

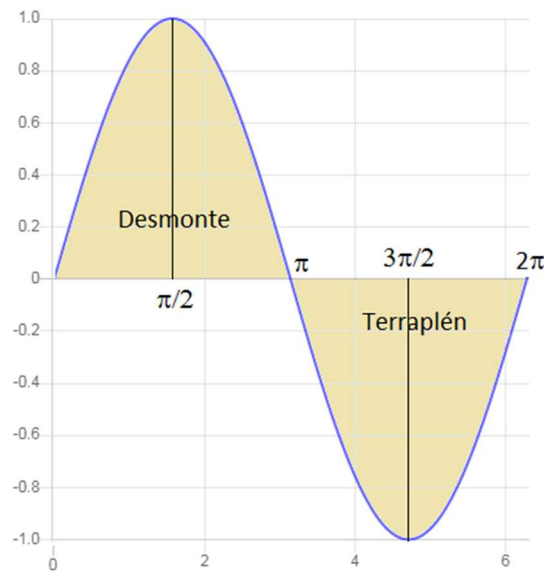
DIAGRAMA DE MASAS

Procedimientos de Construcción. Prof. Víctor Yepes

PROBLEMA 1. Sea el perfil teórico de un terreno representado por $\sin(x)$ entre los puntos 0 y 2π , donde la rasante de la carretera es $y = 0$. Calcular la distancia de transporte media entre el desmonte y el terraplén, así como el diagrama de masas.

Solución:

En el caso planteado en este problema, la representación del perfil del terreno y de la rasante de la vía es la siguiente:



Suponiendo que no existen cambios de volumen del terreno en banco al terraplén y que todo el material es aprovechable, entonces todo el desmonte se usará en el terraplén. La distancia de transporte para la compensación es la que une los centros de gravedad de ambos volúmenes, que en este caso es igual a π .

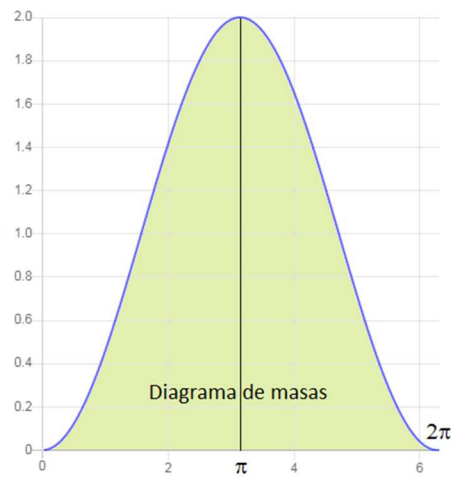
El diagrama de masas será la integral de los volúmenes de desmontes menos los terraplenes a lo largo del tramo considerado. De esta forma,

$$m(x) = \int \sin x \cdot dx = -\cos x + C$$

Como en el origen $m(0) = 0$, entonces $C = 1$. De esta forma, el diagrama de masas queda expresado como sigue:

$$m(x) = -\cos x + 1$$

Se representa de la siguiente forma:



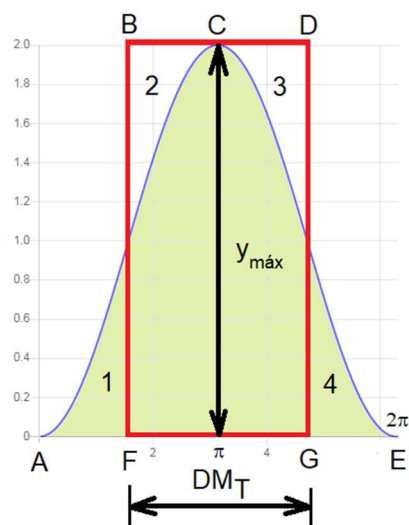
Se puede observar que el máximo del diagrama de masas, situado a la distancia π del origen, coincide con el punto de inflexión del perfil del terreno, donde se encuentra el paso de desmontes a terraplenes.

