

CAPÍTULO IX

Coste de la excavación y transporte de tierras.

Se estudia en este capítulo el coste de la excavación y transporte de tierras; en la parte de construcción nos ocuparemos con detalle de los diferentes útiles y herramientas empleados, y de la organización del trabajo; los datos que en este capítulo figuran servirán para formular el presupuesto del proyecto.

134. Clasificación de los terrenos.— El coste de la excavación depende de la naturaleza del terreno; desde el punto de vista de la excavación, se pueden clasificar los terrenos en:

Terrenos sueltos.	Roca blanda.
” flojos.	” dura.
” duros.	” muy dura.
” de tránsito.	

Los terrenos sueltos, flojos y duros pueden excavar a mano, con los utensilios corrientes: pico y azada. Son terrenos sueltos todos aquellos que no tienen cohesión; por ejemplo: arena y gravilla sueltas; terrenos flojos, se consideran cuando sus elementos componentes tienen una ligera cohesión; por ejemplo: arena y gravilla mezcladas con una pequeña proporción de arcilla, arena mojada, etc.; terrenos duros, son las arcillas, margas y demás tierras de fuerte cohesión.

Los terrenos de tránsito, pizarras y rocas blandas, tienen necesidad de la barra para su excavación, pero no precisan el empleo de explosivos.

La excavación en roca necesita siempre el empleo de explosivos; su excavación será más o menos costosa, según sea su dureza y la forma en que se rompa, bajo la acción de los barrenos; son rocas blandas las clases que pueden considerarse como tales de calizas, areniscas, yeso y pizarras poco compactas; son rocas duras, las calizas duras, el gra-

nito, el gneís, etc...; y rocas muy duras, el basalto, ofita, sienita, y, en general, todas las rocas volcánicas.

135. Coste de excavación. — El coste de la excavación en tierra varía, según se haga a mano o mecánicamente con excavadoras de diferentes tipos; normalmente, en el precio de la excavación se incluye, sea cualquiera el método empleado, la excavación propiamente dicha y la carga en el medio de transporte que ha de utilizarse. En las excavaciones a media ladera, generalmente, la operación de paleo lleva la tierra a su situación definitiva. El tiempo empleado en la excavación a mano y carga de las distintas clases de terrenos, es el siguiente:

Terreno suelto	0,5 a 0,8	horas de peón por m. ³		
” flojo	1,0 a 1,5	”	”	”
” duro	2 a 3	”	”	”
” de tránsito.....	3 a 4,5	”	”	”

Un obrero puede alcanzar, con la pala, a una distancia de dos a tres metros, con elevación simultánea de un metro.

La excavación en galería, para la misma clase de terrenos, se obtendrá multiplicando los precios anteriores por 1,5 a 2.

El coste de la excavación con máquinas excavadoras depende de la clase de máquina empleada, volumen de tierras a mover y organización general del trabajo; un sistema de transporte bien proyectado, que permita la máxima utilización de la excavadora empleada, puede reducir considerablemente el precio de coste total. El empleo de máquina excavadora precisa un volumen de obra grande, pues los gastos del equipo, su amortización e instalación, así como los importantes medios de transporte, que siempre son necesarios, hay que repartirlos en el total de metros cúbicos a excavar; y si la cifra de éstos no es de consideración, resulta, por todos estos conceptos, una carga excesiva por metro cúbico, aparte de los gastos de excavación propiamente dichos. Si la instalación de excavación está bien proyectada y es adecuada para la obra, puede obtenerse una economía de bastante consideración, en relación con las cifras de coste de excavación a mano, economía que depende de las características de la obra y del material empleado. Para calcular el precio a que puede resultar el metro cúbico, habrá que tener en cuenta los gastos de establecimiento y explotación del equipo preciso, según el programa que, como paso previo, se ha de formular; en ellos, habrá que considerar:

Gastos de establecimiento:	Valor del equipo:	Excavadora.
		Vagones y locomotoras o tracción animal en su caso.
		Vía.
		Gastos de transporte a obra y montaje.
Gastos de explotación:		Jornales.
		Combustibles y grasas.
		Conservación y amortización del equipo.

