

**CÁLCULO AUTOMÁTICO DE DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE  
APERTURA DE DERECHOS DE VÍA PARA DUCTOS**

Angel Menéndez, Emilio Lecertúa, Pablo García, Gustavo Salerno,  
Gabriel Amores y Marcos Pittau

INMAC S.A.  
J. Ingenieros 3417, San Isidro, Prov. Buenos Aires, Argentina  
E-mail: [angel.menendez@speedy.com.ar](mailto:angel.menendez@speedy.com.ar) - Web: <http://www.inmac.com.ar>

## RESUMEN

Se presenta un procedimiento de cálculo para determinar automáticamente la distribución longitudinal del volumen de suelo movilizado para efectuar la apertura de derechos de vía para ductos. El procedimiento es un afinamiento del algoritmo planteado en un trabajo previo para la determinación del volumen total de suelo movilizado, implementado en el software *DUCTO*. El nuevo método es validado mediante su aplicación a dos proyectos efectuados por INMAC en Perú, comparando sus resultados con cálculos manuales y con datos conforme a obra. Se muestra que se obtienen resultados con un nivel de precisión adecuado para los fines propuestos, a saber, definir y optimizar la estrategia de trabajo para la apertura.

**Palabras clave:** Apertura de derechos de vía, obras longitudinales, traza de ducto, volumen de suelo, software

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción de obras lineales, tales como ductos de petróleo y gas, requiere del descubrimiento temporario de una larga franja de terreno (el Derecho de Vía ó 'DDV', dentro del cual se encuentra la pista del ducto), y de su nivelación, previo a las operaciones de enterramiento. Consideraciones económicas y ambientales conducen al requerimiento de minimizar el volumen de suelo movilizado. En el V CICES (Menendez et al. 2010) se presentó un procedimiento automático para determinar el volumen total de suelo movilizado, implementado en el software *DUCTO*. Este procedimiento ha sido utilizado en la práctica, como una componente de la Tecnología del Gasoducto Verde (Salerno et al. 2011), de modo de seleccionar, entre varias trazas alternativas, la que implica la menor cantidad de volumen de suelo movilizado.

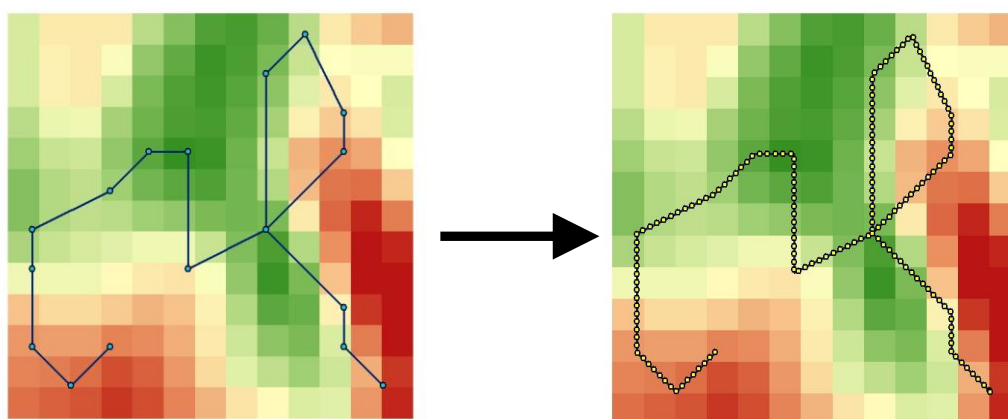
Ahora bien, así como el conocimiento del volumen total movilizado es importante para la toma de decisión en cuanto a la traza del ducto, el conocimiento de la distribución de ese volumen a lo largo de la pista es fundamental para definir y optimizar la estrategia de trabajo para la apertura. Siguiendo, entonces, con el desarrollo de *DUCTO*, en este trabajo se presenta el afinamiento de la metodología de cálculo de modo de proveer resultados confiables acerca de la distribución del volumen movilizado a lo largo de la pista con una resolución de 1 km. Esto ha requerido la reformulación del algoritmo y la introducción de un nuevo conjunto de criterios.

