

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS

**DISEÑO DE RAMPAS Y TEPETATERAS POR MEDIO DEL SOFTWARE
MINERO MINESIGHT**

DISERTACIÓN

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MINERO

Presenta:

MARCOS RAMON MORENO CASTILLO

Hermosillo, Sonora, México.

Abril de 2018

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

15 de marzo de 2018.

P.I.M. MARCOS RAMÓN MORENO CASTILLO
Presente.-

Por este conducto le informo que después de presentar ante los miembros de la **ACADEMIA DE GEOMECAÍNICA E INFRAESTRUCTURA MINERA**, su solicitud de aprobación del Tema de Disertación: **DISEÑO DE RAMPAS Y TEPETATERAS POR MEDIO DEL SOFTWARE MINERO MINESIGHT**, que usted propone para obtener el título de **INGENIERO MINERO**, me es grato hacer de su conocimiento que hemos acordado **APROBAR** la propuesta que nos ha enviado, a fin de brindarles la oportunidad de presentar su Examen Profesional según lo establecido por la normatividad vigente.

Asimismo, les informo que la Academia Revisora quedó integrada como sigue:

DIRECTOR:	ING. BRENDA MARIA QUIJADA MAYORQUIN
ASESOR:	ING. GEORGETTE PANIAGUA LIZARRAGA
ASESOR:	M.C. TOMÁS FERNANDO VILLEGAS BARBA

Aprovecho la oportunidad para desearle el mayor de los éxitos y solicitarle su mejor esfuerzo para el bien del trabajo académico de nuestra institución.

ATENTAMENTE,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

10 de abril de 2018.

P.I.M. MARCOS RAMÓN MORENO CASTILLO
Presente.-

Por medio de la presente, informo a usted que después de analizar su solicitud de aprobación del Tema de Disertación: **DISEÑO DE RAMPAS Y TEPETATERAS POR MEDIO DEL SOFTWARE MINERO MINESIGHT**, hemos tenido a bien emitir un dictamen satisfactorio del contenido del mismo, después de revisar cuidadosamente el trabajo desarrollado y verificar que los objetivos propuestos se hayan alcanzado, según lo establecido con anterioridad.

Por tal motivo, la Comisión extiende su autorización para proceder a la edición e impresión final del documento y, posteriormente, presentar el examen profesional en la fecha que de común acuerdo se convenga.

A T E N T A M E N T E,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA

Brenda María Qujada Mayorquin
ING. BRENDA MARIA QUJADA MAYORQUIN
PRESIDENTE DEL JURADO
(DIRECTOR)

Georgette Paniagua Lizarraga
ING. GEORGETTE PANIAGUA LIZARRAGA
SECRETARIO DEL JURADO
(ASESOR)

Tomás Fernando Villegas Barba
M.C. TOMÁS FERNANDO VILLEGAS BARBA
VOCAL DEL JURADO
(ASESOR)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda mi familia, en especial a mis padres Marcos Moreno Martínez, Julieta Castillo Amarillas y mi hermana Andrea, que en todo momento me apoyaron y estuvieron conmigo en este camino para salir adelante.

A mis compañeros de generación y las personas que conocí en mi etapa como estudiante que siempre me brindaron su amistad y apoyo incondicional, en especial a M. I. E. Dania Félix, Ing. José Silva, Jesús Martínez y Jesús Leyva.

A todos los maestros del departamento de Ingeniería Civil y Minas, Ing. Brenda Quijada, Ing. Georgette Paniagua, Ing. David Bustamante y M. C. Tomas Villegas, gracias por sus buenos consejos y compartir sus experiencias.

Agradezco a la Universidad de Sonora por proporcionarme las herramientas necesarias para poder culminar de manera satisfactoria mis estudios.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	7
1. TIPOS DE RAMPA	8
1.1 Clasificación de las rampas.....	9
2. FUNCIONES DE MINESIGHT	9
2.1 Creación de carpeta en MineSight.....	9
2.2 Importar datos	11
3. DISEÑO DE RAMPAS	12
3.1 Rampas de relleno.....	13
3.2 Usos de los Snap.....	14
3.3 Creación de objeto geométrico.....	15
3.4 Ajuste de pendiente.....	17
3.5 Creación de un <i>Offset</i>	19
3.6 Extrude	20
3.7 Triangulación	24
3.8 Crear un sólido.....	25
4. DISEÑO DE RAMPA POR MEDIO DE ATTACH TEMPLATE ALONG POLYLINE.....	29
4.1 Crear un sólido.....	33
4.2 Cálculo de volumen y tonelaje.....	35
4.3 Rampa de corte.....	36
4.4 Cálculo de volumen y tonelaje.....	41
5. RAMPA PARA VEHÍCULOS LIGEROS	42
5.1 Ajuste de pendiente.....	43
5.2 Smooth	44
5.3 Attach Template	47
5.4 Creación del solido	49
5.5 Calculo de volumen/tonelaje de la rampa final.	49
6. TEPETATERAS	50

6.1 Diseño de tepetatera con pit expansión.....	50
6.2 Triangulación de tepetatera.....	55
6.3 Creación de un sólido	56
6.4 Calculo de volumen de la tepetatera	58
7. CONCLUSIÓN.....	59

Índice de figuras

Figura 1. Carpeta _msresources.....	9
Figura 2. Creación de subcarpeta.....	10
Figura 3. Asignar nombre a la subcarpeta	10
Figura 4. Selección de formato de archivo para importar	11
Figura 5. Selección de archivo DWG	11
Figura 6. Importar archivo	12
Figura 7. Objeto geométrico	12
Figura 8. Topografía.....	12
Figura 9. Creación de carpeta de Rampas	13
Figura 10. Rampa de apertura.	13
Figura 11. Rampa de acceso en mineral.....	14
Figura 12. Expansión de la frente del minado	14
Figura 13. Selección de Face Snap	14
Figura 14. Creación de objeto geométrico	15
Figura 15. Asignar nombre al objeto geométrico	15
Figura 16. Creación de Polyline	16
Figura 17. Eje de rampa.....	17
Figura 18. Vista de planta del eje de rampa	17
Figura 19. Selección de la opción Ajuste de pendiente	18
Figura 20. Asignación de pendiente.....	18
Figura 21. Selección de la opción Offset.....	19
Figura 22. Creación de offset	20
Figura 23. Delimitación del extrude	20
Figura 24. Asignación del ángulo de reposo de la rampa.....	22
Figura 25. Creación de extrude del lado derecho	22
Figura 26. Creación de extrude del lado izquierdo	23
Figura 27. Creación de objeto geométrico: triangulación.....	23
Figura 28. Selección de herramienta para triangular.....	24
Figura 29. Pre visualización de la triangulación	24
Figura 30. Triangulación.....	25
Figura 31. Creación de objeto geométrico: sólido.....	25
Figura 32. Selección de la herramienta Intersect Surfaces Tool	26
Figura 33. Selección de superficies.....	26
Figura 34. Especificaciones para la creación de un sólido	27
Figura 35. Creación del sólido.....	27

