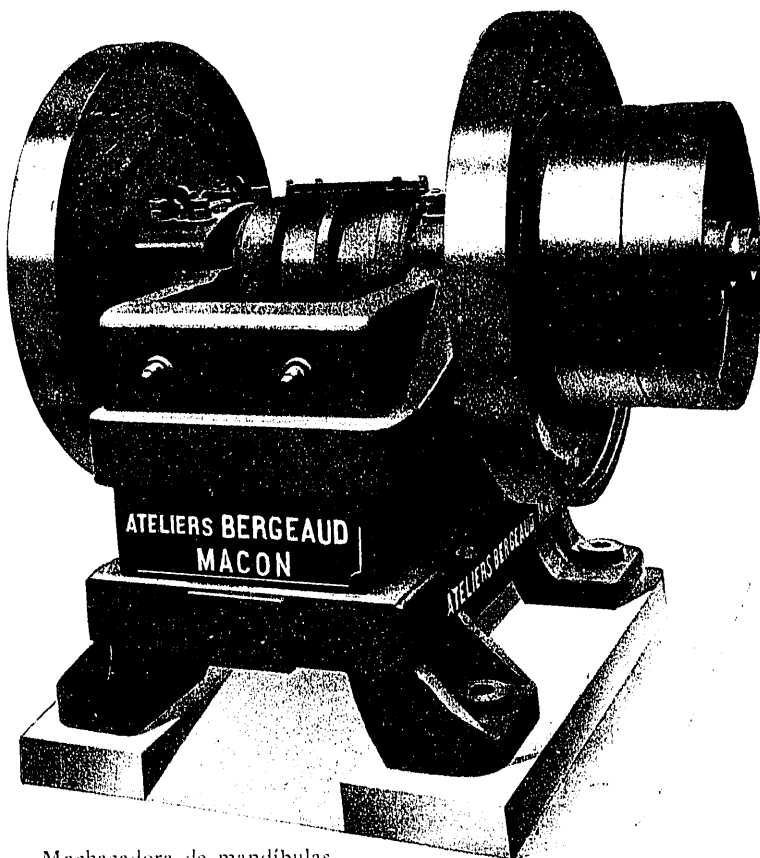
Con reglaje de 15 mm. se han conservado los resultados siguientes:

Desgaste total de un juego de recambio de anillo y campana de acero al manganeso, después de triturar aproximadamente 4 000 m.³ de basalto, pórfidos u olitas.

El sistema de engrase de esta máquina es perfecto, se hace por medio de una bomba de engranajes que manda a 1,500 kg. de presión el aceite a todas las partes vitales de la máquina.

La reciente adopción de rodamientos de rótulas S. K. F. es un nuevo perfeccionamiento de grandes resultados. Es una máquina de poco peso, de gran producción y de poco consumo de fuerza motriz y de piezas de desgaste.

El tipo de "girogravilladoras" es, por lo tanto,



Machacadora de mandíbulas.

el más recomendable para la fabricación económica de la "gravilla" de carreteras.

CLASIFICACIÓN DE LA GRAVILLA. — La clasificación tiene gran importancia, primero para la producción y segundo para el aspecto de la gravilla.

Dos sistemas se emplean para este fin: "el tromel cilíndrico", que se compone de un cuerpo de chapas perforadas unido a una corona accionada por un piñón de ángulo.

Estos últimos años se han empleado en los Estados Unidos, y más recientemente en Europa, el "tamiz Vibrante".

Este segundo aparato es el más recomendable por tener:

Menos volumen y menos peso.

Una clasificación más perfecta.

Un consumo de fuerza reducidísimo.

Un desgaste y entretenimiento nulos.

Estos "tamices" se componen de un armazón rectangular que soporta dos, tres o cuatro telas metálicas de mallas distintas; le es imprimido un movimiento vibrante por un eje de poca excentricidad (algunos milímetros) a una velocidad de 1000 a 1500 r. p. m.

La fabricación debe ser muy cuidada y se deben tomar muchas precauciones para impedir que el polvo llegue a la parte de los rodamientos.