En este trabajo el nuevo algoritmo es descrito, y validado a través de su aplicación a dos proyectos de ducto, para los cuales INMAC participó aplicando la Tecnología del Gasoducto Verde: Pagoreni (80 km) y Cashiriari (46 km), ambos localizados en Perú. Los resultados provistos por *DUCTO* son comparados con los obtenidos manualmente en base al diseño y/o con los conforme a obra. Además, se analiza la sensibilidad de los resultados a los parámetros del modelo.

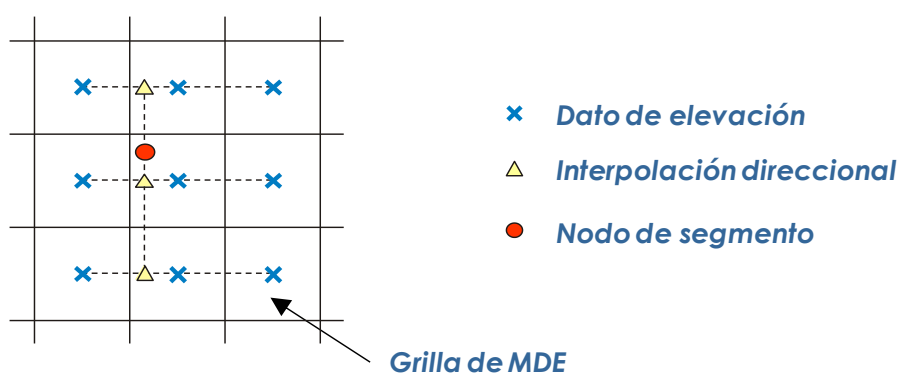
## 2. ALGORITMO

El algoritmo original procedía de acuerdo a los siguientes pasos: (a) segmentación de la traza; (b) nivelación longitudinal; (c) nivelación transversal (Menendez et al. 2010). El nuevo algoritmo combina los dos pasos de nivelación en un nuevo procedimiento con varios pasos.

Tal como se explicó en Menéndez et al. (2010), con el paso de segmentación se genera, a partir del 'conjunto original de nodos', el 'conjunto extendido de nodos', que son equiespaciados (Figura 1). La distancia entre nodos se elige del orden de los 10 m. Las elevaciones correspondientes a estos nodos se calculan a través de interpolación bilineal sobre los datos del Modelo Digital de Elevación - MDE - del terreno (Figura 2). De esta manera, se obtiene el perfil del terreno a lo largo de la traza.