Figura 36. Selección de Faces only	28
Figura 37. Sólido.....	28
Figura 38. Ajuste de eje.....	29
Figura 39. Creación de objeto geométrico: superficie	29
Figura 40. Selección de herramienta Attach Template along Polyline	30
Figura 41. Selección del editor.....	30
Figura 42. Selección de opciones de diseño	31
Figura 43. Polyline encendida en edición.....	32
Figura 44. Creación de un offset doble.....	32
Figura 45. Creación de hombros.....	33
Figura 46. Pre visualización de la rampa.....	34
Figura 47. Sólido por medio de Attach Template Editor.....	34
Figura 48. Selección de herramienta Calculate Volume/Tonnage	35
Figura 49. Cálculo de volumen y tonelaje	36
Figura 50. Resultado del cálculo de volumen y tonelaje.....	36
Figura 51. Colocación de polyline.....	37
Figura 52. Editor de rampa de corte.....	37
Figura 53. Triangulación rampa de corte.....	38
Figura 54. Triangulación con caras	38
Figura 55. Selección de herramienta Intersect Surfaces Tool	39
Figura 56. Creación de nueva topografía	40
Figura 57. Rampa: corte final	41
Figura 58. Cálculo de volumen y tonelaje de rampa de corte.....	41
Figura 59. Resultados de cálculo de volumen y tonelaje de la rampa de corte	42
Figura 60. Vista de planta de la polyline conectando dos niveles diferentes.....	42
Figura 61. Vista de perfil de la polyline conectando dos niveles	43
Figura 62. Ajuste de pendiente de rampa	43
Figura 63. Selección de herramienta Smooth.....	44
Figura 64. Selección de puntos deseados en la polyline	45
Figura 65. Editor de polyline	45
Figura 66. Vista previa de polyline.....	46
Figura 67. Resultado final de polyline	46
Figura 68. Selección de la herramienta Attach Template	47
Figura 69. Especificaciones para rampa vehicular	48
Figura 70. Triangulación rampa vehicular	48
Figura 71. Creación del sólido. Vista de planta	49
Figura 72. Creación del sólido. Vista de perfil	49
Figura 73. Resultado de cálculo final	50
Figura 74. Selección de curva de nivel	51
Figura 75. Elevación de curva de nivel	51
Figura 76. Selección de herramienta Pit Expansion Tool	52
Figura 77. Editor de Pit Expansion	52
Figura 78. Opción Required.....	53
Figura 79. Datos para creación de tepetatera	54

Figura 80. Creación de polígono.....	54
Figura 81. Contorno de tepetatera.....	55
Figura 82. Selección de herramienta Triangulate Pit.....	55
Figura 83. Triangulación de tepetatera	56
Figura 84. Selección de datos para creación de sólido.....	57
Figura 85. Creación de sólido: tepetatera	57
Figura 86. Resultado de cálculo de volumen de tepetatera	58

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de disertación se abordan temas de diseño básico de minería, principalmente la creación de rampas y tepetateras, por medio del software minero MineSight.

En cuanto al tema de rampas, se manejan diferentes tipos de rampas según sea su necesidad, ya que es una área que se modifica constantemente de acuerdo a su uso en la mina. Se explican las diferentes formas que existen para crear rampas utilizando las opciones de herramientas que nos proporciona el software y las utilizamos según sea la función que desempeñara.

Para la creación de tepetateras se utiliza la herramienta "Pit Expansion", que ayuda a realizar un diseño más óptimo según las necesidades que se presenten.

Asimismo, a lo largo de este trabajo, se desarrolla específicamente el tema de cálculo de volumen y tonelaje, debido a que es una de las herramientas más utilizada en la minería.

1. TIPOS DE RAMPA

Las rampas en minería son elementos que posibilitan la comunicación entre dos o más lugares que se encuentren a diferentes alturas, permitiendo así trasladarse entre ellos a través de su superficie.

Las funciones básicas de las rampas en minería a cielo abierto son:

- Traslado de maquinaria.
- Extracción del mineral de una forma rápida y flexible.
- Acceso al personal.
- Herramientas al interior de la mina.
- Insumos.

Las rampas construidas para uso interior en una mina a cielo abierto deben cumplir con ciertos requisitos como pendientes, anchos y compactación:

Pendiente. La pendiente recomendada para la construcción de rampas es del 8% al 12%, donde el vehículo de acarreo desarrolla su máxima potencia en una forma eficiente.

Ancho. La rampa debe conservar un ancho mínimo de 3 ½ veces del ancho del vehículo de mayor capacidad que transite en la mina, es decir, si tenemos camiones de volteo de 6.5 m de ancho (CAT 777 F, según el manual de Caterpillar), el ancho de la vía debe ser de 22.75 m.

El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$A = a (0.5 + 1.5 n)$$

Donde:

A= Anchura total de la rampa (m)

a= Anchura del vehículo en (m)

n= número de carriles deseados

Ejemplo: calcular el ancho total de la rampa si se tiene:

a= 6.5 m

n= 2 carriles.

A= 6.5 m (0.5 + 1.5 *2)

A= 6.5 m * 3.5

A= 22.75 m

Compactación. Debido al peso que deben soportar las rampas de acarreo por el paso de los vehículos, deben tener una compactación con materiales que puedan soportar estos pesos sin que se deterioren rápidamente; si esto ocurre, el mantenimiento de las rampas se hace más costoso debido a la periodicidad con que se debe llevar a cabo.

1.1 Clasificación de las rampas

Las rampas pueden clasificarse de diferentes maneras:

- a) Según el servicio que prestan:
 - Rampas de acarreo: son aquellas que permiten el tránsito de equipos pesados y puede estar conformada por una o varias de los siguientes datos:
 - Rampas para ascenso de camiones cargado entre niveles: son construidas para permitir la comunicación entre niveles. Se construirán en una pendiente longitudinal del 8% al 10%. Se construirá con material del mismo sitio que cumpla con la calidad del material que sea óptimo para el rendimiento.
 - Rampas para ascenso de tepetareras: su función es permitir el acceso de equipos de un nivel a otro de las tepetareas. La pendiente longitudinal debe ser entre el 8% y 10%, se construirán con material de la misma tepetatera.
 - Rampas auxiliares: son aquellas diferentes a las rampas de acarreo construidas con un fin determinado.
 - Según su vida útil se clasifican en:
 - Clase A: Rampas con tiempo de servicio superior a un mes.
 - Clase B: Rampas con tiempo de servicio superior de un mes
 - Clase C: Rampas con tiempo de servicio determinado por la duración de labor o trabajo para el cual se construye.

2. FUNCIONES DE MINESIGHT

2.1 Creación de carpeta en MineSight

Inicialmente, al lado izquierdo de la pantalla se tiene una ventana donde se encuentra una carpeta que, de manera predeterminada, lleva el nombre de `_msresources`, donde es posible crear más de una subcarpeta.



Figura 1. Carpeta `_msresources`

Es importante la creación de una subcarpeta designada para cada área de nuestro proyecto, ya que permite un mejor control, organización y facilita nuestro trabajo. Para esto, una vez seleccionada nuestra carpeta damos clic derecho desplegando un menú donde aparece la opción *new*, que a su vez despliega un sub-menú, donde se selecciona la opción *folder* (ver Figura 2).



Figura 2. Creación de subcarpeta

Al dar clic, aparece una ventana donde podemos asignar a la subcarpeta el nombre que deseamos en el espacio en blanco. Al terminar damos clic en *OK*.

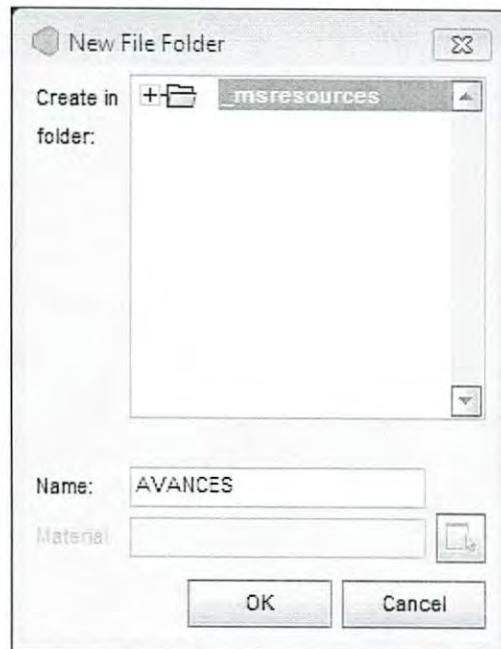


Figura 3. Asignar nombre a la subcarpeta

2.2 Importar datos

Una vez creada la subcarpeta AVANCE se selecciona con clic derecho para desplegar un menú, donde seleccionamos la opción *Import*, posteriormente se selecciona la opción *DXF/DWG file* para importar el archivo (ver Figura 4).



Figura 4. Selección de formato de archivo para importar

MineSight ofrece la opción de trabajar con archivos DXF, MineSight 3D Object, Vulcan Surface, Datamine Surface, entre otros. En este caso utilizamos el formato DWG (Ver Figura 5) y hacemos clic en *Abrir*.



Figura 5. Selección de archivo DWG

Una vez seleccionado nuestro archivo DWG se abre la siguiente ventana, donde seleccionamos la opción *Import*.