Los diagramas de masa son una herramienta analítica útil para obtener información sobre el volumen del producto transportado a diferentes distancias y compensaciones longitudinales. Entre las secciones correspondientes a los puntos de intersección de una horizontal cualquiera con el diagrama de masas, existe compensación entre desmonte y terraplén. El volumen total de material a transportar está dado por la ordenada máxima

El área de cada onda o cámara de compensación respecto a una horizontal mide el momento de transporte. El área dividida por la ordenada máxima es la distancia media de transporte. Existe entonces un rectángulo de área equivalente al área de la onda y que tiene por altura el volumen de tierra a transportar.

En la figura puede verse que el área ACE es igual a la FBDG, así como que el área 1 es igual al área 2, y también que el área 3 es la misma que el área 4. De esta forma, se puede despejar la distancia media de transporte:

$$DM_T = \frac{\text{área de la onda o cámara}}{\text{ordenada máxima}}$$



El área de la cámara (ACE) se puede calcular integrando la función del diagrama de masas:

$$A_{ACE} = \int_0^{2\pi} (-\cos x + 1) \cdot dx = 2\pi$$

Por tanto, la distancia media de transporte sería:

$$DM_T = \frac{2\pi}{2} = \pi$$

Como se puede comprobar, es la misma distancia que habíamos calculado antes, que corresponde a la separación entre los centros de gravedad del desmonte y del terraplén.

PROBLEMA 2. Sea un perfil de movimiento de tierras de una obra lineal expresado por la siguiente función:

$$y = -0,01x + 3$$

Donde x es la distancia, que empieza en 0 m y termina en 500 m. Por otra parte, y indica la cota, en metros, del desmonte ($y > 0$) o del terraplén ($y < 0$). Determinar el diagrama de masas del movimiento de tierras, por metro de ancho y medido sobre perfil, suponiendo que la unidad de volumen de desmonte en banco es igual a la del terraplén una vez compactado y la distancia media de transporte. Determinar qué cambio deberíamos hacer en la rasante para que el volumen del desmonte coincida con el del terraplén y averiguar si hay un cambio en la distancia de transporte.

Solución:

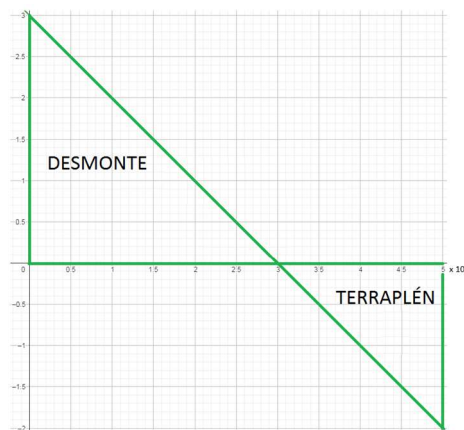
En la figura siguiente se ha dibujado el perfil del desmonte y el terraplén. Se puede observar que existe un exceso de desmonte que debería ir a vertedero. En efecto, por metro de ancho y medido sobre perfil:

$$V_{desmonte} = \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot 3 = 450 \text{ m}^3$$

Y en el caso del terraplén:

$$V_{terraplén} = \frac{1}{2} \cdot (500 - 300) \cdot 2 = 200 \text{ m}^3$$

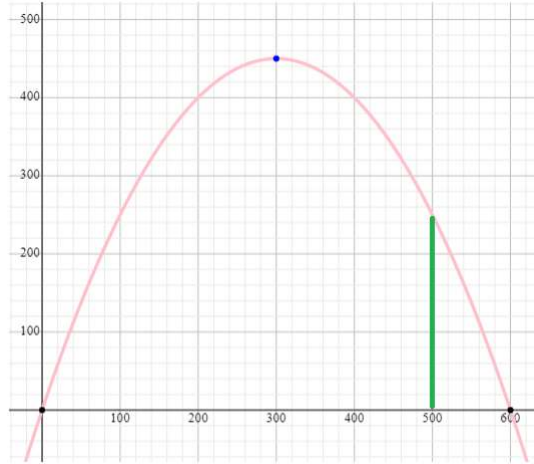
Por tanto, existen 250 m^3 que deben ir a vertedero.



