

# Algoritmo de cálculo de áreas de secciones transversales para terracerías de un proyecto geométrico de carreteras

Zaragoza Grifé J. N.<sup>1</sup>, Alonso Salomón L.<sup>2</sup>, López Sánchez R.<sup>3</sup>  
Recibido: 19 de enero de 2006 – Aceptado: 23 de junio de 2006

## RESUMEN

En este artículo se muestran las bases teóricas y el desarrollo de un algoritmo para el cálculo de áreas totales de excavación (corte) y relleno (terraplén) de una sección transversal de construcción de una carretera. El desarrollo parte de la conceptualización de la sección transversal como una superposición de dos perfiles definidos mediante puntos (x,y): Un perfil representa el terreno natural y el otro representa la sección de construcción de la carretera. Se aplican conceptos de cálculo integral y funciones discretas para la identificación de figuras simples que hagan práctica la obtención de las áreas totales y su implementación en un programa de un paquete computacional. El resultado final es una serie de pasos descritos que se pueden programar en cualquier lenguaje de computadora que soporte arreglos, listas ligadas o colecciones de datos. Se hace énfasis en la obtención del algoritmo tomando como base las ciencias básicas que forman parte de las licenciaturas en ingeniería, con el fin de mostrar a los lectores que comienzan a estudiar una carrera en ingeniería que un procedimiento que se utiliza en la práctica profesional tiene como base los conocimientos que se adquieren en los inicios de estas licenciaturas. Finalmente se hacen recomendaciones y sugerencias para la extensión de utilización de este algoritmo en la construcción de plataformas de terracerías.

**Palabras Clave:** Cuantificación de carreteras, secciones transversales de carreteras, Algoritmos para carreteras.

---

## Algorithm for calculating cut and fill cross-sectional areas on a geometric highway project

### ABSTRACT

This paper shows the theoretical basis and the development of an algorithm for the calculation of cut and fill areas of a cross section on a highway construction. Its development departs from the conceptualization of the cross section as the superposition of two profiles defined by a set of points (x,y). One of the profiles represents the section of the natural land and the other represents the highway-construction section. Concepts of Integral Calculus and Discreet Functions are applied for the identification of simple figures which ease the task of obtaining total areas and their implementation in a computer program. The final result is a series of steps that can be implemented on any programming language that supports, linked lists or data arrays. Basic Sciences were taken like point of departure for the development of the algorithm in order to motivate the readers who begin studying a career in Civil Engineering; emphasizing that a professional procedure actually used has its basis on the knowledge that is acquired during the initial periods of these careers. Finally recommendations and suggestions for the extended use of this algorithm are made while using it in the construction of foundation platforms.

**Keywords:** Volumes in Highways, Cross Section on Highways, Algorithms on Highways.

---

<sup>1</sup> Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Construcción. FIUADY zgrife72@tunku.uady.mx

<sup>2</sup> Profesor de Carrera del Cuerpo Académico de Geotecnia. FIUADY

<sup>3</sup> Profesor de Carrera del Cuerpo Académico de Ciencias Básicas. FIUADY

## **INTRODUCCIÓN**

El diseño de una carretera involucra actualmente varias disciplinas, entre ellas se pueden mencionar: la topografía, la fotogrametría, los sistemas GIS, las cuales a su vez utilizan a la geometría cartesiana, la trigonometría y el cálculo entre otras. Una de las partes de gran importancia del diseño-construcción de una carretera es la obtención de los volúmenes de material de excavación (corte) y de relleno (terraplén), para la elaboración de una propuesta sustentable (Montes de Oca, 1996). Los volúmenes de material se calculan a partir de las áreas de las secciones transversales de la carretera, las cuales se definen mediante la superposición del perfil transversal de construcción de la carretera sobre el perfil transversal del terreno natural. Esto genera tres escenarios a considerar: donde solamente existe el terraplén, donde existe solamente el corte y donde existen ambos. Para los dos primeros casos es práctico utilizar fórmulas geométricas simples. Sin embargo para el tercer caso la utilización de fórmulas se torna impráctica. Es para este caso que fue desarrollado un algoritmo para el cálculo de esas áreas compuestas (Corte – Terraplén) de fácil implementación en un paquete computacional. El paquete computacional que implementa este algoritmo se ha denominado PGeo el cual fue financiado mediante recursos del proyecto PRIORIFING-04-004. En este artículo se presenta el desarrollo y diseño de este algoritmo teniendo como propósito mostrar al lector que la gran mayoría de los métodos utilizados en la ingeniería tienen como base las ciencias básicas. Se considera que este artículo es una buena lectura que puede recomendarse para los estudiantes de ingeniería civil que se encuentran en la fase inicial del estudio de su carrera, con el fin de que se den cuenta que todo aquello que estudian en la fase inicial es la base para metodologías profesionales y de amplia utilización.