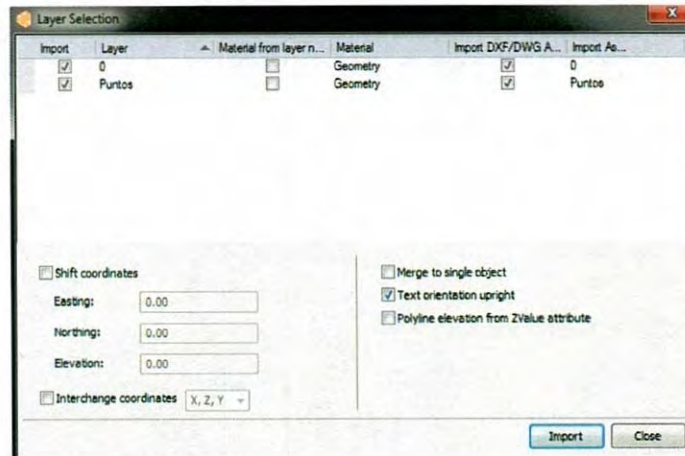


Figura 6. Importar archivo

Al importar el archivo aparece del lado izquierdo de la pantalla un nuevo objeto geométrico que se crea de manera predeterminada con el nombre del archivo que se importó.



Figura 7. Objeto geométrico

Al terminar de importar aparecerá en la pantalla la topografía, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 8. Topografía

3. DISEÑO DE RAMPAS

Es importante señalar que, para iniciar con el diseño de nuestra rampa, es necesario un estudio previo del área de la mina donde se realizará y de esta manera asignar el lugar más viable para su creación.

Para diseñar una rampa en MineSight, el primer paso es crear una nueva carpeta con el nombre de *RAMPAS* con la finalidad de llevar un control y orden durante el desarrollo de nuestro proyecto.

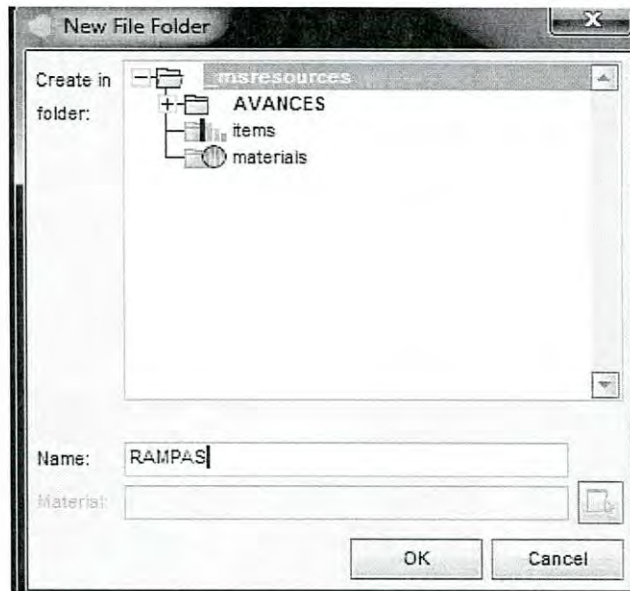


Figura 9. Creación de carpeta de Rampas

3.1 Rampas de relleno

La geometría del trabajo en el banco se caracteriza por condiciones incómodas de operación.

Según Gago (s/f), en el libro de Consideraciones geométricas, para la rampa en la apertura de banco es posible considerar dos ubicaciones: en el primer caso se traza la rampa enteramente sobre el tepetate al rededor del tajo. Se desea tener el piso del fondo de la rampa justo donde se encuentra el contacto del tepetate y mineral. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 10:

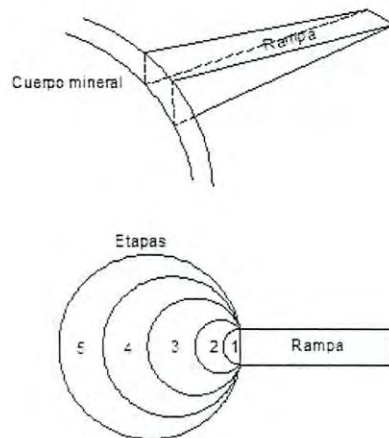


Figura 10. Rampa de apertura.

Otra posibilidad (ver Figura 11) es ubicar la rampa sobre mineral en vez de tepetate. El volumen excavado es el mismo (rampa) como antes pero ahora es mineral. El mineral obtenido de la rampa puede ser procesado y así obtener una ganancia temprana. En el fondo de la rampa, con la frente de banco completa, la extracción se incrementa gradualmente como se muestra en la Figura 12. La desventaja es que cuando se termina el minado se deja una cantidad de mineral que está formando la rampa.

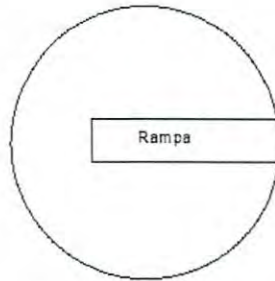


Figura 11. Rampa de acceso en mineral.

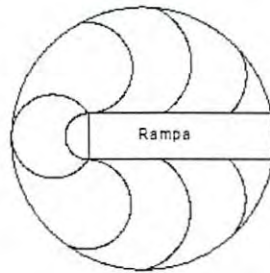


Figura 12. Expansión de la frente del minado

3.2 Usos de los Snap

El software MineSight nos ofrece varias opciones de diseño, una de ellas es la opción de *Snap* en la barra de menú; esta herramienta nos permite unir nuestros puntos o polylíneas a las caras de la topografía, puntos, líneas, entre otras. En este caso utilizaremos la opción *Face Snap*, que nos permite adherir nuestro diseño al relieve de la topografía.



Figura 13. Selección de Face Snap

3.3 Creación de objeto geométrico

Para crear un nuevo objeto geométrico para trabajar con las diferentes etapas del diseño de la rampa, se hace clic derecho en la carpeta *RAMPAS*, para desplegar un menú, donde se selecciona la opción *New* y después *Geometry Object*.

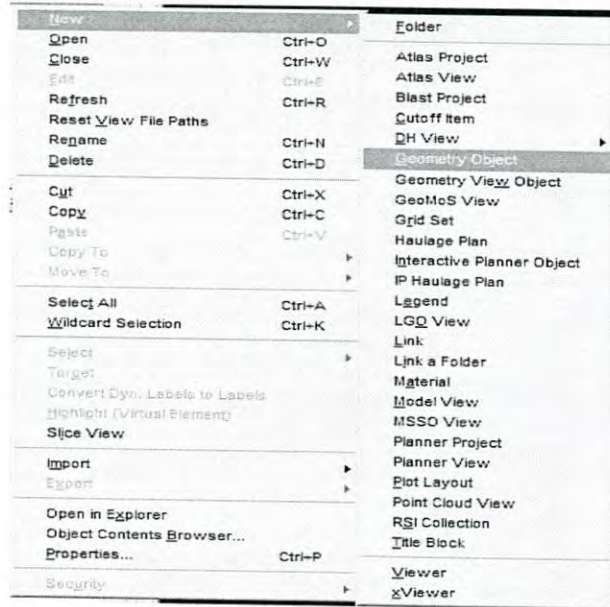


Figura 14. Creación de objeto geométrico

Al darle clic, se abre la ventana de *New Geometry Path*, donde le asignamos el nombre con el cual se trabajará. En este caso será *POLILINEA*. Hacer clic en *OK*.

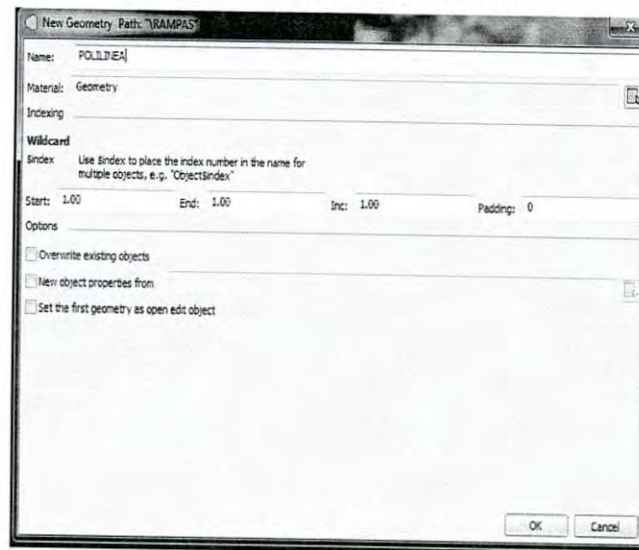


Figura 15. Asignar nombre al objeto geométrico

Al hacer esto, se habilita la edición de nuestro objeto geométrico para iniciar a trabajar con el diseño de la rampa en nuestra área designada.