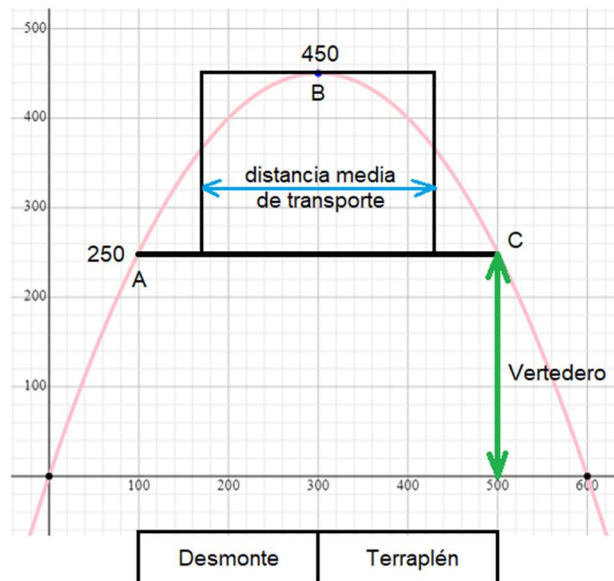
Si integramos esta función, obtendremos el diagrama de masas:

$$\int (-0,01x + 3) \cdot dx = -0,005x^2 + 3x + C$$

Esta función, asumiendo $C = 0$, tiene la siguiente forma:



En el diagrama de masas se observa que en $x = 500$, existe un exceso de 250 m^3 de material que debería ir a vertedero. Además, el máximo se encuentra en $x = 300$, que es exactamente donde se pasa del desmonte al terraplén.



Para calcular la distancia media de transporte, evaluamos en primer lugar el área de la cámara (ABC):

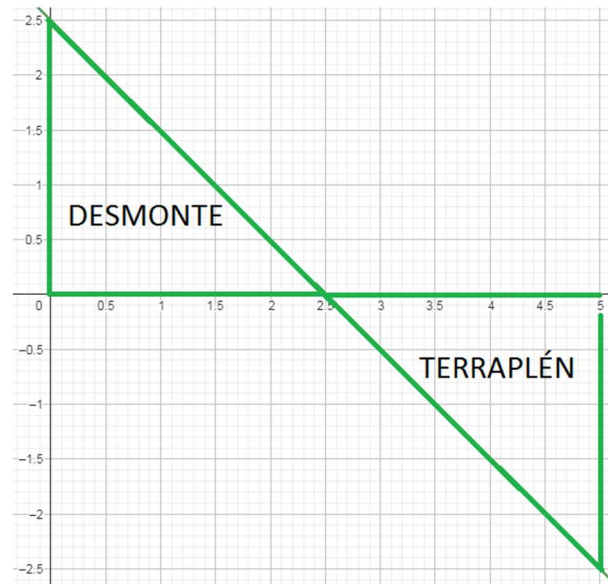
$$A_{ABE} = \left(\int_{100}^{500} (-0,005x^2 + 3x) \cdot dx \right) - (500 - 100) \cdot 250 = 53.333,333$$

Por tanto, la distancia media de transporte sería:

$$DM_T = \frac{53.333,333}{450 - 250} = 266,67 \text{ m}$$

Para que el diagrama de masas compensara exactamente el volumen de desmonte y terraplén, entonces éste se debería anular en $x = 500$. En este caso, la parábola debería tener un máximo en $x = 250$, por lo que el paso del desmonte a terraplén se debería dar en ese punto. Esto se consigue subiendo la rasante 0,5 m. De este modo:

