



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de la secuencia de camiones para el transporte de tierras procedentes de excavación

Apellidos, nombre	Oliver Faubel, Inmaculada (inolfau@csa.upv.es) Monfort i Signes, Jaume (jaumemonfort@csa.upv.es) Fuentes Giner, Begoña (bfuentes@csa.upv.es)
Departamento	Construcciones Arquitectónicas
Centro	ETSIE. Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

1 Introducción

Prácticamente toda obra de nueva construcción comporta la actuación sobre el terreno. El terreno natural es el primer material de construcción con el que se va a trabajar en una obra. Las características del terreno condicionarán el diseño y los cálculos de cimentación y estructura en el proyecto de ejecución. Por tanto, los procedimientos constructivos, la programación de los trabajos y, evidentemente, la incorporación de los equipos necesarios para llevar a cabo la **obra de tierra**.

Este artículo docente pretende reparar en uno de los aspectos momentos finales de esa actividad: el **transporte a vertedero** de las tierras procedentes de ese movimiento de tierras en obras de edificación fundamentalmente.

2 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este artículo, será capaz de:

- Conocer las características técnicas genéricas y prestaciones de trabajo que definen a los equipos de transporte de tierras.
- Establecer criterios de seguridad, operativos y económicos que han de regir la elección de equipos de transporte de tierras.
- Definir las pautas para organizar la secuencia de equipos más eficaz para llevar a cabo dicho transporte.
- Diseñar la secuencia más efectiva y económica para la evacuación de tierras procedentes de excavación a vertedero.

3 Movimientos de tierra

Los movimientos de tierra en edificación tienen, entre otros, tres objetivos predominantes:

- El rebaje de la cota del terreno para construir una determinada volumetría por debajo de rasante, es decir, ejecución de **vaciados** para la construcción de sótanos.
- La **apertura de zanjas y/o pozos** en cuyo interior alojar la **cimentación** del edificio.
- La **apertura de zanjas y/o pozos** en cuyo interior alojar **instalaciones** enterradas.

En cualquiera de los tres casos anteriores es muy probable que el movimiento de tierra no empiece y termine de forma independiente del resto de trabajos, sino más bien al contrario:

- Algunas veces, por cuestiones de programación temporal, es decir, con el fin de reducir plazos de ejecución, se simultanearán trabajos de tierra con



otros que tengan como fin la construcción de las cimentaciones o las instalaciones.

- En otros casos, sin embargo, resulta imprescindible la ejecución de los elementos constructivos de contención (muros de contención) y sus respectivas cimentaciones para poder llevar a cabo la obra de vaciado y de construcción de la cimentación del edificio a una determinada cota bajo rasante (construcción de sótanos con muro de contención).

Estas premisas, unas veces provocadas, otras veces lógicas e ineludibles, obligan a programar junto con el propio movimiento de tierras, la cuestión del movimiento de materiales necesarios para la ejecución de esos elementos constructivos que se ejecutarán de forma simultánea a la obra de tierra: recepción de los suministros, descarga de los equipos de transporte, previsión y organización de las zonas de acopio, distribución a los tajos, etc. Además, resulta evidente que esto requerirá de una adecuación de las dotaciones de infraestructura a las circunstancias particulares de esta fase.

Sin embargo, hay una cuestión que, por norma general, se obvia en la programación temporal de un movimiento de tierra y en la organización espacial de las dotaciones de infraestructura: el diseño eficaz de la secuencia necesaria de equipos de transporte asistiendo a los equipos de excavación para la evacuación de las tierras excavadas.

La razón reside, probablemente, en que el movimiento de tierras es una actividad que en la mayor parte de las obras se subcontrata a empresas especializadas. Además, se suele contratar por volumen de excavación y con un plazo preestablecido. Estas empresas aportan personal y equipos tanto de excavación como de transporte y es su responsabilidad e interés rentabilizar al máximo el trabajo de sus equipos y personal. Queda así normalmente liberada la jefatura de obra de la empresa contratista de esta organización de estos recursos.

Sin embargo, considerando que el lector podría formar parte también de una empresa contratista con recursos propios para realizar estos trabajos, procedemos a explicar pautas para organizar la secuencia de equipos más eficaz para llevar a cabo dicho transporte en cualquiera de los dos casos.

Pero antes nos detendremos en la clasificación de las obras de tierra y en los equipos más utilizados en una de ellas, el transporte.