**Figura 1.** Segmentación de la traza. Los cuadrados indican elevaciones de las celdas correspondientes al MDE.

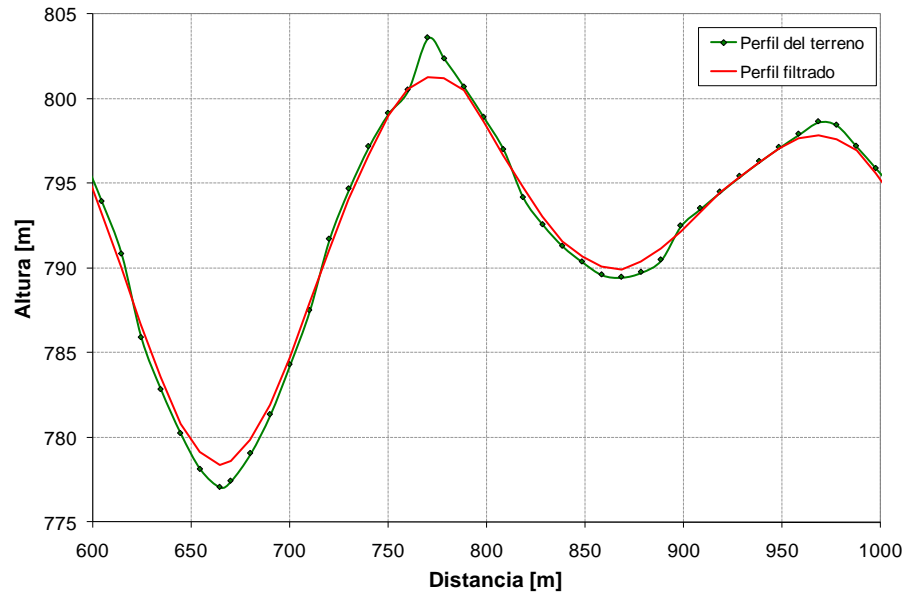


**Figura 2.** Interpolación bilineal.

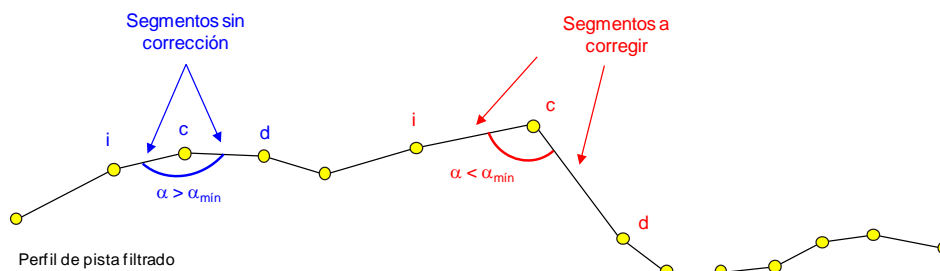
El próximo paso es calcular el perfil de diseño de la pista. Esto incluye las siguientes operaciones:

- i. Filtrado del perfil de terreno a través de un promedio móvil, con una ventana de 100 m de longitud (Figura 3a).
- ii. Chequeo (Figura 3b) y eventual corrección (como se explica en Menendez et al. 2010) del ángulo en el plano vertical, de modo de evitar ángulos de doblado demasiado cerrados.
- iii. Corrimiento vertical descendente del perfil (Figura 3c), de modo que el desmonte predomine por sobre el relleno, donde la escala del corrimiento es el valor medio de las diferencias positivas entre el perfil del terreno original y el filtrado/corregido.

Se introduce un criterio de modo de distinguir entre pendientes suaves y escarpadas. Para ello se obtiene una distribución longitudinal de pendiente media tomando la serie espacial de pendientes locales entre nodos sucesivos y filtrándola con una ventana espacial de 250 m. En base a ella se zonifica la traza en segmentos con pendientes menores al 20% – consideradas “suaves” – y mayores al 20% – consideradas “escarpadas”. Para los segmentos con pendiente suave el corrimiento vertical se toma directamente igual a la escala; en cambio, para los segmentos con pendiente escarpada el corrimiento se fija en la escala más la desviación estándar de la serie de diferencias positivas. De esta manera se tienen en cuenta las irregularidades más fuertes asociadas a las mayores pendientes.