En cada caso, y conocidas las características del equipo elegido, podrán calcularse cada uno de los distintos factores enumerados. Simplemente para dar una idea del orden de magnitud de los costes del equipo, se puede considerar que una pala de 1 m.³ de capacidad, con un rendimiento horario en terreno de consistencia media, de unos 50/60 metros cúbicos, viene a valer, en fábrica, unos 40.000 RM. (1); su peso es, aproximadamente, 40/50 toneladas y los gastos de transporte, aduana, etc., vienen a valer unas 2.000 pesetas por tonelada. La excavadora necesita un motor Diesel de unos 130/140 HP. Una vagoneta-volquete de 750 a 1.000 litros de capacidad vale 1.000 a 1.200 pesetas, y el precio de un metro lineal de vía Decauville, de nueve kilogramos, con traviesas metálicas, unas 30/40 pesetas; el coste del montaje puede calcularse en 0,6 a 0,8 horas de peón por metro lineal para vía armada y en 1,2 a 1,4 horas, con vía sobre traviesas; los precios anteriores son únicamente de orientación para un anteproyecto, y en las extraordinarias circunstancias actuales; es imprescindible comprobarlos con los obtenidos directamente de las casas de maquinaria.

Para los gastos de conservación y amortización, se pueden considerar los siguientes (2):

	Periodo de amortización. Años.	Gastos de reparaciones en % mensual del valor.
Excavadoras de rosario.....	8	0,80
Pala excavadora	7	1,00
Excavadora de mordazas...	7	0,80
Vía armada	6	1,00
Carriles y bridas.....	12	0,30
Agujas	8	0,50
Vagonetas	4	1,4

(1) Valor oro.

(2) RITTER, "El precio de costo en la construcción". Traducción del Profesor de la Escuela de Caminos D. Rafael López Bosch.

136. Excavación en roca. — El coste de la excavación en roca depende de su naturaleza. El metro cúbico de roca excavada precisará mayor o menor longitud de barreno para su voladura, según rompa, y la forma en que la voladura haya de efectuarse; el metro lineal de barreno, tendrá coste diferente, según sea la naturaleza de la roca. Igualmente, el consumo de explosivos será distinto, según la clase de roca, la facilidad para partir y el explosivo que se emplee.

Como término medio, pueden considerarse como gastos de la excavación, por metro cúbico de roca, los siguientes :

CLASE DE ROCA	CON PÓLVORA		CON DINAMITA		GASTOS GENERALES	
	Mano de obra	Explosivos	Mano de obra	Explosivos	Fracción del importe de la mano de obra	
	Horas	Kilogramos	Horas	Kilogramos	Accesorios	Dirección
Blanda	4-5	0,2-0,3	2,5-4	0,10-0,15	0,25	0,15
Dura	5-7	0,3-0,5	4,5-5	0,15-0,25	0,30	0,15
Muy dura	9-10	0,8-1,0	8,0-9,0	0,30-0,40	0,35	0,40

Como orientación, puede considerarse que la dinamita vale 5,50 pesetas el kilogramo; el metro lineal de mecha, a 0,15 pesetas, y el detonador, a 0,12 pesetas uno; el kilogramo de acero para barrenas de mano, a 5 pesetas, y para martillos excavadores, a 7 pesetas.

137. Transporte. Distancia media en horizontal. — Si se tiene un sólido de peso, p , concentrado en su centro de gravedad, y se quiere transportarlo a una distancia, δ , y K es el coste del transporte por unidad de peso a unidad de distancia, el importe total será :

$$C = K \times \delta \times p;$$

el producto $p\delta$ se llama *momento de transporte* del peso, p , a la distancia, δ .

Si hubiera distintos pesos unitarios, p_1, p_2, p_3, \dots , con centros de gravedad a distancias, $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$, del punto donde se han de transportar, y K es el precio común de transporte de la unidad de peso a la unidad de distancia, el coste total del transporte sería :

$$C = K (\delta p_1 + \delta p_2 + \dots) = K \Sigma p \delta; \quad [1]$$

La suma $\Sigma p \delta$ se denomina momento total de transporte.