Para crear una polyline, seleccionamos de la barra de menú la opción *Polyline*, se despliega un submenú donde seleccionamos *Create*, y se elige la opción *Polyline*.

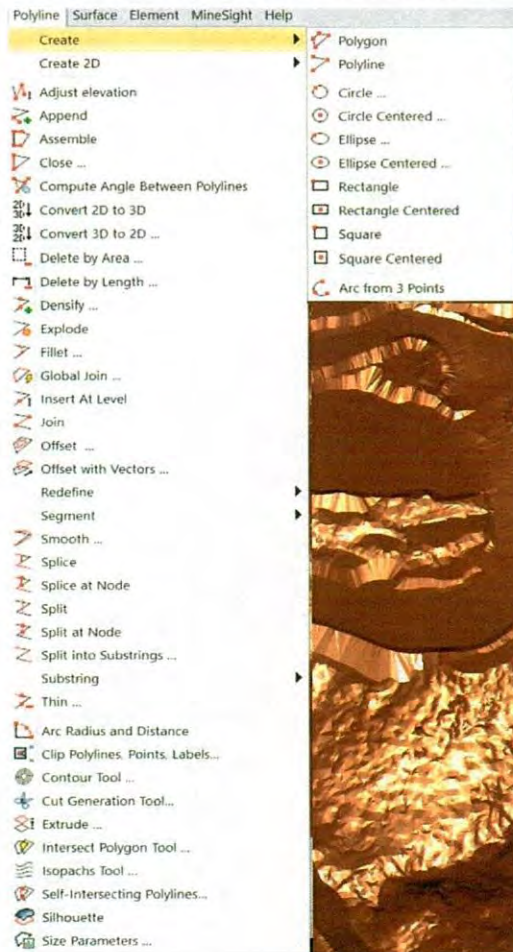


Figura 16. Creación de Polyline

Al hacer esto, es posible crear la polyline con el cursor, conectando un nivel con otro, que funciona como eje de nuestra rampa (Ver Figuras 17 y 18).

Para la creación de la polyline colocamos nuestro primer punto en el nivel superior; el segundo punto se coloca en el nivel bajo. Es importante seguir esta secuencia de colocación de puntos para realizar de la misma manera el siguiente paso de ajuste de la pendiente, en el que la selección será el primer punto que colocamos y posteriormente será el último, de modo que sea posible hacer una corrección adecuada para la pendiente.

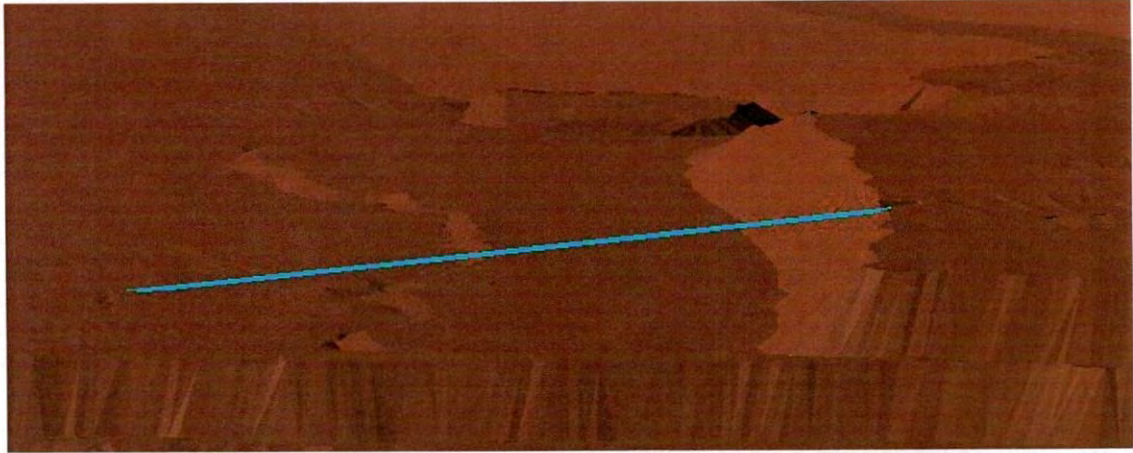


Figura 17. Eje de rampa

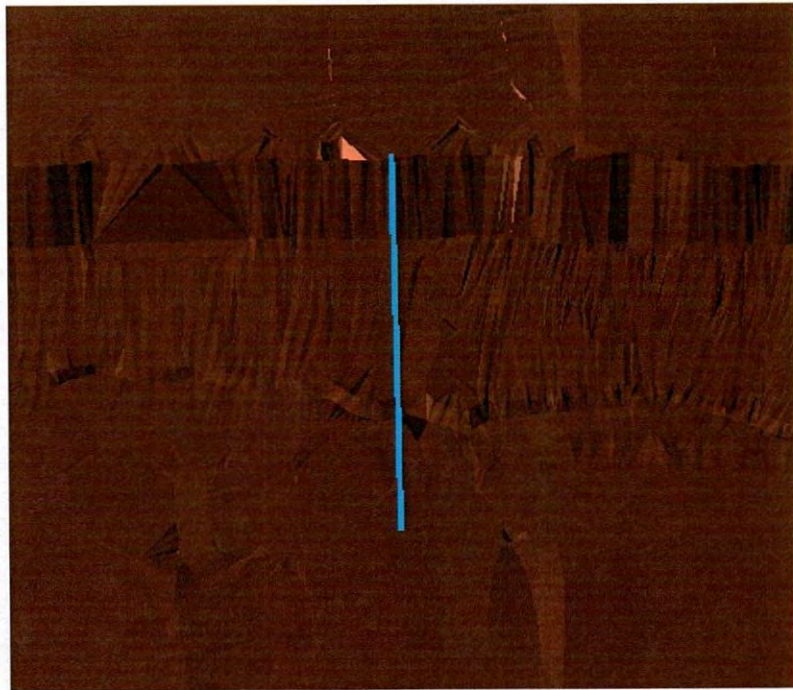


Figura 18. Vista de planta del eje de rampa

3.4 Ajuste de pendiente

El ajuste de pendiente en la polyline se requiere hacer para el cuidado de la maquinaria. Se debe de mantener en un rango del 8% al 10% (según la ficha técnica de Caterpillar, 2015), para dar la pendiente adecuada. Es necesario contar con las características de la maquinaria.

Para el ajuste de la pendiente seleccionamos la pestaña *polyline*, en el menú se encuentra la opción de *Substring* y posteriormente se selecciona la opción *Adjust Elevations* (Ver Figura 19).