3.1 Obras de tierra. Clasificación

En función del tipo de obra:

- Obras públicas
- **Edificación**
- Urbanización

En función de los trabajos a realizar:

- Excavación
- Relleno
- **Transporte**

En función del entorno:

- En seco
- Bajo el agua o en su presencia

En función del procedimiento:

- A mano
- Por medios mecánicos

3.2 Obras de tierra en edificación. Clasificación

Desbroces y limpiezas:

- Retirada de árboles, etc.
- Retirada de la capa de tierra vegetal

Excavación a cielo abierto bajo rasante:

- Vaciados de sótanos
- Apertura de zanjas
 - Cimentaciones
 - Instalaciones enterradas
- Apertura de pozos
 - Cimentaciones
 - Instalaciones enterradas

Excavación en cubierto:

- Vaciados
- Galerías
- Perforaciones

Excavaciones en profundidad:

- Pilotes
- Muros pantalla
- Sondeos

Excavación a cielo abierto sobre rasante:

- Desmontes
- A media ladera

Rellenos:

- Aporte de tierras
- Urbanización
- Relleno de zanjas
- Instalaciones enterradas

Explanaciones y compactaciones:

- Extendido
- Nivelado
- Compactación

Transporte

Obras complementarias

- Agotamientos
- Entibaciones
- Voladuras
- Consolidaciones
- Saneamiento
- Nivelaciones
- Compactación
- Disgregación
- Carga, transporte y descarga

4 Equipos para transporte de tierras

4.1 Criterios para la elección del equipo de transporte.

- Condiciones de acceso al solar y del propio solar.
- Volumen de tierras a transportar
- Tipo de material
- Distancia a vertedero



- Características del recorrido
- Capacidad del contenedor adecuada a la capacidad del equipo de extracción.
- El equipo de extracción no debe detener su producción.

4.2 Condiciones óptimas del transporte

- Pendiente máxima del recorrido = 15 %
- Pendiente máxima en rampas de tierra = 12 %
- Evitar curvas y recodos
- Superficies de rodadura estable
- Sobre orugas o neumáticos

4.3 Equipos de transporte más usuales

Camiones

- Gran variedad de modelos y tamaños en el mercado
- Según el número de ejes:
 - De 2 ejes: gran maniobrabilidad y pequeño radio de giro.
 - De 3 ejes: para terrenos de poca resistencia.
 - De 4 ejes o más: gran carga.
- Articulados: mayor maniobrabilidad
- Se designan según el número de ejes y el número de ruedas tractoras



Dúmpers o volquetes

- Gran variedad de modelos y tamaños en el mercado
- Normalmente de vertido trasero
- Tracción a las cuatro ruedas
- Movilidad en terrenos difíciles
- Baja velocidad de circulación frente a la fuerza de avance



Dúmpers autovolquete

- Gran variedad de modelos y tamaños en el mercado
- Vertido frontal delantero
- 1 eje tracción y el otro direccional
- Movilidad en terrenos difíciles.
- Baja capacidad de carga.



- Transporte de tierras dentro de la propia obra.
- Limitación en el volcado del contenido de la caja.
- Normas de conducción propias del equipo.

Vagonetas o cintas transportadoras

Uso en casos muy especiales, sobre todo en instalaciones de canteras, en zonas de difícil acceso, instalaciones industriales, etc.

5 Diseño de la secuencia de transporte de tierras

5.1 Criterios de economía en la programación de un movimiento de tierras

Se tiene que conseguir realizar el movimiento de tierras en el menor tiempo posible según el volumen de tierras a excavar y el rendimiento de los equipos que excavan, y de este modo conseguir hacerlo con el menor coste posible.

Los **datos** que se necesita conocer son:

- Volumen total de tierras a excavar = V (m^3) \Rightarrow Proyecto
- Rendimiento del equipo de excavación = R (h / m^3) \Rightarrow Basedatos
- Alquiler del equipo de excavación = A ($\text{€} / h$) \Rightarrow Mercado
- Coste del movimiento de tierras = C (€)

$$\text{Tiempo estrictamente necesario} \Rightarrow T_{\text{mín}} (h) = V/R$$

$$\text{Menor coste} \Rightarrow C_{\text{mín}} = T_{\text{mín}} \times A$$

5.2 Tiempo mínimo necesario, menor coste

Conseguir hacer el trabajo en el **menor tiempo** posible dependerá de los siguientes condicionantes:

- Distancia al vertedero
- Capacidad de carga de los camiones
- Velocidad de circulación de los camiones variable a la ida y a la vuelta
- Tiempo necesario para vaciar la carga en el vertedero

Todos ellos son prefijados y normalmente dejan poca capacidad de intervención al responsable de la programación.

Con respecto a las prestaciones de los equipos de transporte, se concretan en:

- TARA = Peso del recipiente vacío (camión)
- CARGA NETA = Peso de la carga exclusivamente (CN)
- CARGA BRUTA = Peso del camión más la carga neta (CB)

$$CB = CN + TARA$$

- MASA MÁXIMA AUTORIZADA = Es la máxima que puede tener un vehículo para poder circular por vía pública una vez está cargado (MMA)¹
CB < MMA



Con todo ello, el responsable de la programación de los trabajos de excavación y evacuación de tierras podrá INTERVENIR en el tiempo necesario y, por tanto, en conseguir el **menor coste**:

- Eligiendo el número de equipos de transporte que trabajarán al mismo tiempo para conseguir el menor coste del movimiento de tierras.
- El fin de esta elección será que el equipo de extracción no pare.
- Conseguir pagar las horas de alquiler estrictamente necesarias para retirar el volumen total de tierras previsto

5.3 Estimación del coste: número de camiones a intervenir

Como se ha indicado anteriormente, la premisa a seguir es conseguir realizar el movimiento de tierras en el menor tiempo posible según el volumen de tierras a excavar y el rendimiento de los equipos que excavan y, de este modo, conseguir hacerlo con el menor coste posible.