a) Filtrado



b) Chequeo de ángulo

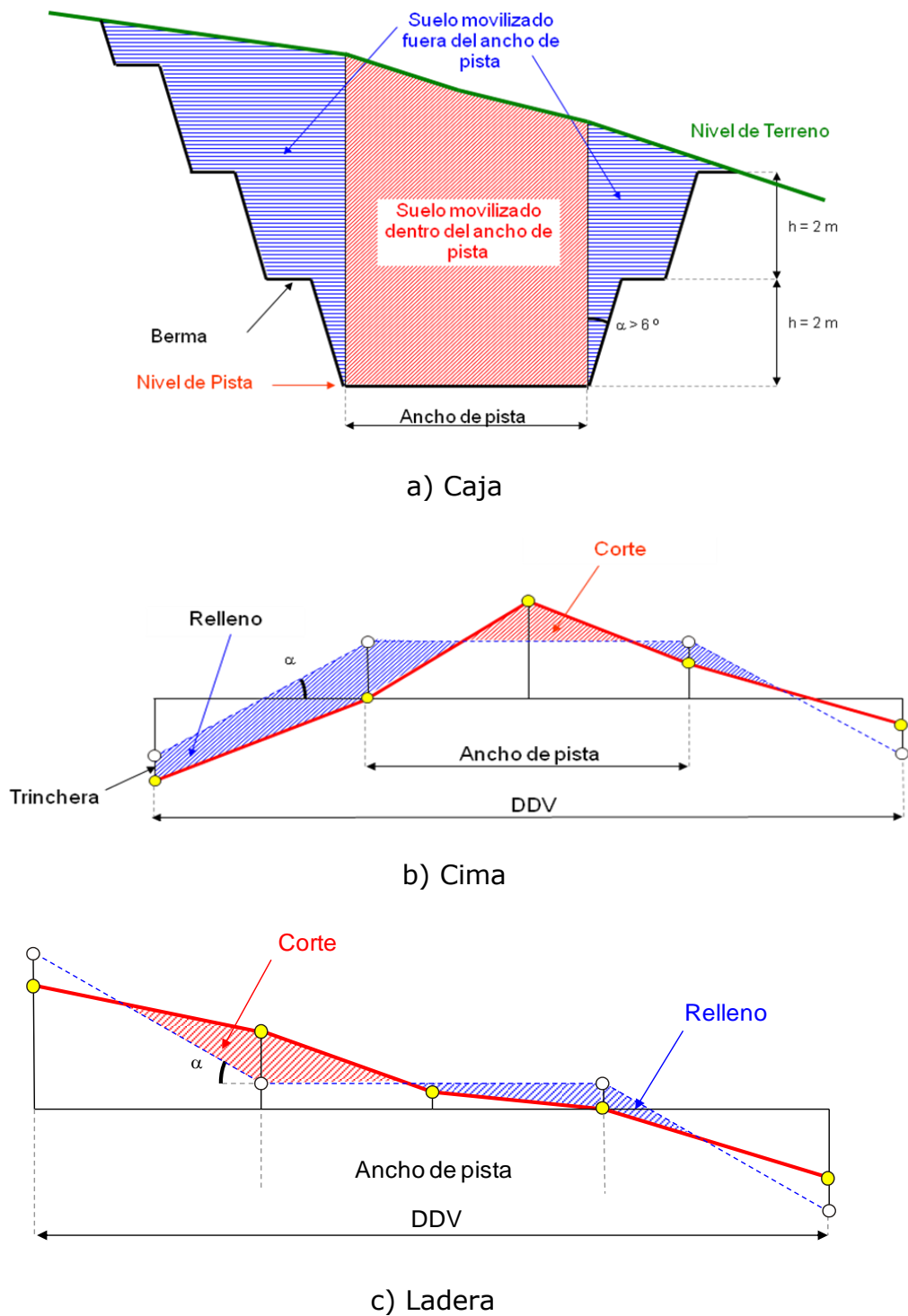


c) Perfil final

**Figura 3.** Cálculo del perfil de la pista

El paso final es la implementación de la nivelación, donde se ejecutan diferentes operaciones de desmonte y relleno, de acuerdo al tipo de sección transversal: caja, cima o ladera (Figura 4). Notar que para los casos de cima y ladera puede ser necesaria la implementación de vallas para

contener el relleno. Los anchos de la pista y del DDV se reducen a lo largo de los tramos con secciones tipo cima.