La distancia media del transporte será una distancia horizontal ficticia, común a todos los pesos a transportar y tal que, multiplicada por

la suma de todos los pesos y por el precio unitario, dé el mismo coste, C , calculado por la [1]; es decir, que se verifique:

$$K \Delta \Sigma p = C = K \Sigma p \delta;$$

de donde se deduce:

$$\Delta = \frac{K \Sigma p \delta}{K \Sigma p} = \frac{\Sigma p \delta}{\Sigma p}.$$

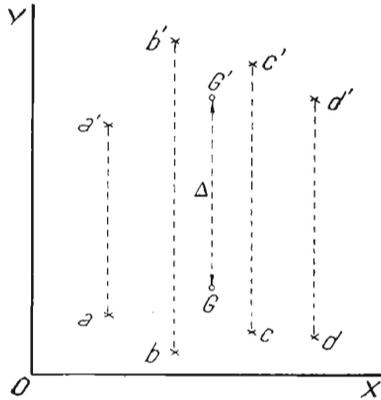


Figura 126.

Si la densidad de las masas a transportar es la misma, como sucede normalmente en las excavaciones en tierra, y llamamos v_1, v_2, \dots a los volúmenes correspondientes, se podrá escribir:

$$\Delta = \frac{\Sigma v \delta}{\Sigma v};$$

y en este caso, el coste del transporte resultará:

$$C = K V \Delta.$$

Supongamos ahora que v_1, v_2, v_3 , etc., formen un volumen continuo; en este caso, tendremos:

$$V = \Sigma v = \int dv,$$

y la distancia media de transporte será:

$$\Delta = \frac{\int \delta dv}{\int dv} = \frac{\iiint \delta dx dy dz}{V},$$

en la cual δ será función de las coordenadas de cada uno de los puntos considerados.

138. Transporte por vía horizontal y paralela. — Sean una serie de puntos, a, b, c, d , con pesos p_1, p_2, p_3, p_4 , que paralelamente transportamos a otros puntos, a', b', c', d' , y sea G el centro de gravedad de los primeros y G' el de los segundos (fig. 126). Tomemos dos ejes coordenados rectangulares con la condición que el eje Y sea paralelo a la dirección en la cual hemos de efectuar el transporte.

Si llamamos $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3, \dots$, a las coordenadas de a, b, c, \dots , y $x'_1, y'_1; x'_2, y'_2; x'_3, y'_3, \dots$, a las coordenadas de a', b', c', \dots , y $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$, las distancias a que hemos de transportar cada masa, evidentemente tendremos:

$$x_1 = x'_1 \quad y'_1 = y_1 + \delta_1; \quad x_2 = x'_2 \quad y'_2 = y_2 + \delta_2 \dots$$

Si X_0, Y_0 son las coordenadas de G , y X'_0, Y'_0 las de G' , tendremos:

$$X_0 \Sigma p = \Sigma p x; \quad Y_0 \Sigma p = \Sigma p y; \quad X'_0 \Sigma p = \Sigma p x' = \Sigma p x; \quad Y'_0 \Sigma p = \Sigma p y' = \Sigma p (y + \delta)$$

de donde se deduce:

$$(Y'_0 - Y_0) \Sigma p = \Sigma p \delta; \quad Y'_0 - Y_0 = \frac{\Sigma p \delta}{\Sigma p};$$

pero $\frac{\Sigma p \delta}{\Sigma p} = \Delta$, y como, por otra parte, $X_0 = X'_0$, resulta que el centro de gravedad del conjunto de las masas, ha sido transportado paralela-

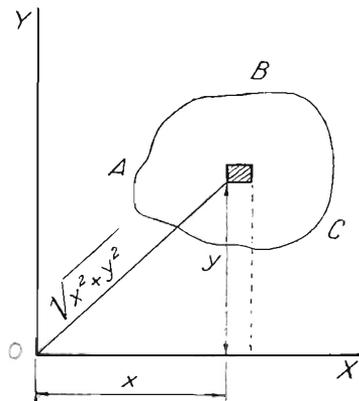


Figura 127.

mente al movimiento general una distancia igual a la distancia media de transporte.

139. Distancia media de transporte por vía horizontal y convergente.— Sea una masa continua, que suponemos formada por un prisma recto de sección ABC (fig. 127), que todo él ha de transportarse a un punto O por vía convergente; un elemento cualquiera tiene que recorrer una distancia $\delta = \sqrt{x^2 + y^2}$; si llamamos h a la altura del prisma, la distancia media de transporte valdrá:

$$\Delta = \frac{\iint h \sqrt{x^2 + y^2} \, dx \, dy}{\iint h \, dx \, dy} = \frac{\iint \sqrt{x^2 + y^2} \, dx \, dy}{\iint dx \, dy},$$

extendiendo las integrales a los límites del contorno ABC .