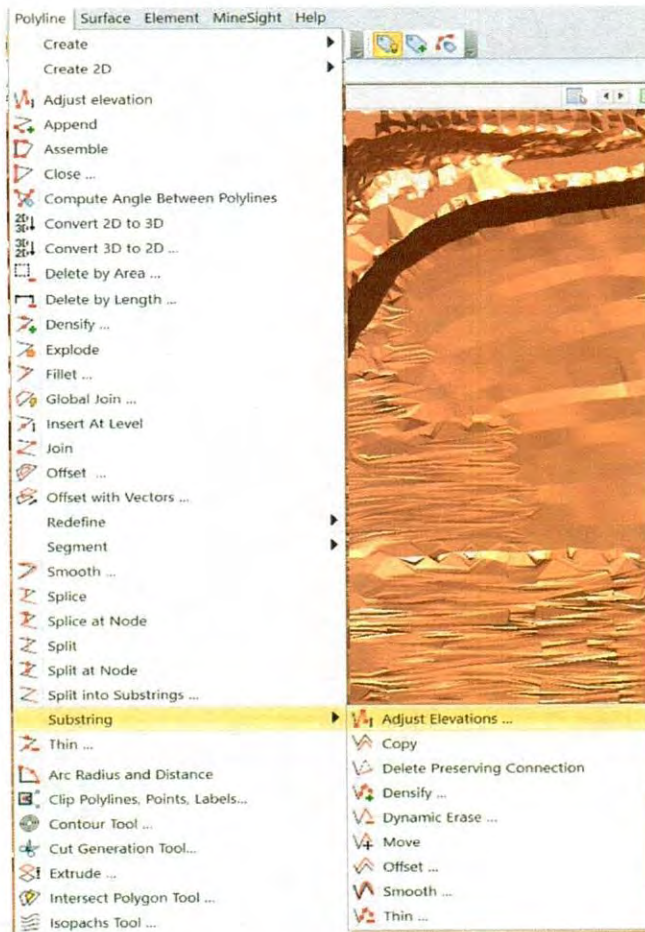


Figura 19. Selección de la opción Ajuste de pendiente

Primero, se selecciona el punto superior y después el inferior para cambiar la pendiente de la polyline. Una vez seleccionada la polyline se habilita la ventana de edición, donde se asigna una pendiente del -10%. Se da clic en *Apply* (Ver Figura 20).

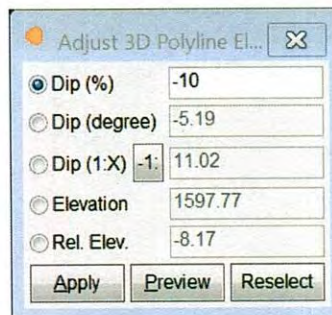


Figura 20. Asignación de pendiente

3.5 Creación de un *Offset*

Se crea un *Offset* para generar una copia de la *polyline*, que se crea con la misma distancia y ángulo de inclinación que la original. En la opción de *Offset* nos permite elegir la distancia a la cual la copia será creada con respecto a la original. Es posible crear dos *Offset* simultáneamente.

Para crear un *Offset*, se selecciona la pestaña *Polyline*, y se selecciona la opción *Offset* (Ver Figura 21).



Figura 21. Selección de la opción *Offset*

Una vez seleccionada la *polyline*, se habilita una ventana donde nos pide la información requerida para la creación del *Offset*.

En este caso, se creó un *offset* de la *polyline* de 20 metros, que equivale al ancho de las rampas de acarreo (Ver Figura 22).

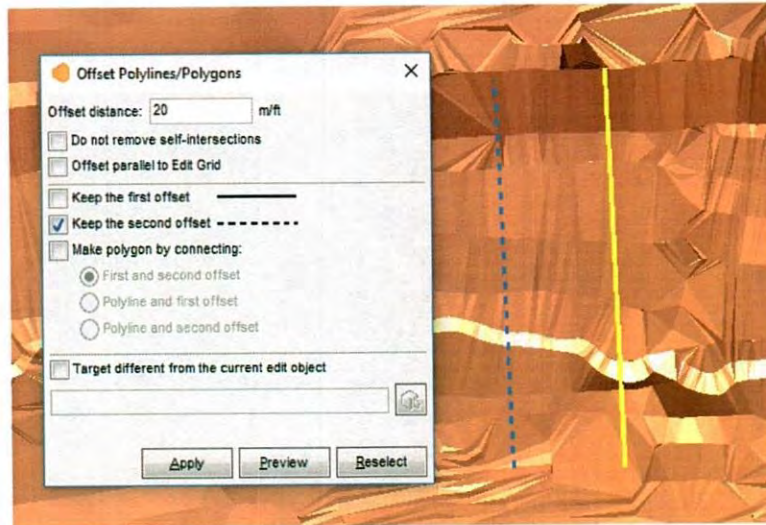


Figura 22. Creación de offset.

3.6 Extrude

Para generar un extrude se selecciona la pestaña *polyline* y se da clic en la opción *extrude*, la función de esta herramienta es proyectar las polylines, ya sea hacia arriba o abajo, al que también se ingresa un ángulo para su inclinación.

Cuando se tienen las dos polylines con las cuales se va a trabajar para la creación de la rampa, se selecciona la opción de *extrude* para poder proyectar su parte inferior. La proyección será la unión del piso con la parte baja de la rampa, creando de una manera más completa el contorno.

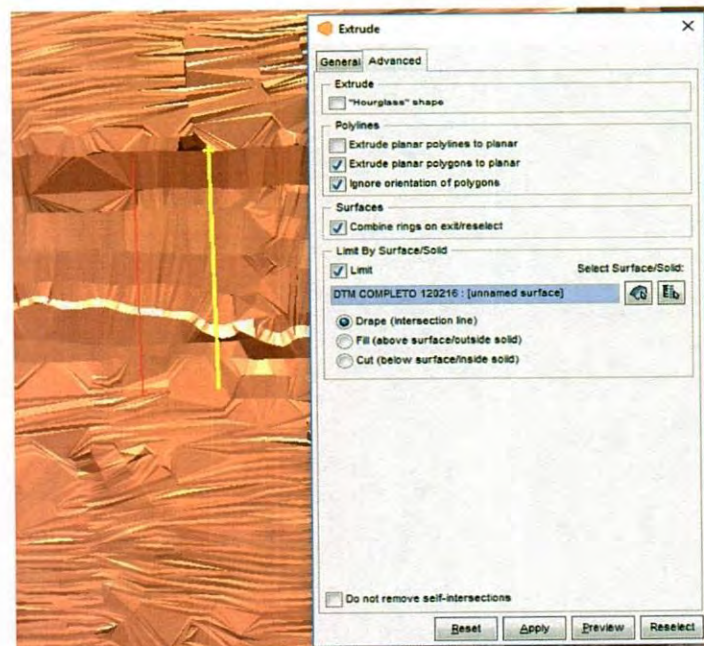


Figura 23. Delimitación del extrude

Una vez seleccionada la opción *Extrude*, se selecciona una de las polylíneas para activar el comando extrude. En la Figura 23, se muestra la selección de la polyline del lado derecho.

Al seleccionar la polyline, se abre la ventana donde se selecciona la pestaña *Advanced*, después se deben habilitar las siguientes opciones:

Polylines

- ✓ Extrude planar polylines to planar
- ✓ Ignore orientation of polygons

Surfaces.

- ✓ Combine ring son exit/reselect

Limit by Surface/Solid

- ✓ Limit

(Se selecciona la topografía, la cual será el límite de la proyección, en el ícono



- ✓ Drape (intersection line).

En la misma ventana, se selecciona la pestaña *General* para asignar los siguientes datos:

Mode

- Distance + Slope

Distance

- En esta área se asigna la altura del banco donde se creará el extrude, en este caso es de 6 metros.

Slope

- Se agrega el ángulo del extrude de la rampa, en este caso es de 37 (ver Figura 24).

NOTA: El ángulo del extrude puede cambiar dependiendo de cómo se esté trabajando, puede variar de 37 a -37 según sea la polyline seleccionada.

Extrude

- ✓ Against.

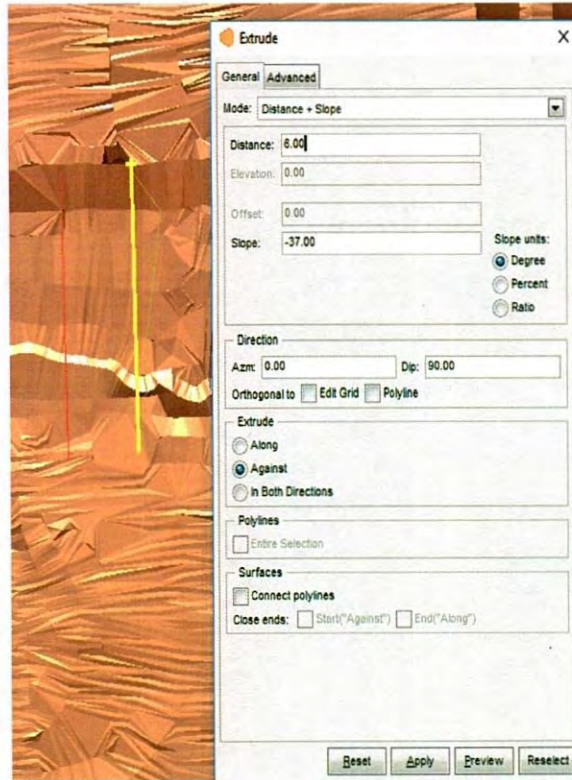


Figura 24. Asignación del ángulo de reposo de la rampa

En la siguiente figura se muestra la creación del extrude, al seleccionar la polyline del lado derecho.