**Figura 4.** Nivelación para diferentes tipos de secciones transversales

### 3. VALIDACIÓN

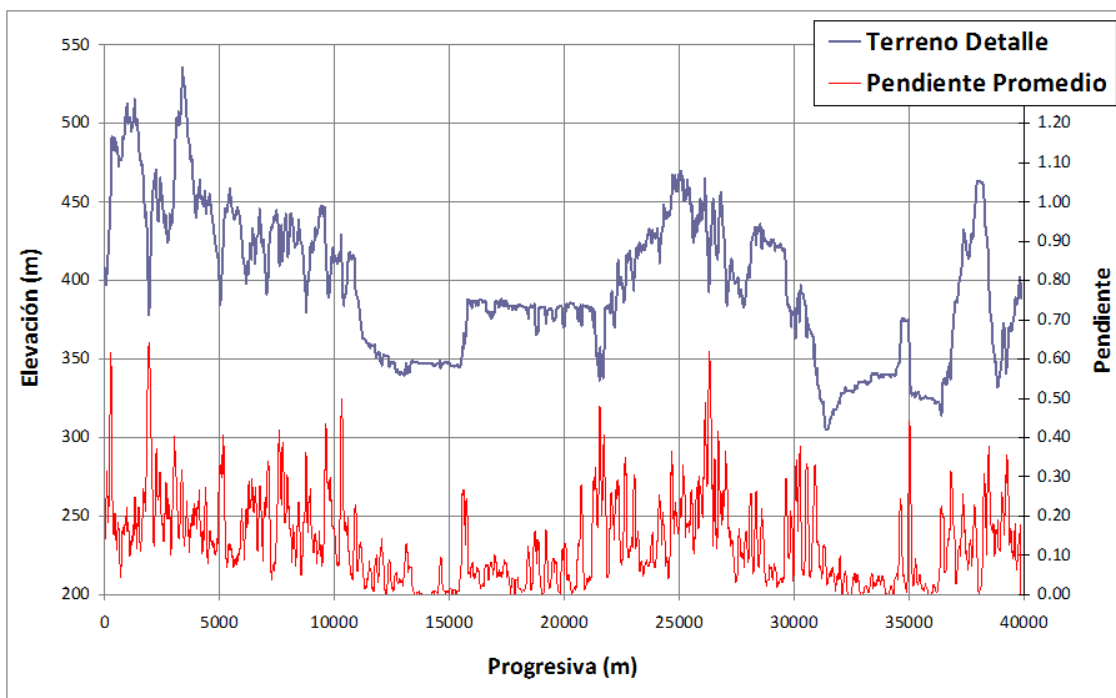
La Figura 5 indica la ubicación de los proyectos de ductos en Sudamérica a los cuales se aplicó *DUCTO*. Para Pagoreni y Cashiriari, ambos localizados en Perú, se dispuso de datos sobre la distribución longitudinal de suelos movilizados, de modo que fueron utilizados para validar la metodología descrita.



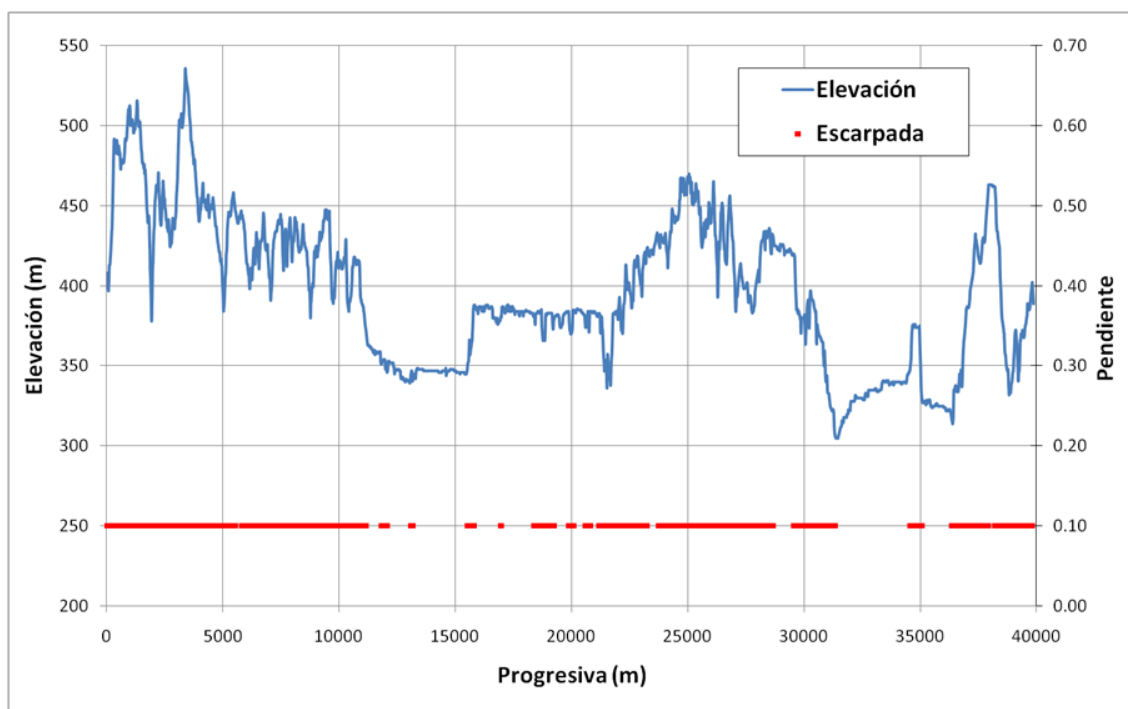
**Figura 5.** Ubicación de proyectos de ducto

El proyecto de Pagoreni, de 80 km de largo, está dividido en cuatro sectores: (i) 'Pagoreni B – Mipaya', 40 km; (ii) 'Empalme – Pagoreni Oeste', 3 km; (iii) 'Malvinas – Pagoreni A', 22 km; (iv) 'Nuevo Mundo – Kinteroni', 15 km. A título de ilustración, la Figura 6a muestra la distribución longitudinal de pendiente filtrada por sector, a partir de lo cual se determinaron los tramos con pendiente escarpada (Figura 6b).