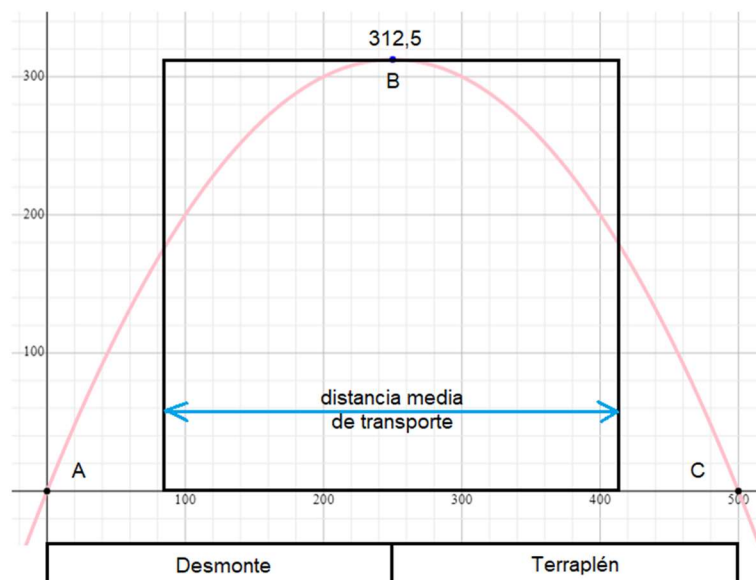
$$y = -0,01x + 2,5$$



Si integramos esta función, obtendremos el diagrama de masas:

$$\int (-0,01x + 2,5) \cdot dx = -0,005x^2 + 2,5x + C$$

Esta función, asumiendo $C = 0$, tiene la siguiente forma:



Como era de prever, el máximo se encuentra en $x = 250$, que es donde se pasa de desmonte a terraplén tras subir la rasante 0,50 m.

Para calcular la distancia media de transporte, evaluamos en primer lugar el área de la cámara (ABC):

$$A_{ABC} = \int_0^{500} (-0,005x^2 + 2,5x) \cdot dx = 104.166,667$$

Por tanto, la distancia media de transporte sería:

$$DM_T = \frac{104.166,667}{312,5} = 333,33 \text{ m}$$

Que, como se puede comprobar, corresponde a la distancia entre los centros de gravedad del desmonte y del terraplén.

PROBLEMA 3. Para la compensación de tierras de un tramo de movimiento de tierras de una obra lineal se estudian los perfiles transversales de un tramo de 3 km y se obtienen los siguientes datos.

	Volúmenes perfiles desmonte (m³)	Volúmenes perfiles terraplén (m³)
PK 0+000 a PK 0+500	70.000	25.000
PK 0+500 a PK 2+000	110.000	90.000
PK 2+000 a PK 3+000		20.000

Sabiendo que:

- El volumen de los desmontes utilizable para la compensación de tierras se estima en el 80 % del total.
- Los terraplenes necesitan para su cimiento una sobreexcavación que supone un incremento en su medición de un 10 %.
- Las tierras de sobreexcavación de los fondos de terraplén se empujan a ambos lados de la traza y no necesitan vertedero.
- La relación entre el volumen en banco y el volumen compactado es de 0,95.

Se pide:

- a) Dibujar el diagrama de masas para la compensación de tierras e indicar las necesidades de préstamos y vertederos.
- b) Considerando como factor de elección el menor coste de transporte, fijar:
 - Ubicación idónea para la obtención de préstamos, indicando la distancia media de transporte.
 - Ubicación idónea para el vertido de las tierras de los desmontes no útiles para terraplenes, indicando la distancia media de transporte.
 - Distancia media de transporte del material compensado.