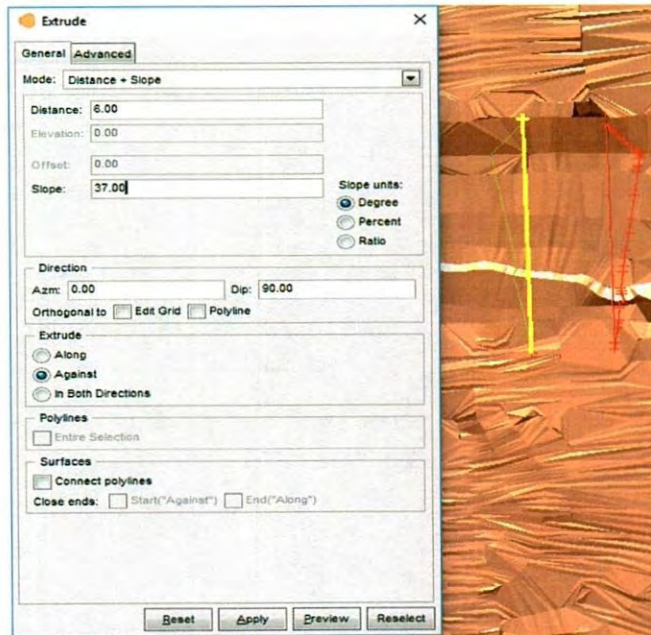


Figura 25. Creación de extrude del lado derecho

Para la polyline del lado izquierdo de la rampa se mantiene la misma altura de 6 metros, que equivale a la altura del banco de trabajo, y se asigna un ángulo de -37 . Aplicando el ángulo y distancia para ambas polylines, se da clic en *Apply* y se genera el contorno de la rampa (ver Figura 26).

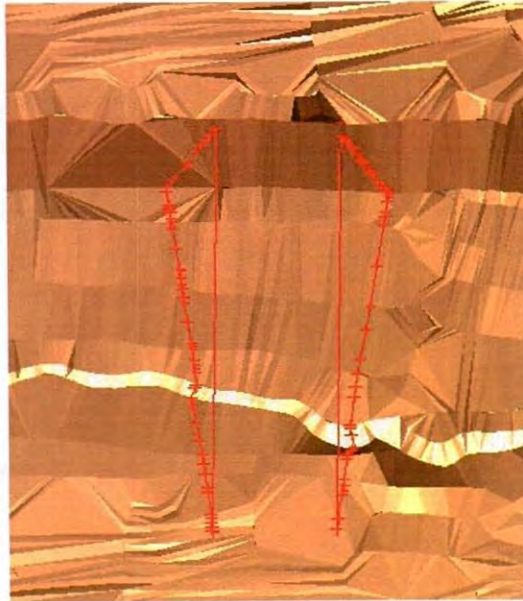


Figura 26. Creación de extrude del lado izquierdo

Una vez creado el extrude, se da clic en la opción *Save*, para guardar y continuar con la creación del siguiente objeto geométrico, la cual es importante para tener un mejor control con nuestro trabajo y poder modificar en caso de algún cambio.

Se crea un nuevo objeto geométrico con el nombre de *TRIANGULACION* dentro de nuestra carpeta de *AVANCE* y se habilita la edición para comenzar a trabajar en él (ver Figura 27).



Figura 27. Creación de objeto geométrico: triangulación

3.7 Triangulación

Es necesario seleccionar las polylines para trabajar con ellas. Después, de la barra de menú *Surface*, se selecciona la opción *Triangulate Surface* y se da clic en *With Dialog* (ver Figura 28).

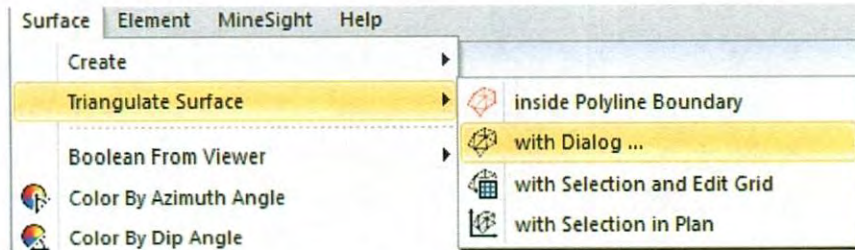


Figura 28. Selección de herramienta para triangular

En la ventana se selecciona la opción *Triangulate with Selection* y se da clic en el botón *Preview* para verificar el posible resultado de la rampa (ver Figura 29).

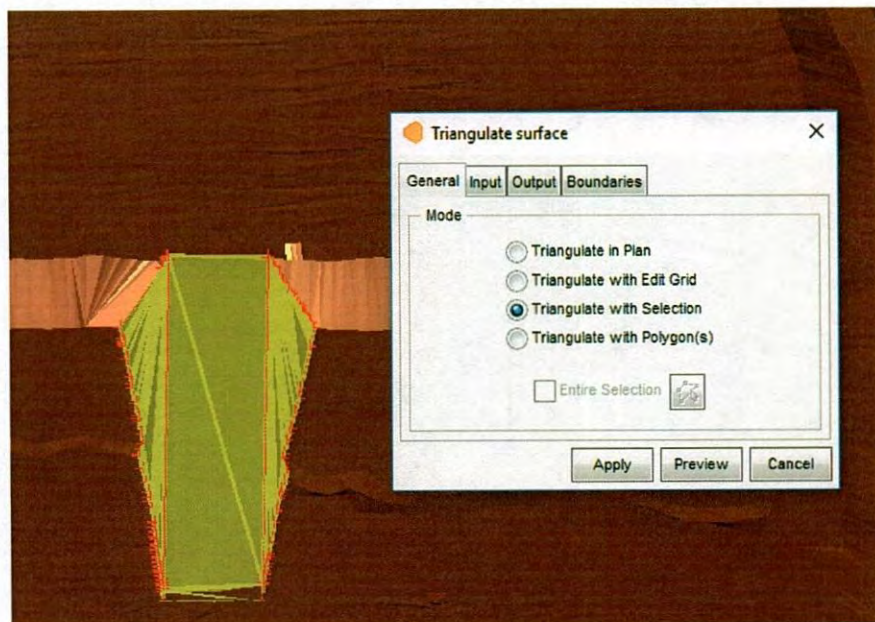


Figura 29. Pre visualización de la triangulación

Una vez verificada la triangulación, se selecciona la opción *Apply* para obtener un resultado, como se observa en la Figura 30.

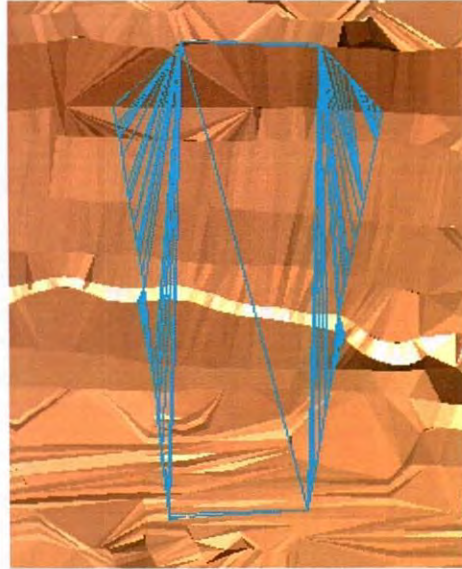


Figura 30. Triangulación

Una vez creada la triangulación, se da clic en la opción *Save*, para guardar y continuar con la creación del siguiente objeto geométrico.

3.8 Crear un sólido

Se crea un nuevo objeto geométrico dentro de la carpeta de AVANCE con el nombre SOLIDO y se habilita la edición (ver Figura 31).



Figura 31. Creación de objeto geométrico: sólido

Para obtener resultados más precisos y trabajar de una mejor manera es necesario crear un sólido, con el cual es posible calcular el tonelaje y metros cúbicos de material estéril (tepetate).