---

## **METODOLOGÍA**

La serie de pasos que culminan con la obtención del algoritmo computacional son mostrados en esta sección. Primero se definen las variables del

problema y luego se desarrolla el procedimiento. El problema al tener carácter de tipo geométrico requiere de plantear un ejemplo hipotético para su mejor percepción. En la figura 1 se muestran las partes que conforman a la sección transversal típica. Estas partes se describen a continuación. El perfil del terreno se obtiene de manera simplista mediante un procedimiento topográfico conocido como nivelación, generalmente se realiza con un nivel de mano o plancheta. Generalmente se toma desde el Eje central de la carretera hacia los lados izquierdo y derecho respectivamente. El perfil del terreno puede constar de varios puntos para los cuales es necesario conocer la distancia al eje central y su nivel. El perfil de construcción de la carretera puede incluir varios elementos. El principal se conoce como subrasante. Existen otros elementos secundarios que dan forma al perfil de construcción tales como las cunetas y otras obras de drenaje pluvial. Es de notarse que al superponer los dos perfiles se forman regiones para corte y también para terraplén, esto dependerá de la topografía del terreno y del nivel del eje central de la carretera.

De forma constructiva y por las propiedades de los materiales excavados o utilizados para el relleno aparece el concepto conocido como talud que puede ser de terraplén o de corte el cual es definido por el ángulo de fricción del material y es variable según las propiedades de éste. Dependiendo de los niveles de cada perfil y del talud de los materiales que intervienen en el proceso constructivo, aparecen las intersecciones de los perfiles conocidas como cerros. Cabe mencionar que solamente interesan las intersecciones laterales finales y no así las que se dan en medio de la sección transversal.

La meta final es obtener cuanta área existe de corte y cuanta de terraplén, dada una sección transversal con valores para los datos antes definidos.

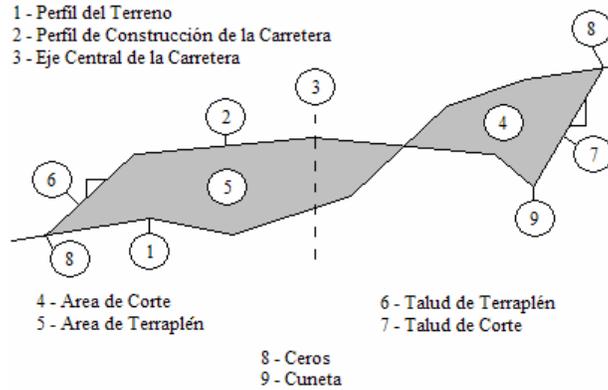


Figura 1. Sección Transversal con corte y terraplén.

Para desarrollar el algoritmo, se hará referencia a un problema ya resuelto mediante el cálculo integral para luego hacer una analogía y finalmente derivar una solución.

De acuerdo con la Figura 2 un problema típico de cálculo integral es el de obtener el área de regiones limitadas por dos o más funciones continuas. Es trivial la mayoría de las veces encontrar las intersecciones para poder conocer los límites de integración mediante la resolución del sistema de ecuaciones formado por las funciones que limitan las regiones. Para saber si una región es de corte o una de terraplén basta diferenciar cual es el perfil que tiene la

ordenada mas alejada. En el caso del terraplén el perfil de construcción deberá tener la ordenada más alejada. Viceversa en el caso del corte. Hasta aquí el problema parece simple y trivial. Sin embargo los perfiles de construcción y del terreno respectivamente no son funciones continuas. Por esta razón el cálculo integral tal y como se utiliza no es aplicable de forma directa para este problema. Sin embargo es factible dar un paso válido al considerar a los perfiles como funciones discretas formadas por segmentos de recta, los cuales unen los puntos obtenidos en la nivelación y en el diseño de la sección de construcción. En la figura 3 se muestran las mismas funciones pero ya como funciones discretas.