Solución:

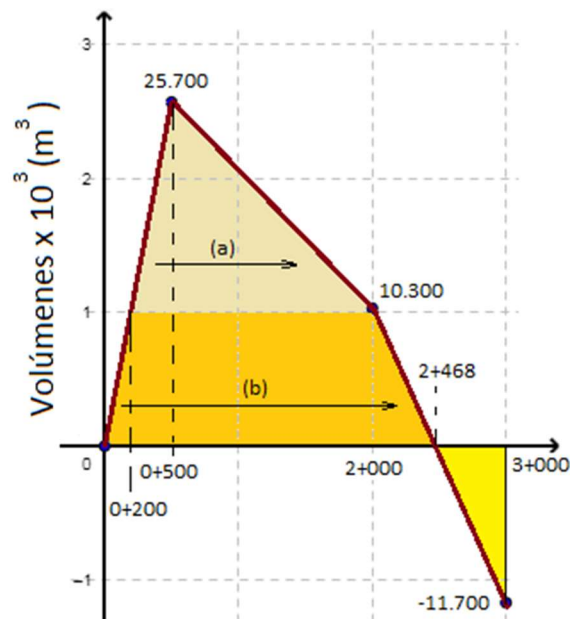
Calculemos en primer lugar los volúmenes en cada tramo, expresados en volumen compactado en el terraplén:

	P.K. 0+000 al 0+500	P.K. 0+500 al 2+000	P.K. 2+000 al 3+000
Desmonte	70.000 x 0,80 x 0,95	110.000 x 0,80 x 0,95	
Terraplén	25.000 x 1,10	90.000 x 1,10	20.000 x 1,10
Vertedero	70.000 x 0,20 x 0,95	110.000 x 0,20 x 0,95	
Volúmenes acumulados	53.200 – 27.500	25.700 + (83.600 – 99.000)	10.300 + (0 – 22.000)

Resolviendo las operaciones:

	P.K. 0+000 al 0+500	P.K. 0+500 al 2+000	P.K. 2+000 al 3+000
Desmonte	53.200	83.600	
Terraplén	27.500	99.000	22.000
Vertedero	13.300	20.900	
Volúmenes acumulados	25.700	10.300	- 11.700

El diagrama de masas queda de la siguiente forma:



Ubicación del vertedero:

Volumen de material a vertedero, V_v :

$$V_v = 13.300 + 20.900 = 34.200 \text{ m}^3$$

La distancia al vertedero será, d_v :

$$d_v = \frac{13.300 \cdot \left(\frac{0,5 + 0}{2}\right) + 20.900 \cdot \left(\frac{2 + 0,5}{2}\right)}{34.200} = 0,861 = P.K. 0 + 861$$

El préstamo de material se necesita en el último tramo, a la siguiente distancia:

$$d_p = \frac{3 + 2,468}{2} = 2,734 = P.K. 2 + 734$$

Para el cálculo de la distancia media de transporte del material compensado, necesitamos hacer las siguientes operaciones.

$$V_{desmonte} = 53.200 + 83.600 = 136.800 \text{ m}^3$$

Para calcular la distancia media de transporte se calcula de la siguiente forma:

$$DM_T = \frac{\sum(V_i \cdot D_i)}{\sum V_i}$$

En este caso, existen dos canteras de compensación, una de forma triangular y otra trapezoidal.

$$DM_T = \frac{(a) + (b)}{136.800}$$

Calculemos dichas áreas de las dos canteras de compensación:

$$(a) = (25.700 - 10.300) \cdot \left(\frac{0,5 + 2}{2} - \frac{0,5 + 0,2}{2} \right) = 13.860$$

$$(b) = 10.300 \cdot \left(\frac{2 + 2,468}{2} - \frac{0,5 + 0}{2} \right) = 20.435,2$$

Por tanto,

$$DM_T = \frac{13.860 + 20.435,2}{136.800} = 0,251 \text{ km}$$

Referencias:

YEPES, V. (1995). **Maquinaria de movimiento de tierras**. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. SP.UPV-264. 144 pp.

YEPES, V. (1997). [Equipos de movimiento de tierras y compactación. Problemas resueltos](#). Colección Libro Docente n.º 97.439. Ed. Universitat Politècnica de València. 256 pág. Depósito Legal: V-4598-1997. ISBN: 84-7721-551-0.

YEPES, V. (2015). [Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción](#). Editorial Universitat Politècnica de València, 155 pp. ISBN: 978-84-9048-301-5.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](#).