Primero, se selecciona de la barra de menú *Surface*, se da clic en la opción *Intersect Surfaces Tool...* (ver Figura 32).

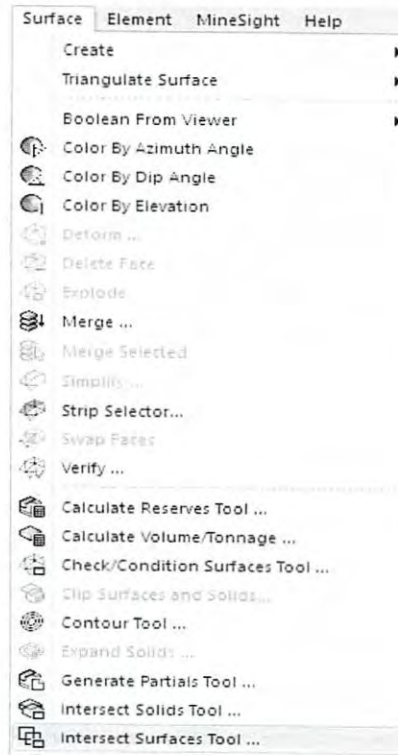


Figura 32. Selección de la herramienta *Intersect Surfaces Tool*

Al dar clic, se abre una ventana, donde, en la primera parte, en *Primary group* se selecciona la topografía y en *Secondary group* se selecciona la superficie de la rampa (triangulación), tal como se muestra en la siguiente figura:

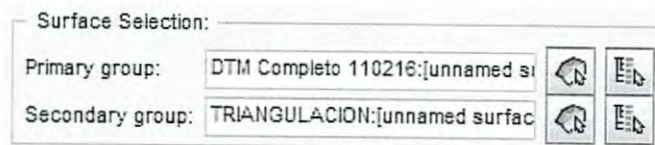


Figura 33. Selección de superficies

En la siguiente parte de la misma ventana, en *Get Results* se selecciona la opción *Solids*. En *Operation* se selecciona *Fill Solid* (ver Figura 34).

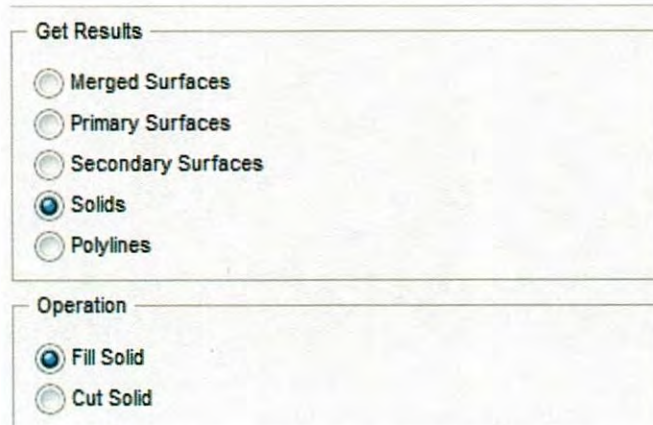


Figura 34. Especificaciones para la creación de un sólido

Después se da clic en *Apply* y apagamos los objetos geométricos POLILINEA Y TRIANGULACION de la carpeta AVANCE. El resultado que se obtiene se muestra en la siguiente figura.

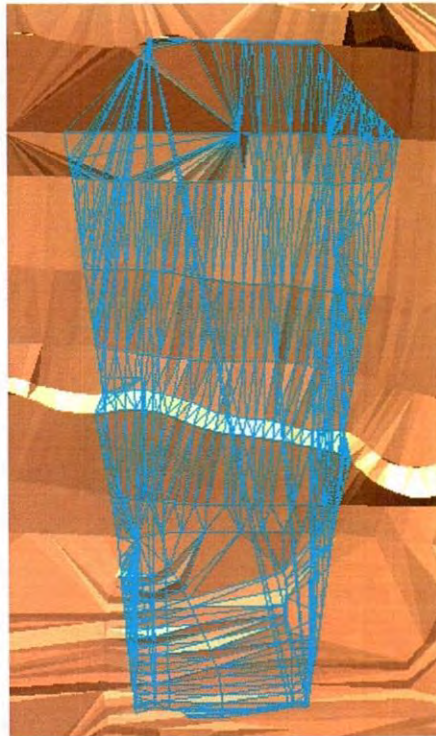


Figura 35. Creación del sólido

Se da clic derecho sobre el objeto geométrico SOLIDO, para abrir la ventana *General* y se selecciona la opción *Faces Only*, de la parte *Global* (ver Figura 36).

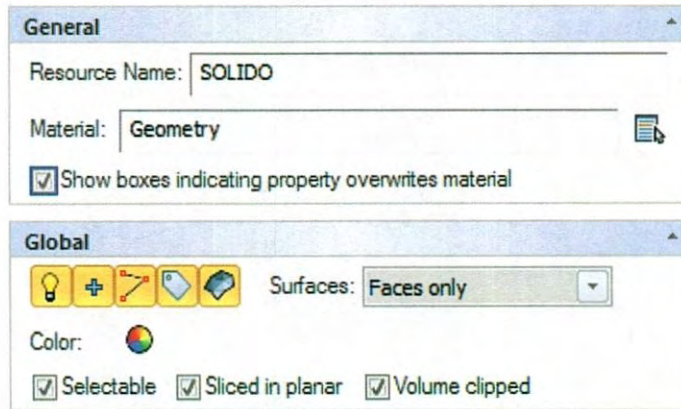


Figura 36. Selección de Faces only

En la siguiente figura se muestran los resultados de la rampa convertida en sólido:

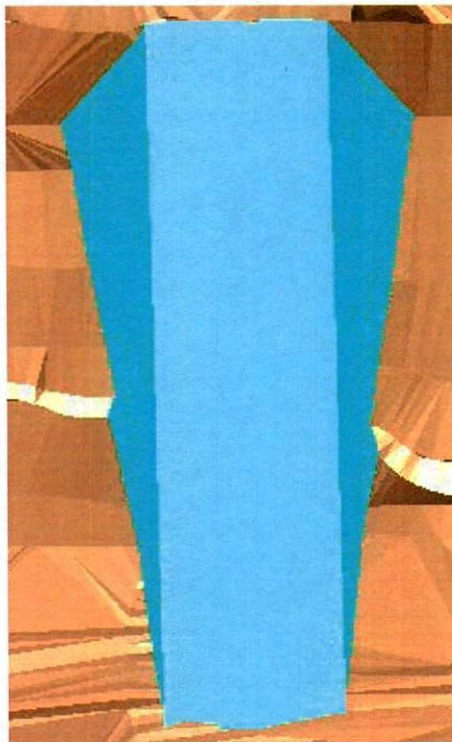


Figura 37. Sólido

4. DISEÑO DE RAMPA POR MEDIO DE ATTACH TEMPLATE ALONG POLYLINE

Se crea una carpeta nueva dentro de la carpeta AVANCE, con el nombre de RAMPA_2, después se crea un nuevo objeto geométrico con el nombre POLILINEA y se habilita la edición.

Al momento de crear la polyline se debe tener activada la opción de *Snap face*, para que nuestros puntos o polylines se unan a la superficie.

Una vez creada la polyline se ajusta la elevación y se le asigna una pendiente del 10%. Con este método nuestra polylinea servirá como un eje para el diseño de rampa (ver Figura 38).

Es necesario ajustar la elevación para cuidar el rendimiento de la maquinaria (ver *Ajuste de pendiente, p. 17*).