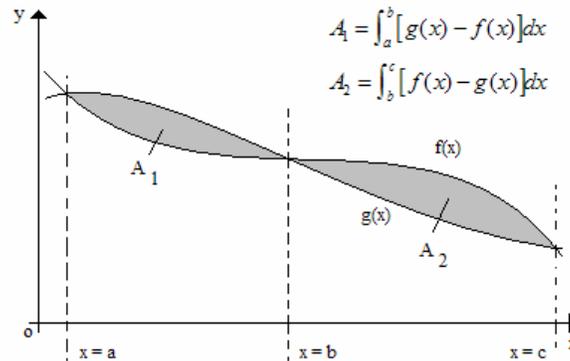


Figura 2. Problema típico para el cálculo de áreas entre funciones continuas mediante cálculo integral.

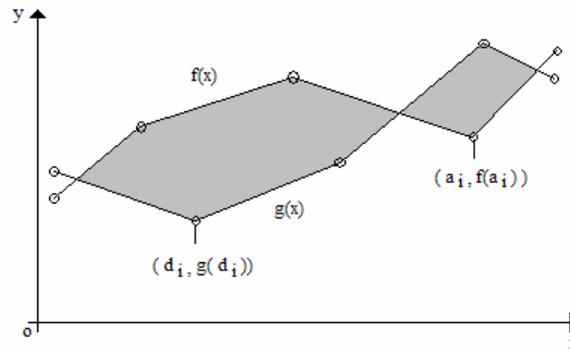


Figura 3. Perfiles del Terreno y de Construcción representados como funciones discretas.

$$f(x) = \begin{cases} m_i x + b_i & a_i \leq x < a_{i+1} \\ m_{i+1} x + b_{i+1} & a_{i+1} \leq x < a_{i+2} \\ \dots & \dots \\ m_n x + b_n & a_n \leq x < a_{n+1} \end{cases} \quad (1)$$

En la ecuación (1) se muestra una función discreta tomada de la Figura 3 como un conjunto de segmentos de recta definidos para cada intervalo representado por los puntos de los perfiles. Hasta este paso se tomado a cada serie de puntos representando a los perfiles como funciones discretas. El siguiente paso es determinar los ceros iniciales y finales para los dos perfiles. A este paso se le denomina recorte de perfiles. Este recorte se resuelve utilizando una adaptación del algoritmo de geometría computacional

descrito en (Schneider, 2003) y es conocido como intersección de segmentos de recta. Más adelante en el ejemplo de utilización se describe a detalle.

Teniendo las funciones discretas y los ceros inicial y final conocidos entonces el problema queda como el que se muestra en la Figura 4. Cabe mencionar que los puntos antes de la intersección inicial y después de la intersección final son desechados.

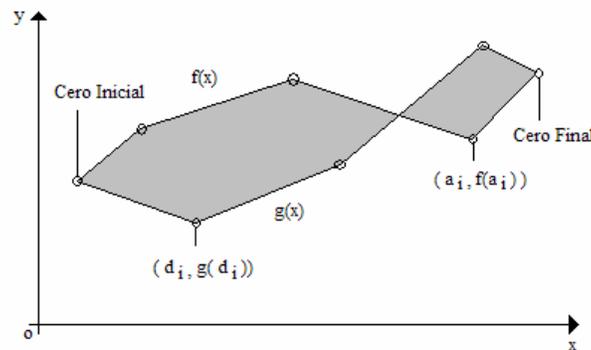


Figura 4. Perfiles recortados

Al final de este paso de recorte de perfiles, se aplica un procedimiento para normalizar los perfiles y pueda ser práctico el cálculo de sus áreas. El proceso de normalización de los perfiles consiste en proyectar de manera paralela al eje de referencia vertical (Eje Y - Figura 4) cada uno de los puntos de un perfil sobre el otro; si en el otro perfil no existe un punto entonces

habrá que agregarlo y viceversa. En la figura 5 se muestra como quedan los perfiles con los puntos añadidos. También se muestra que al unir de manera vertical cada uno de los puntos de cada perfil se identifican solamente tres tipos de figuras simples: el triángulo, el trapecio y el triángulo doble unido por el vértice.

También se observa para cada una de esas figuras que su aportación al área total de corte o de terraplén a la sección transversal, depende del signo del resultado de realizar la diferencia de ordenadas de los puntos correspondientes; Por ejemplo: si a la ordenada de un

punto del perfil de construcción se le resta la ordenada del punto correspondiente en el perfil del terreno y se obtiene un resultado positivo entonces se trata de un espesor de terraplén de lo contrario se trata de un espesor de corte.