Creemos con estas modestas consideraciones de orden técnico que preceden, haber contribuido al conocimiento de esta interesantísima cuestión, que tanto supone para la más perfecta conservación de las carreteras en nuestro país.

D. JIMÉNEZ ONTIVEROS,
ingeniero de Caminos.

Flexión en piezas rectangulares de hormigón armado¹

II

Vamos a tratar de generalizar el método expuesto para cualquier sección con disimetría K dada.

Podemos, en este caso, obligar a que trabajen al máximo el acero de la armadura de tracción y el hormigón, mas no el acero de la armadura de compresión.

De la ecuación que da la profundidad de la fibra neutra, que es:

$$\left. \begin{aligned} \varphi^3 + 6 \left[\frac{e_1}{2} - \frac{1}{4} + 0,09 r K q \right] \varphi^2 + \\ + 6 r q \left[\frac{1}{2} + 0,9 K \left(e_1 - \frac{1}{2} \right) + e_1 \right] \varphi - \\ - 6 r q \left[e_1 + \frac{1}{2} \right] = 0 \end{aligned} \right\} [1]$$

se deduce:

$$\begin{aligned} r q &= \frac{\varphi^3 + 3 \left(e_1 - \frac{1}{2} \right) \varphi^2}{6 \left[\left(e_1 + \frac{1}{2} \right) (1 - \varphi) - 0,09 K \varphi^2 - 0,9 \left(e_1 + \frac{1}{2} \right) K \varphi \right]} \\ &= \frac{\varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)} \frac{e_1 - \frac{1}{2} + \frac{\varphi}{3}}{e_1 + \frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)}} \end{aligned} [2]$$

Substituyendo este valor en la fórmula que da el trabajo en el acero tendido, que es:

$$A = \frac{F \cdot r \cdot (1 - \varphi)}{a c \left[\frac{\varphi^2}{2} + 0,9 r K q \varphi - r q (1 - \varphi) \right]}$$

nos queda:

$$\begin{aligned} A &= \frac{F \cdot r \cdot (1 - \varphi) : a c}{\frac{\varphi^3}{2} - \frac{\varphi^2}{2} \cdot \frac{e_1 - \frac{1}{2} + \frac{\varphi}{3}}{e_1 + \frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)}}} = \\ &= \frac{2 F r \cdot (1 - \varphi)}{a c \varphi^2} \frac{e_1 + \frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)}}{\frac{\varphi}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)}} \end{aligned}$$

que puede escribirse así:

$$\left. \begin{aligned} \frac{A \varphi^2}{2 F r (1 - \varphi)} \left[\frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)} + \frac{1}{2} - \frac{\varphi}{3} \right] \\ a c^2 - \frac{1 - \varphi + 0,9 K \varphi - 0,18 K \varphi^2}{2(1 - \varphi - 0,9 K \varphi)} c - e = 0 \end{aligned} \right\} [3]$$

para que $A = 1200 \text{ kg./cm.}^2$ y $H = (648 : r)$ kilogramos por centímetro cuadrado, es necesario, como ya hemos deducido, que φ sea igual a 0,351; en este caso $A = 0,9 r H = 0,9 \times 648 = 583,2 \text{ kg./cm.}^2$, lo cual nos indica que no está bien aprovechado.

Substituyendo en [2] y [3] el valor $\varphi = 0,351$ nos quedan las siguientes fórmulas:

$$q = \frac{0,195}{(2,054 - K) r} \frac{e_1 - 0,383}{e_1 + 0,149 \frac{6,894 + K}{2,054 - K}} \quad I$$

$$\frac{26500}{F \cdot r} \frac{7761 - K}{2054 - K} a c^2 - \frac{6,894 - K}{2,054 - K} 0,149 c - e = 0 \quad II$$

Estas ecuaciones resuelven el problema de un modo general, y su uso es análogo al explicado para las secciones asimétricas; indicaremos en las que se

¹ Véase el número anterior, página 153.