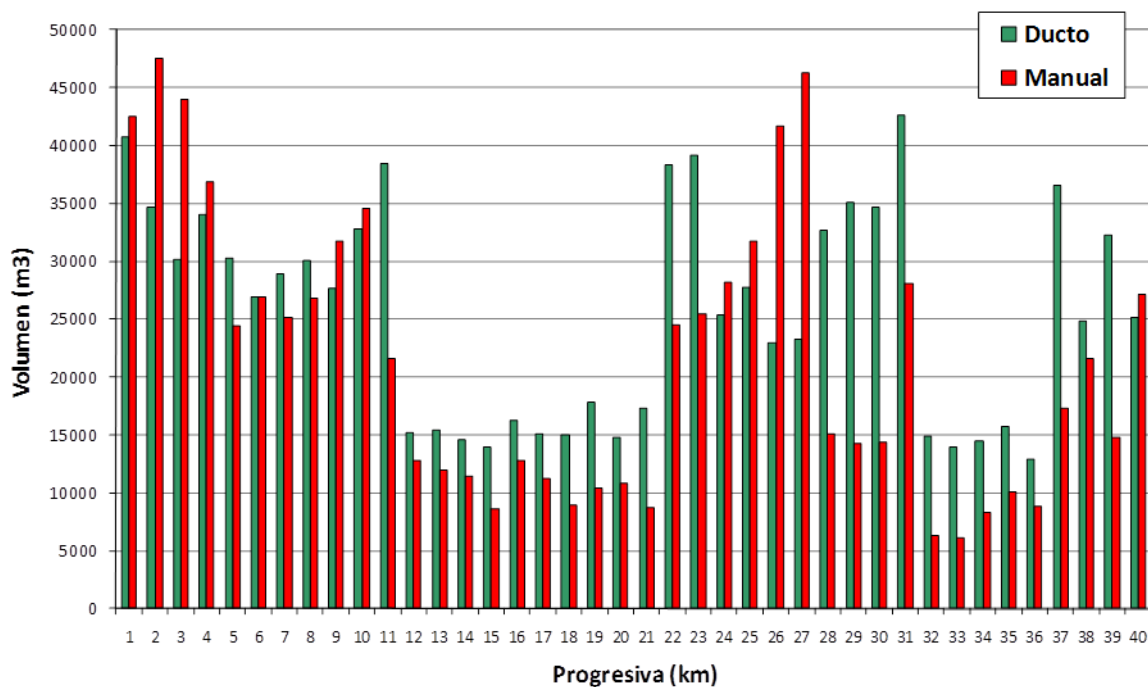
**a) Pendiente filtrada**



**b) Tramos con pendiente escarpada**

**Figura 6.** Caracterización del sector 'Pagoreni B - Mipaya'.

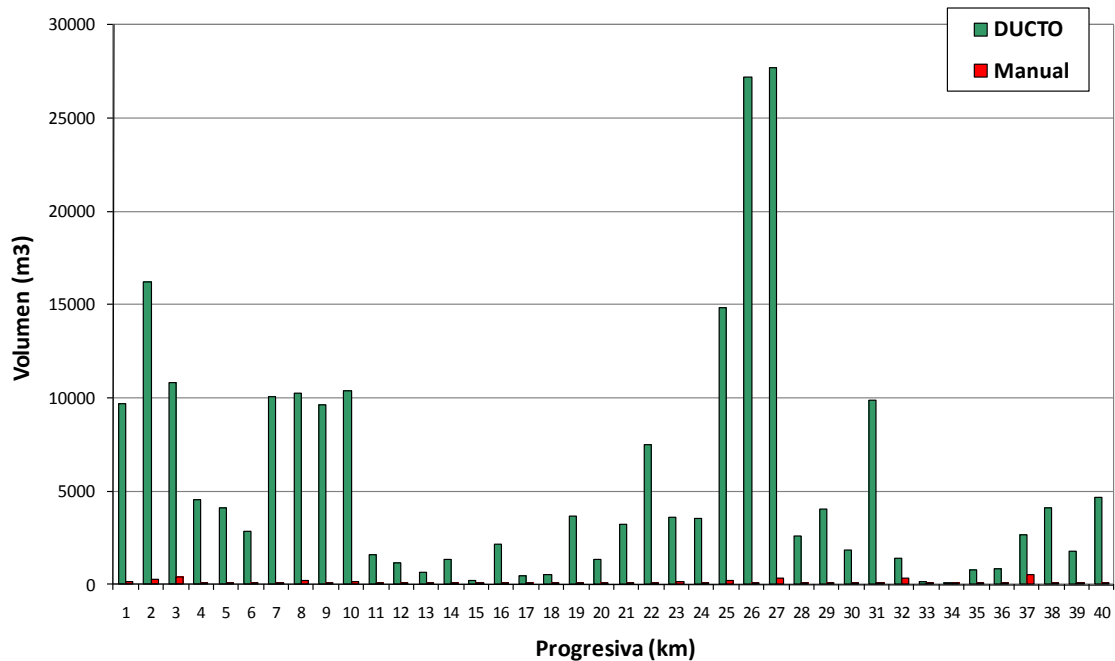
En la Figura 7 se presenta la distribución longitudinal de volúmenes de desmonte calculados con *DUCTO* para el primer sector del proyecto de Pagoreni, con los siguientes valores de los parámetros: ancho de ruta = 12 m; DDV = 25 m; ángulo mínimo de doblado = 168°; pendiente lateral = 27°, altura de berma = 3.5 m; ancho de berma = 1.0 m. Se compara con valores obtenidos manualmente en base al diseño de la pista. El acuerdo general es considerado como muy satisfactorio. Como indicador cuantitativo, el error cuadrático medio resulta igual al 39% del volumen total