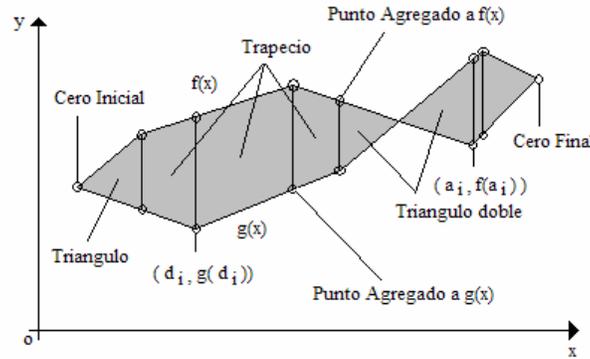


Figura 5. Perfiles Normalizados y figuras geométricas identificadas.

Para calcular el área de cada una de las figuras simples se utilizan las fórmulas que son descritas en

la tabla 1. Estas fórmulas se deducen utilizando álgebra y geometría simple (Fenves, 1976).

Tabla 1. Fórmulas de cálculo de área para figuras simples identificadas en la sección transversal.

Figura Simple	Fórmulas
	$C y_1 = f(a_{i+1}) - g(a_{i+1})$ $D x_1 = a_{i+1} - a_i$ $A = \frac{1}{2} C y_1 \cdot D x_1$ <p>Si <math>C y_1 &gt; 0 \Rightarrow A</math> es terraplén                      Si <math>C y_1 &lt; 0 \Rightarrow A</math> es corte</p>
	$C y_2 = f(a_i) - g(a_i)$ $C y_3 = f(a_{i+1}) - g(a_{i+1})$ $D x_2 = a_{i+1} - a_i$ $A = \frac{1}{2} (C y_2 + C y_3) \cdot D x_2$ <p>Si <math>C y_2 &gt; 0 \wedge C y_3 &gt; 0 \Rightarrow A</math> es terraplén                      Si <math>C y_2 &lt; 0 \wedge C y_3 &lt; 0 \Rightarrow A</math> es corte</p>
	$C y_4 = f(a_i) - g(a_i)$ $C y_5 = f(a_{i+1}) - g(a_{i+1})$ $D x_3 = a_{i+1} - a_i$ $A_1 = \frac{C y_4^2 \cdot D x_3}{2 \cdot ( C y_4  +  C y_5 )}$ $A_2 = \frac{C y_5^2 \cdot D x_3}{2 \cdot ( C y_4  +  C y_5 )}$ <p>Si <math>C y_4 &gt; 0 \Rightarrow A_1</math> es terraplén                      Si <math>C y_4 &lt; 0 \Rightarrow A_1</math> es corte                      Si <math>C y_5 &gt; 0 \Rightarrow A_2</math> es terraplén                      Si <math>C y_5 &lt; 0 \Rightarrow A_2</math> es corte</p>

**RESULTADOS**

A partir de lo expuesto se propone el algoritmo para el cálculo de las áreas totales de corte y terraplén de una sección transversal de carretera dados dos perfiles superpuestos conocidos: el terreno y el perfil de construcción.

Paso 1 – Proporcionar todos los puntos conocidos del terreno. Esta información se obtiene de la libreta de nivelación para secciones transversales. Se tendrá que adaptar para formar un arreglo que contenga a los puntos (x,y) que definen e perfil del terreno.

Paso 2 – Proporcionar todos los puntos conocidos del perfil de construcción. Esta información se obtiene del diseño de la carretera tomando en cuenta las pendientes de drenaje, el ancho de la superficie de rodamiento, la geometría y dimensiones de la cuneta y la contracuneta, así como las pendientes de los taludes de corte del terreno y terraplén del material utilizado para el relleno.

Paso 3 – Completados el Paso 1 y el Paso 2 se procede a realizar el recorte de los dos perfiles encontrando los puntos de intersección inicial y final es decir los “Ceros”. Este procedimiento se realiza utilizando el algoritmo citado en (Schneider, 2003).

Paso 4 – Se aplica el procedimiento de normalización a ambos perfiles insertando puntos faltantes correspondientes para cada perfil. Al final de este

paso ambos perfiles deben de tener el mismo número de puntos, además todos los puntos deberán de tener su correspondiente en el otro perfil compartiendo la misma abscisa.