Los equipos que excavan lo harán a un determinado rendimiento estimado para las condiciones particulares de una obra. Este rendimiento, el mayor, se podrá mantener y colaborar en que el coste sea el más ajustado, si emplean la mayor cantidad de su tiempo en excavar. Parece una obviedad, pero su rendimiento bajará cada vez que deba emplear parte de su tiempo en acercarse y posicionarse respecto del equipo de transporte para verter en él. Es por ello que se debe conseguir en la medida de lo posible que los equipos de transporte puedan llegar lo más cerca posible del equipo excavador. Esto debe convertirse pues en un objetivo fundamental de la jefatura de

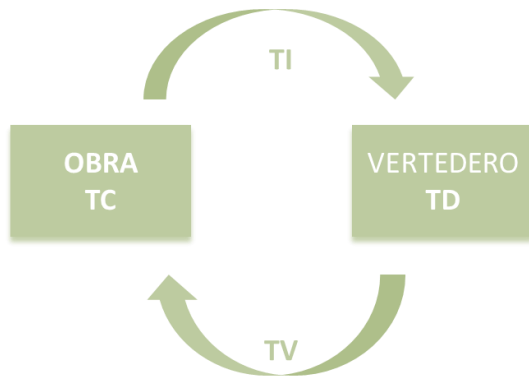
¹ En función del número de ejes. Establecido por el Ministerio de Fomento

obra a la hora de elegir el procedimiento de excavación y al diseñar la organización espacial de la obra.

Otra razón que hará caer en picado el rendimiento estimado del equipo excavador es la no existencia, de forma continua e ininterrumpida, en la obra y cerca de él, de equipos a los que verter las tierras extraídas. Hay que evitar a toda costa que la excavadora deba parar esperando que haya un vehículo de transporte dispuesto a ser llenado. Evitar periodos de espera innecesarios, o lo que es lo mismo, evitar el coste ineludible de una máquina excavadora parada, es lo que hace necesario el cálculo de la secuencia eficaz de camiones asistiendo a la máquina que excava.

Suponemos que el procedimiento de excavación elegido y la organización espacial de la obra de tierra permiten la primera de las necesidades anteriores: que los equipos de transporte puedan llegar lo más cerca posible del equipo excavador.

El ciclo completo que hace un camión para evacuar las tierras excavadas por una máquina excavadora es:



$$T_{\text{ciclo}} = TC + TI + TD + TV$$

Siendo:

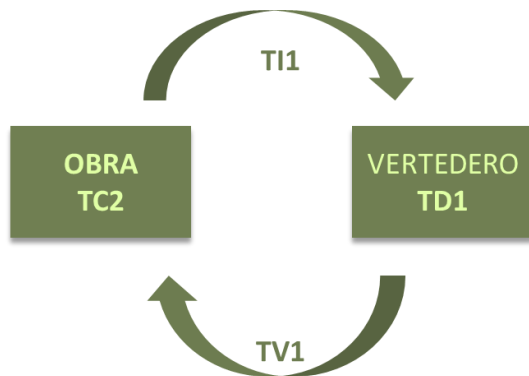
TC = Tiempo de carga

TI = Tiempo ida al vertedero

TD = Tiempo descarga

TV = Tiempo de vuelta

Evidentemente, este ciclo será continuo y la excavadora no dejará de cargar tierras a los camiones y, por tanto, no permanecerá parada si se añade un segundo camión y ocurre lo siguiente:



$$TC2 \geq TI1 + TD1 + TV1$$

Siendo

TC2 = Tiempo carga 2º camión

TI1 = Tiempo ida 1º camión

TD1 = Tiempo descarga 1º camión

TV1 = Tiempo vuelta 1º camión

Habrà sido pues suficiente con programar una secuencia formada por una máquina excavando y dos camiones transportando.

Por el contrario, si el rendimiento con el que trabaja la máquina, la distancia al vertedero, la facilidad que el vertedero ofrece al camión para descarga, y/o la propia capacidad del volquete o bañera del camión, hacen que la máquina haya terminado de cargar el segundo camión antes de que el primero haya terminado su ciclo completo, será necesario incorporar un tercer camión a la secuencia. Y tantos como sean necesarios para conseguir el objetivo final que es que la excavadora únicamente emplee su tiempo en excavar.

6 Cierre

El tiempo de carga depende del rendimiento del equipo excavador y del coeficiente de esponjamiento que experimentan las tierras al extraerlas y verterlas.

El tiempo de ida y de vuelta dependen de la distancia al vertedero y de las condiciones del tráfico.

El tiempo de descarga en el vertedero depende de sus condiciones.

El coste del transporte no depende de nada de esto. Su coste es función del volumen de tierra transportada.

Pero el coste de la excavación sí que depende de las horas que la máquina está a la obra, trabajando o no.

El número de horas que la máquina está parada depende del número de camiones que trabajan simultáneamente.

El menor coste del movimiento de tierras se conseguirá cuando la máquina no pare de excavar, es decir, cuando hay en la obra suficientes camiones para que ocurra esto.