movilizado en este sector. Este último es, de acuerdo a *DUCTO*, de 762.500 m<sup>3</sup>, 11% inferior al calculado manualmente, una diferencia considerada relativamente pequeña.



**Figura 7.** Distribución de de volumen de desmonte para el sector 'Pagoreni B - Mipaya'.

La Figura 8 muestra la comparación de distribuciones longitudinales de volúmenes de relleno para el mismo sector. Se observa que los resultados calculados con *DUCTO* son consistentemente mayores que los manuales, indicando que algunos criterios extra deberían ser introducidos en el cálculo automático de modo de capturar la estrategia práctica implementada

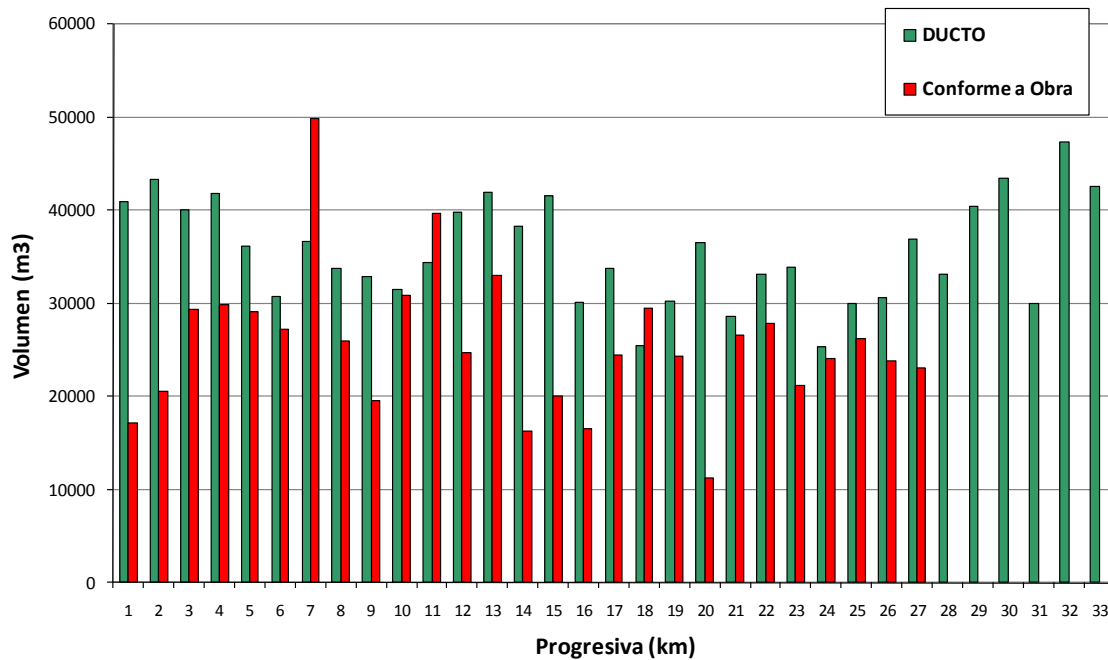
manualmente. De todos modos, siendo conservativa, la predicción con *DUCTO* es útil para fines de planificación.