Paso 5 – Inicializar a cero dos acumuladores. Uno para el área total de corte y otro para el área total de terraplén de la sección transversal.

Paso 6 – Se inicia este paso tomando el primer y siguiente punto de ambos perfiles. Se obtienen las diferencias en las ordenadas (Cy) y la diferencia en las abscisas (Dx). Se identifica a que figura pertenece por medio de los signos y los valores de las diferencias de las ordenadas y se calculan las áreas según la tabla 1 (Fenves, 1976). Se suman los valores obtenidos a los acumuladores de área inicializados en el paso 5, dependiendo de si es corte o terraplén.

Paso 7 – Se repite el paso 6 hasta que se analizan todos los puntos de ambos perfiles.

Paso 8 – Este es el paso final. Los valores de área total obtenidos en corte y terraplén se encuentran en los acumuladores que se inicializaron en el paso 5 y se fueron acumulando a lo largo de las iteraciones entre el paso 6 y el 7.

**EJEMPLO DE APLICACIÓN**

**Tabla 2. Datos del perfil del terreno de la Sección Transversal ejemplo con desniveles.**

	Perfil Izquierdo					Terreno	Perfil Derecho				
Desnivel	-0.50	-0.59	-0.71	-0.09	-0.02	8.200	0.87	0.67	0.77	0.95	1.50
Distancia	-20.50	-9.10	-2.70	-0.50	-0.402		3.20	6.202	7.00	9.00	16.80

**Tabla 3. Datos Perfil de Construcción.**

Cota de Subrasante	8.470
Distancia Hombro Izquierdo	6.430
Cota Hombro Izquierdo	8.340
Distancia Hombro Derecho	6.430
Cota Hombro Derecho	8.340
Talud Terraplén	1 : 3
Talud Corte	1 : 1.5

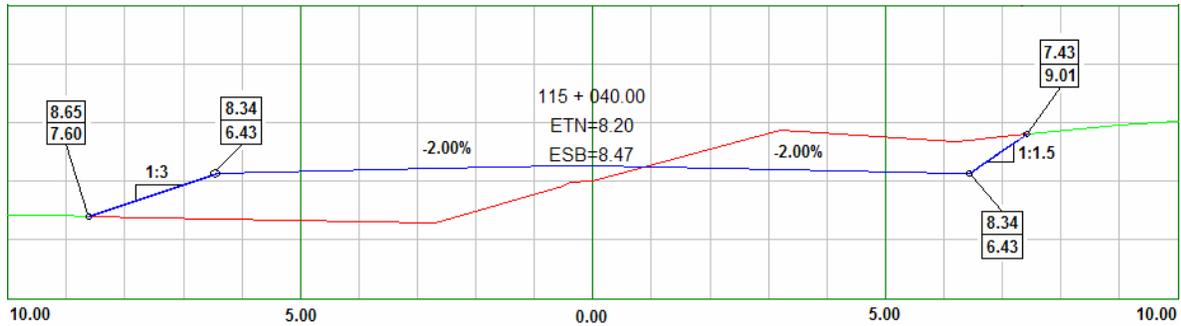


Figura 6. Ejemplo de Sección Transversal.

**Paso 1 – Determinación de arreglos de puntos (x,y) para el perfil del terreno.**

**Tabla 4. Datos del perfil del terreno de la sección transversal ejemplo con cotas.**

	Perfil Izquierdo					Terreno	Perfil Derecho				
Cotas	7.70	7.61	7.49	8.11	8.18	8.20	9.07	8.87	8.97	9.15	9.70
Distancia	-20.50	-9.10	-2.70	-0.50	-0.402		3.20	6.202	7.00	9.00	16.80

Para facilitar la comprensión de la información de los perfiles se han puesto en forma de tabla y la sección se ha dividido en izquierda y derecha.