140. Transporte vertical.— Se trata de un transporte por vía paralela; si h es la altura a la cual se ha de hacer la elevación de cada masa elemental p , la altura media del transporte será:

$$\Delta_v = \frac{\sum p h}{\sum p},$$

y cuando la densidad de todas las masas es la misma,

$$\Delta_v = \frac{\sum v h}{\sum v}.$$

⑥ **141. Transporte por vía inclinada.**— Si se quiere transportar una masa, p , desde un punto a a otro b , siguiendo una pendiente i , se puede reducir la operación a dos: transporte horizontal a una distancia d y transporte vertical h . El coste del transporte será, por tanto, si llamamos K al coste unitario horizontal y K_1 al coste unitario en vertical,

$$C = K p d + K_1 p h.$$

Llamando A la relación entre los costes de transporte horizontal y vertical $\frac{K_1}{K} = A$, tendremos:

$$C = K p (d + A h);$$

o sea, que el coste del transporte sería el mismo que si hubiésemos transportado la masa, p , a una distancia ficticia, $d + Ah = d_0$.

La distancia d_0 se llama distancia reducida a la horizontal o distancia virtual de transporte; puede expresarse en función de la pendiente i :

$$d_0 = d + A h = \frac{h}{i} + A h = h \left(\frac{1}{i} + A \right);$$

cada medio de transporte tiene una pendiente máxima i_m , a la cual corresponde una distancia horizontal reducida. Para los medios corrientes de transporte, las pendientes máximas y sus distancias reducidas son las siguientes, según ROTIGLIANO:

Carretilla de mano sobre explanación de tierra.	}	subiendo.	$i_m = \frac{1}{12}$	$d_0 = (12 + 6) h = 18 h.$
			$A = 6$	
		bajando.	$i_m = \frac{1}{5}$	$d_0 = (5 + 3) h = 8 h.$
			$A = 3$	
Carro de tracción animal sobre firme corriente. . .	}	subiendo.	$i_m = \frac{1}{10}$	$d_0 = (10 + 16) h = 26 h.$
			$A = 16$	
		bajando.	$i_m = \frac{1}{10}$	$d_0 = (10 + 8) h = 18 h.$
			$A = 8$	
Tracción animal sobre vías provisionales.	}	subiendo.	$i_m = \frac{1}{33}$	$d_0 = (33 + 80) h = 113 h.$
			$A = 80$	
		bajando.	$i_m = \frac{1}{20}$	$d_0 = 20 h.$
			$A = 0$	
Tracción mecánica sobre vías provisionales.	}	subiendo.	$i_m = \frac{1}{33}$	$d_0 = (33 + 240) h = 273 h.$
			$A = 240$	
		bajando.	$i_m = \frac{1}{33}$	$d_0 = 33 h.$
			$A = 0$	

142. Rendimiento de los diferentes medios de transporte. — Punto de partida para la determinación del coste del transporte es fijar

el rendimiento de los diferentes medios utilizados. Un plan de transporte bien estudiado exige, como premisa indispensable, la máxima utilización de los medios de transporte disponibles; sólo así se logrará un precio de transporte económico.

Si el transporte se efectúa a una distancia d y a una velocidad media u y llamamos t el tiempo preciso para la carga y descarga, un viaje completo (ida y vuelta) será $\frac{2d}{u} + t$; el número de viajes efectuados en una jornada de trabajo de T horas, será:

$$\frac{T}{\frac{2d}{u} + t};$$

si v es el volumen transportado en cada viaje, el total V de la jornada será:

$$V = \frac{v T}{\frac{2d}{u} + t}.$$

Las características prácticas de los medios de transporte más corrientemente usados, son las siguientes:

Medio de transporte	Capacidad v m. ³	Velocidad u m./hora	Tiempo de carga y descarga t /horas.
Carretilla	0,050	3.000	0,01
Carro de mano.....	0,200	3.000	0,066
Carro de tracción animal (caballería)	0,800	4.200	0,10 (1)
Vagoneta movida a mano, sobre vía, por hombre	0,500	3.600	0,10 con descarga automática.
Vagonetas movidas por una caballería, sobre vía	3.000	4.200	0,20 con descarga a mano
Vagonetas con tracción mecánica	$\frac{2.000 N}{u}$ (2)	10.000/12.000	0,015 por vagoneta, más diez minutos de pérdida para tren de 20 vag.