**Figura 8.** Distribución de volumen de relleno para el sector 'Pagoreni B - Mipaya'.

El proyecto de Chashiriari es de 46 km de largo, y se divide en dos sectores: (i) 'Malvinas - Cashiriari', 33 km; (ii) 'Cashiriari I - Cashiriari III', 13 km.

La Figura 9 presenta la distribución longitudinal de volúmenes de desmonte calculada con *DUCTO* para el primer sector de Cashiriari, donde se la compara con los valores correspondientes conforme a obra (diferencia entre pre y postopografías), con los siguientes valores de los parámetros: ancho de pista = 12 m; DDV = 25 m; ángulo mínimo de doblado = 168°; pendiente lateral = 27°, altura de berma = 2.0 m; ancho de berma = 1.2 m. Nuevamente, el acuerdo general es considerado como muy satisfactorio. El error cuadrático medio es el 26% del volumen total movilizado en el sector. Este último es, de acuerdo a *DUCTO*, de 672.700 m<sup>3</sup>, sólo 3% inferior al valor obtenido conforme a obra.



**Figura 9.** Distribución de volumen de desmonte para el sector 'Malvinas - Cashiriari'.

#### 4. SENSIBILIDAD

Se llevaron a cabo experimentos numéricos de modo de establecer la sensibilidad de los resultados provistos por *DUCTO* a variaciones en los parámetros del modelo. Se variaron los siguientes parámetros, dentro de límites prácticos: ancho de pista (de 12 a 11 m), DVD (de 25 a 17 m), pendiente lateral (de 27 a 6°), altura de berma (de 3.5 a 2.0 m), y ancho de berma (de 1.0 a 1.2 m); se obtuvieron variaciones menores al 10% en el volumen total de desmonte, es decir, una relativamente baja sensibilidad.

La sensibilidad al MDE es significativa, de acuerdo a lo esperado. Si se utilizan datos del SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), en lugar de la topografía de detalle, se obtienen variaciones del orden del  $\pm 50\%$  para el volumen total de corte.

## **5. CONCLUSIONES**

La reformulación del algoritmo y los criterios introducidos en *DUCTO* ha permitido el cálculo de la distribución longitudinal (con una resolución de 1 km) del volumen de desmonte asociado a la construcción de una pista para ducto con un nivel de precisión adecuado para los fines propuestos, a saber, definir y optimizar la estrategia de trabajo para la apertura.

Es necesario aún un esfuerzo adicional para mejorar el cálculo de la distribución de volumen de relleno.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

Menéndez, A.N., Sarubbi, A., García, P.E., Salerno, G., Amores, G., 2010, *Un procedimiento automático para determinar volúmenes de suelo movilizados en pistas para ductos*, V Congreso Iberoamericano sobre Control de la Erosión y los Sedimentos, Ciudad de Panamá, Panamá.

Salerno, G., Menéndez, A.N., Amores, G., García, P.E., 2011. "The Green ROW Technology for Construction of Linear Developments", 42<sup>th</sup> Annual Conference & Expo IECA (International Erosion Control Association), Orlando, USA.