**Tabla 5. Arreglos de puntos (x,y) para el perfil izquierdo y derecho del terreno.**

Perfil Izquierdo Terreno		Perfil Derecho Terreno	
Distancia (x)	Cota (y)	Distancia (x)	Cota (y)
0.000	8.200	0.000	8.200
0.402	8.180	3.200	9.070
0.500	8.110	6.202	8.870
2.700	7.490	7.000	8.970
9.100	7.610	9.000	9.150
20.500	7.700	16.800	9.700

**Paso 2 – Determinación de arreglos de puntos (x,y) para el perfil de construcción.**

**Tabla 6. Arreglos de Puntos (x,y) para el perfil de construcción izquierdo y derecho.**

Perfil Construcción Izquierdo		Perfil Construcción Derecho	
Distancia (x)	Cota (y)	Distancia (x)	Cota (y)
0.00	8.47	0.00	8.47
6.43	8.34	6.34	8.34

**Paso 3 – Encontrar las intersecciones del perfil de construcción con el perfil del terreno (ceros).**

De manera genérica la intersección de dos rectas para las cuales se conoce su pendiente y algún punto es:

$$x_t = \frac{m_2 \cdot x_3 - m_1 \cdot x_1 + y_1 - y_3}{m_2 - m_1} \tag{2}$$

$$y_t = \frac{m_1 \cdot y_3 - m_1 \cdot m_2 \cdot x_3 + m_1 \cdot m_2 \cdot x_1 - y_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2}$$

El único problema que tiene la ecuación (2) es que la diferencia de pendientes no puede ser cero, es decir no existen intersecciones cuando las pendientes son iguales puesto que los segmentos de recta serían paralelos. Los puntos  $(x_1, y_1)$  y  $(x_3, y_3)$  son respectivamente puntos de cada uno de los segmentos para los cuales se quiere probar su intersección. Las pendientes  $m_1$  y  $m_2$  son las pendientes de los dos segmentos de recta respectivamente. Cabe mencionar que siempre que las rectas no sean paralelas existirá un punto  $(x_t, y_t)$  que denote una intersección. Lo que interesa es saber si esa intersección cae dentro del dominio de cada uno de los segmentos. Para revisar esto se propone obtener las distancias entre el punto de intersección y los extremos de uno de los segmentos de recta. Entonces si suma de esas distancias es casi igual a la longitud del segmento mediante una tolerancia determinada entonces se considera que si se intersectan los segmentos.

Se procede a calcular los puntos de los segmentos del perfil de construcción con su talud de corte y terraplén:

Tomando el punto  $(x_1, y_1) = (6.43, 8.34)$  el cual es el hombro izquierdo de la sección transversal y con la ecuación de la recta en forma de punto – pendiente:

$$y = m(x - x_1) + y_1 \tag{3}$$

Se tiene que la cota para posible segmento en terraplén sería:

$$y = -0.33 \cdot (10000 - 6.43) + 8.34$$

$$y = -3289.5381$$

Se tiene que la cota para posible segmento en corte sería:

$$y = 6604.0962$$

Entonces se tienen dos segmentos de recta con las siguientes coordenadas:

**Tabla 7. Segmentos para probar intersecciones en corte y terraplén en la sección izquierda.**

Segmento	Punto 1		Punto 2	
	X	Y	X	Y
Corte	6.43	8.34	10000	6604.0962
Terraplén	6.43	8.34	10000	-3289.5381

Estos segmentos de recta se tienen que probar contra el perfil del terreno para encontrar la intersección coloquialmente denominada “cero”. Como ejemplo de cálculo se revisará el segmento de terraplén sobre el terreno izquierdo.

Se Calcula la pendiente del segmento de recta del perfil de construcción:

Como es la pendiente del talud de terraplén entonces:

$$m_1 = -\frac{1}{3}$$

Los puntos se toman de la Tabla 7  $(x_1, y_1) = (6.43, 8.34)$

Se Toma como ejemplo el segmento del perfil del terreno con coordenadas:

$$(x_3, y_3) = (2.70, 7.49)$$

$$(x_4, y_4) = (9.10, 7.61)$$

La pendiente se calcula como:

$$m_2 = \frac{7.61 - 7.49}{9.10 - 2.70} = \frac{0.12}{6.40} = 0.01875$$

Utilizando las ecuaciones (2) se calcula la intersección dando como resultado:

$$(x_t, y_t) = (8.65, 7.60)$$

Se obtiene la distancia del punto 3 al punto de intersección, la distancia del punto 4 al punto de intersección y la distancia del punto 3 al 4 respectivamente:

$$d3t = \sqrt{(8.65 - 2.70)^2 + (7.60 - 7.49)^2} = 5.951$$

$$d4t = \sqrt{(8.65 - 9.10)^2 + (7.60 - 7.61)^2} = 0.45$$

$$d34 = \sqrt{(2.70 - 9.10)^2 + (7.49 - 7.61)^2} = 6.401$$

Sumando  $d3t$  mas  $d4t$  se obtiene 6.401 que es igual a  $d34$  por lo que si se acepta a

$(x_t, y_t) = (8.65, 7.60)$  como punto de intersección del perfil de construcción con el terreno.