(1) La duración de la jornada normal, de seis horas y media, para dar tiempo al descanso de las caballerías.

(2) N , potencia efectiva de la locomotora.

143. Volumen de tierras a transportar.—Entumecimiento.—

El metro cúbico de terreno natural produce un volumen mayor para el transporte; el aumento de volumen es debido a la pérdida de la cohesión del terreno natural; cuanto mayor sea, mayor será el aumento de volumen o entumecimiento. Un metro cúbico de terreno natural ocupará, después de excavado, 1,10, 1,20 ó 1,40 m.³, según se trate de tierras ligeras y secas, compactas arcillosas o roca.

144. Coste total del transporte.—El coste, C , del transporte se compone de las siguientes operaciones: carga, transporte propiamente dicho, y descarga; hay que añadir a estos sumandos la amortización del material empleado en el transporte y sus gastos de conservación; por último, habrá que tener en cuenta los gastos generales del equipo, de dirección, capataces, seguro obrero, etc., que será un tanto por ciento del valor de los tres primeros sumandos; se tendrá, por tanto:

Coste total (C) = Carga (C_1) + Transporte (C_2) + Descarga (C_3) + Amortización y conservación (C_4) + gastos sociales y generales (C_5) = $\alpha(C_1 + C_2 + C_3)$, siendo α un coeficiente que engloba el aumento que representa $C_4 + C_5$.

Para los medios corrientes del transporte, los resultados prácticos son los siguientes (STABILINI):

Carretilla:

$$\begin{aligned} C &= (0,098 + 0,00192 d) J \text{ para tierra ligera y seca.} \\ C &= (0,21 + 0,0021 d) J \text{ " " fuerte y húmeda.} \\ C &= (0,21 + 0,0024 d) J \text{ " roca en trozos.} \end{aligned}$$

Carros con tracción animal:

$$\begin{aligned} C &= 0,092 J + (0,031 + 0,00015 d) J \text{ para tierra ligera y seca.} \\ C &= 0,125 J + (0,035 + 0,00016 d) J \text{ " " fuerte y húmeda.} \\ C &= 0,25 J + (0,040 + 0,00019 d) J \text{ " roca en trozos.} \end{aligned}$$

En los cuales, d es la distancia de transporte en metros, y J , el jornal medio del peón.

145. Transporte con vagonetas.—El coste del transporte con vagonetas depende de la organización de trabajo que se adopte, el método de arrastre y la distancia.

La vagoneta puede moverse a mano, con caballerías, o con locomotoras de vapor, gasolina o Diesel. Cada sistema de arrastre tiene unos

límites prácticos de distancia de transporte, dentro de los cuales resulta económico su empleo; son los siguientes:

Arrastre a mano, de 50 a 300 metros.

Arrastre con caballerías, de 300 m. a 1 Km.

Arrastre con locomotoras, para distancias mayores de 1 Km. y grandes volúmenes.

En el transporte con vagonetas, cualquiera que sea el sistema de arrastre empleado, es preciso establecer una vía, que corrientemente está armada sobre traviesas metálicas, pero que puede también ir montada sobre traviesas de madera.

Las vagonetas, en general, son de $3/4$ de metro cúbico de capacidad para el arrastre a mano o por caballerías; para arrastre con locomotoras se emplean vagonetas hasta 1 m.^3 de capacidad, cuando el ancho de la vía es de 600 mm. Para anchos mayores de vía, se pueden emplear vagonetas de capacidad hasta 4 m.^3 .

El coste del equipo se compone de los siguientes factores: *a*) interés y amortización del capital empleado en su adquisición; *b*) gastos de instalación (transporte a pie de obra y montaje); *c*) gastos de reparación.