Cabe mencionar que hay que probar con todos los segmentos del terreno hasta encontrar con la intersección de no encontrarse entonces la sección se considera abierta y no se pueden realizar los cálculos.

Al final del paso 3 se tienen los siguientes perfiles del terreno y de construcción recortados respectivamente.

**Tabla 8. Arreglos de puntos (x,y) para el perfil izquierdo y derecho del terreno recortados con las intersecciones del perfil de construcción.**

Perfil Izquierdo Terreno Recortado	
Distancia (x)	Cota (y)
0.000	8.200
0.402	8.180
0.500	8.110
2.700	7.490
8.650	7.600

Perfil Derecho Terreno Recortado	
Distancia (x)	Cota (y)
0.000	8.200
3.200	9.070
6.202	8.870
7.000	8.970
7.430	9.010

**Tabla 9. Arreglos de puntos (x,y) para el perfil de construcción izquierdo y derecho recortados con las intersecciones del perfil de construcción.**

Perfil Construcción Izquierdo Recortado	
Distancia (x)	Cota (y)
0.000	8.470
6.430	8.340
8.650	7.600

Perfil Construcción Derecho Recortado	
Distancia (x)	Cota (y)
0.000	8.470
6.430	8.340
7.430	9.010

Evidentemente los dos perfiles (terreno y construcción) tienen diferente número de puntos, por lo que se procede al paso 4 que permite normalizar

los dos perfiles para que tengan el mismo número de puntos y se pueda realizar el cálculo de áreas.

**Paso 4 – Normalización de perfiles de terreno y construcción.**

En la Tabla 10 se muestra la conjunción de los dos perfiles compartiendo las mismas abscisas y

mostrando con un signo de interrogación las cotas desconocidas.

**Tabla 10. Arreglos de Puntos (x,y) por normalizar para la sección izquierda y derecha respectivamente.**

Sección Izquierda		
Distancia (x)	Cota (y) Construcción	Cota (y) Terreno
0.000	8.470	8.200
0.402	?	8.180
0.500	?	8.110
2.700	?	7.490
6.430	8.340	?
8.650	7.600	7.600

Sección Derecha		
Distancia (x)	Cota (y) Construcción	Cota (y) Terreno
0.000	8.470	8.200
3.200	?	9.070
6.202	?	8.870
6.430	8.340	?
7.000	?	8.970
7.430	9.010	9.010

Se calculará la primera cota desconocida del perfil de construcción de la sección izquierda a manera de ejemplificar el proceso. Se calcula la pendiente de la recta que se forma desde el primer punto conocido (0,8.47) hasta el punto (6.43, 8.34):

$$m = \frac{8.34 - 8.47}{6.43 - 0.00} = \frac{-0.13}{6.43} = -0.0202$$

Conocida la pendiente y sustituyendo en la ecuación (3):

$$y = -0.0202(x - 0.00) + 8.47$$

Entonces cuando  $x = 0.402$  entonces  $y = 8.46$ . De manera análoga se obtienen todas las cotas desconocidas de los perfiles. En la Tabla 11 se muestran todas las cotas calculadas y también los espesores, un espesor positivo indica terraplén y uno negativo indica corte. También se muestra en esta tabla el tamaño de paso entre los puntos ( $\Delta x$ ).

**Paso 5, 6 y 7 Cálculo de áreas de corte y terraplén parciales.**

El cálculo de las áreas se realiza mediante los valores de los espesores (Ci) y de los tamaños de los pasos entre las abscisas ( $\Delta x$ ) mostrados en la Tabla 11, así como las fórmulas de la Tabla 1.

Se calculará el área de corte y terraplén para el primer par de puntos de la sección izquierda como ejemplo.

Los espesores son  $(8.470 - 8.200 = 0.230)$  y  $(8.462 - 8.180 = 0.282)$  el tamaño de paso entre las abscisas  $(0.402 - 0.000 = 0.402)$ , para los dos primeros puntos de la sección izquierda. Debido a que los dos espesores son positivos entonces el tipo de área es un trapecio según lo mostrado en la Tabla 1. Por lo que el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\left( \frac{0.230 + 0.282}{2} \right) \cdot 0.402 = 0.103$$

De manera análoga se realizan todos los demás cálculos.

**Paso 8 Totales de área de corte y terraplén.**

Sumando los valores de las columnas de área de corte y área de terraplén de la Tabla 11 el resultado buscado es obtenido.

**Tabla 11 – Cálculo de áreas de la sección transversal.**

Sección Izquierda							
D	Construcción	Terreno	$\Delta x$	Esp. (Ci)	Tipo Área	Área Corte	Área Terraplén
0.000	8.470	8.200	-	0.230	-	-	-
0.402	8.462	8.180	0.402	0.282	Trapezio	-	0.103
0.500	8.460	8.110	0.098	0.350	Trapezio	-	0.031
2.700	8.415	7.490	2.200	0.925	Trapezio	-	1.403
6.430	8.340	7.559	4.230	0.781	Trapezio	-	3.608
8.650	7.600	7.600	4.420	0.000	Triángulo	-	1.726
Sub -Total						-	6.871
Sección Derecha							
D	Construcción	Terreno	$\Delta x$	Esp. (Ci)	Tipo Área	Área Corte	Área Terraplén
0.000	8.470	8.200	-	0.230	-	-	-
3.200	8.405	9.070	3.200	-0.665	Triangulo Doble	0.791	0.095
6.202	8.345	8.870	3.002	-0.525	Trapezio	1.786	-
6.430	8.340	8.899	0.228	-0.559	Trapezio	0.124	-
7.000	8.722	8.970	0.570	-0.248	Trapezio	0.230	-
7.430	9.010	9.010	0.430	0.000	Triángulo	0.053	-
Sub - Total						2.984	0.095
Total						2.984	6.966

## **DISCUSIÓN**

El algoritmo descrito en este artículo es de fácil implementación en una computadora digital mediante cualquier lenguaje de programación que permita el manejo de listas ligadas, colecciones o arreglos. No tiene ciclos anidados y las fórmulas que se aplican son simples. Cabe mencionar que el algoritmo descrito en este artículo se adapta muy bien a este problema en particular sin pretender ser un algoritmo para el cálculo de áreas en general. Sin embargo se adapta bien a este problema en particular.

---

## **CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS**

Se sugiere que el sistema de referencia se encuentre ubicado en el centro de la sección transversal. Los datos del perfil del terreno se dan como una serie de distancias a partir del centro indicando si son a la izquierda o a la derecha y las ordenadas se dan como desniveles con respecto de la cota de nivel del centro. Sin embargo fácilmente esta información se puede transformar a una lista de puntos (x,y).

Para el caso del perfil de construcción, por lo general solo se define el ancho de la superficie de rodamiento y su inclinación esta dada por el bombeo para drenaje pluvial como un porcentaje o también podría ser un porcentaje de sobre-elevación por curva horizontal. Otro factor que interviene es el de las pendientes de

los taludes de corte o terraplén según sea el caso. Además se deberá considerar los puntos adicionales que generarían las obras adicionales como cunetas y contracunetas. Sin importar cual sea la información que se considere siempre se podrá plantear como una lista de puntos (x,y) factible de ser procesada por este algoritmo.

Cabe mencionar que el algoritmo se puede extender para calcular las áreas totales de corte y terraplén de una plataforma de terracerías como las que se utilizan para desplantar bodegas o fraccionamientos. La única modificación que se tiene que realizar es que el perfil de construcción no dependerá de un ancho de rodamiento sino que dependerá del ancho que tenga la plataforma en donde se realice la sección transversal.

---

## **RECONOCIMIENTOS**

Este trabajo forma parte del proyecto financiado por el PRIORI según convenio FING-04-004 denominado "Desarrollo de un paquete computacional para el proyecto geométrico de carreteras y cuantificación de volúmenes y movimientos de tierra". Se agradece las valiosas aportaciones de los integrantes de los Cuerpos Académicos de Geotecnia y Ciencias Básicas que participaron en la elaboración de este trabajo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Fenves, S. (1976) Computer methods in civil engineering, Prentice Hall, London.

Montes de Oca (1996) Topografía, Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V., México.

Schneider P. J., Eberly D.H. (2003), Geometric tools for computer graphics, MK Publishers, Elsevier Science, USA.

---

Este documento se debe citar como:

Zaragoza Grifé J. N., Alonzo Salomón L., López Sánchez R. (2006). **Algoritmo de cálculo de áreas de secciones transversales para terracerías de un proyecto geométrico de carreteras**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-2, pp.25-35, ISSN: 1665-529X