La vía de 600 mm. pesa, cuando las vagonetas se mueven a mano, 24 Kg. por m. l. armada (carril de 9 Kg.); cuando el arrastre se efectúa con locomotoras, la vía pesa 37 Kg. por m. l. cuando han de circular locomotoras ligeras, y 50 Kg. si es para locomotoras pesadas (carril de 12 a 14 Kg.); las agujas pesan, respectivamente, 250, 300 y 350 Kg. En el montaje de la vía se invierten, por m. l., de 0,6 a 0,8 horas de peón con vía armada, y de 1,2 a 1,4 horas con vía sobre traviesas.

Es preciso tener un plan de transporte detalladamente estudiado, plan que permite disponer del material necesario y suficiente; la falta de material representará un trastorno en la marcha de la obra, y material en exceso, un aumento inútil del capital de establecimiento y de la partida correspondiente de interés y amortización del mismo.

Para el arrastre a mano se precisan dos hombres por vagoneta (cada hombre es capaz de arrastrar una tonelada, y la vagoneta cargada viene a pesar $1,5/2$ toneladas); la velocidad de la vagoneta es 60 m. por minuto. Al tiempo de carga y descarga hay que añadir, como tiempo perdido, de cinco a siete minutos. Los tiempos normales de excavación y carga son los consignados en el epígrafe **135**.

La velocidad, en el arrastre por caballerías, es de 70 m. por minuto; en vía horizontal bien asentada, cada caballería puede arrastrar cuatro vagonetas de $3/4$ de metro cúbico; el esfuerzo de tracción puede considerarse, tenido en cuenta el rozamiento de la vía, de 70 Kg. por caba-

llería; si hay más de una, será preciso aplicar los coeficientes de reducción que se fijaron al hablar de los esfuerzos de tracción (1).

De tiempo perdido, debe considerarse un promedio de diez minutos.

En el arrastre por locomotoras puede considerarse como velocidades medias:

Con vía de 600 mm.	10 Km./hora.
" " 900 " 	12 " "

El tiempo perdido puede considerarse, como media, quince minutos.

La potencia de las locomotoras y, como consecuencia de ella, la longitud de los trenes, depende de las características de las primeras; se obtienen de los catálogos de las casas suministradoras. Cuando se trate del transporte por vía inclinada, el esfuerzo de tracción se deberá aumentar o disminuir en tantos kilogramos por tonelada como milímetro por metro tenga la pendiente.

Los gastos de conservación y amortización del equipo de vía y vagonetas, ya se fijaron en el epígrafe 135; para las locomotoras, son:

	Periodo de amortización	Gastos de reparación
	A ñ o s	en % mensual del valor de nueva
Locomotoras de vapor	10	0,80
" de motor	6	1,10

146. Gastos sociales y generales. — Los precios que se obtienen con los datos anteriores, son de ejecución material; a ellos hay que añadir las obligaciones sociales, que hoy día en España representan, en tanto por ciento, los jornales:

Subsidio familiar	5 %
Accidentes del trabajo.....	8 %
Retiro Obrero	3 %
Comedores y administración de estas obligaciones.....	2 %
	18 %

Hay que tener en cuenta, además, que es preciso abonar los jornales de los domingos y fiestas no recuperables, así como los días de lluvia (se suponen 15 al año); como los domingos y fiestas son 70 en total,

(1) Epígrafe 31, pág. 47.

hay que abonar, sin trabajar, 85 días, cuyos jornales será preciso repartir entre 280 días de trabajo; o sea que representará un aumento de los jornales de $\frac{85}{280} = 0,303 \times 0,30$. En total, las distintas obligaciones sociales representarán un $18 + 30 = 48$ % del coste de jornales.

Los gastos fiscales, incluso los de replanteo, representan el 7 por 100 del coste total, descompuestos en la siguiente forma:

Derechos de custodia de la fianza.....	0,0020
Timbre de la escritura y gastos de notario.....	0,0050
Derechos reales de la fianza definitiva.....	0,0045
Derechos reales del presupuesto total.....	0,0185
Pagos al Estado.....	0,0130
Contribución industrial	0,0225
Gastos de replanteo, etc.	0,0045
	<hr/>
TOTAL.....	0,0700

Para gastos generales debe tomarse en obras de este tipo un 5 por 100 del importe total de jornales y materiales.