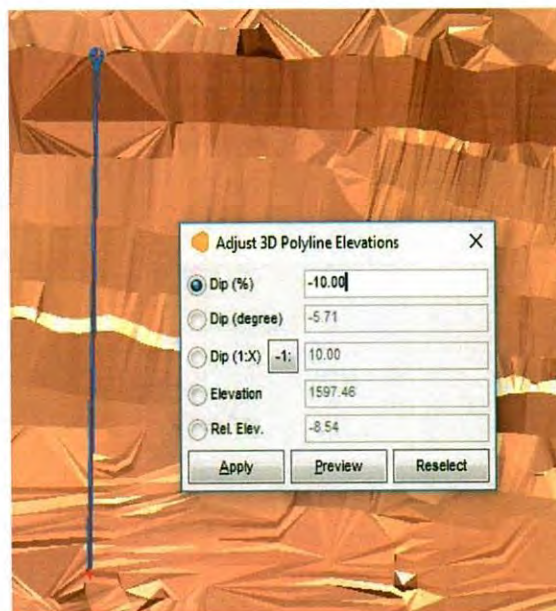


Figura 38. Ajuste de eje

Dar clic en el botón *Save*.

Para llevar control sobre el diseño es recomendable la creación de un nuevo objeto geométrico, en este caso, con el nombre de SUPERFICIE y se habilita la edición para crear en él una superficie para la rampa, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 39. Creación de objeto geométrico: superficie

De la barra de menú se selecciona la pestaña *Surface*, después la opción *Create* para desplazar una ventana y dar clic en *Attach Template along Polyline* (ver Figura 40).

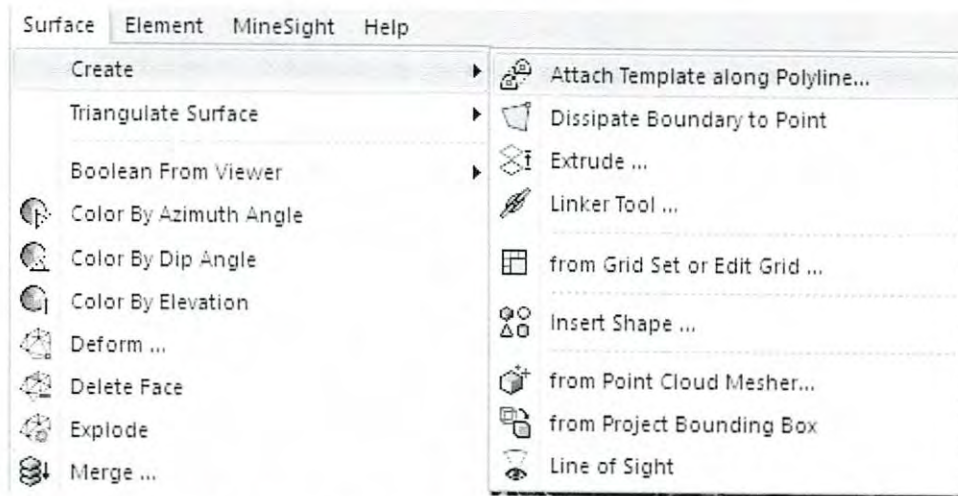


Figura 40. Selección de herramienta *Attach Template along Polyline*

Después, se selecciona la *polyline* para habilitar la edición de la herramienta *Attach template* y se da clic en la opción *Template editor*.

En la ventana que aparece se selecciona el ícono de la opción *Template Editor* señalado en la figura 41, para elegir el tipo de diseño que tendrá la rampa.



Figura 41. Selección del editor

En *Template Editor* ingresamos los datos de la rampa y la forma requerida:

- ✓ Forma de rampa: en esta parte seleccionamos la forma trapezoidal es la óptima para nuestro diseño.

- ✓ Dimensions: ingresamos el ancho (20m), altura (10m) y ángulo de nuestra rampa (37).
- ✓ Base Point: seleccionamos donde queremos que inicie la rampa en este caso es la opción *Top*, para unirse con la polyline por la parte alta.

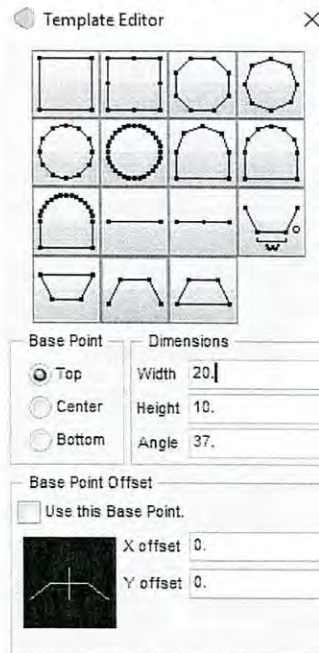


Figura 42. Selección de opciones de diseño

Se ingresan los datos en *Template Editor*, se da clic en el botón *Preview* y se debe verificar si la superficie de la rampa es viable o es necesario hacer algún cambio.

Después se da clic en el botón *Apply* y se apaga la topografía para apreciar mejor la triangulación de la rampa, en las propiedades del objeto seleccionamos *Faces only* para dar una mejor apreciación de la rampa.

Posteriormente, encendemos y habilitamos edición de nuestro objeto geométrico llamado POLILINEA para crear un *Offset* y generar los hombros de nuestra rampa, como se muestra en la siguiente figura:

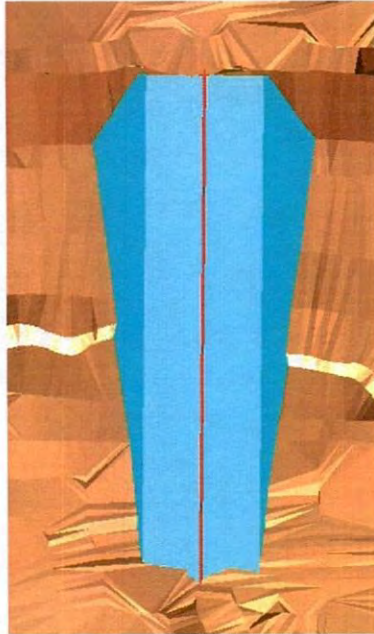


Figura 43. Polyline encendida en edición

Se crea un Offset de la polylinea original dando una distancia de 10 metros a cada una para generar los hombros de nuestra rampa (ver *Creación de un offset*, p. 7)

Se habilitan las opciones

- ✓ Keep the first offset
- ✓ Keep the second offset

Dar clic en el botón *Apply* (ver Figura 44).

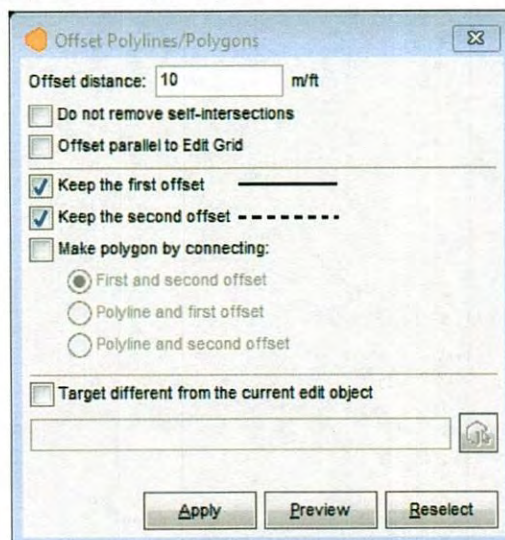


Figura 44. Creación de un offset doble

Una vez creado el offset de la polyline, se genera el resultado que se muestra en la figura 45. Las polylineas creadas (derecha e izquierda) son utilizadas por el área de topografía para marcarlas en campo para la realización de la rampa.

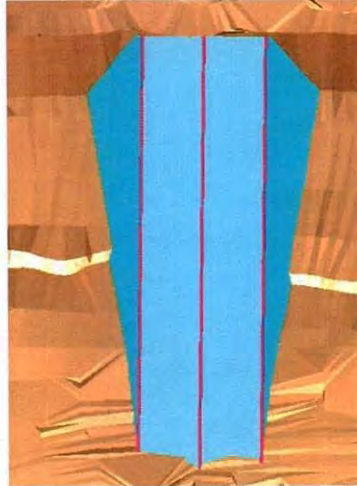


Figura 45. Creación de hombros

4.1 Crear un sólido

Se crea un nuevo objeto geométrico en la carpeta RAMPA_2 con el nombre de SOLIDO y habilitamos su edición para comenzar a trabajar en su diseño.

Para la creación de un sólido, se lleva a cabo el mismo procedimiento descrito en *Crear un sólido* (p. 25)

Se selecciona la topografía en Primary group y en Secondary group, seleccionamos la rampa, se verifica al dar clic en el botón Preview y se crea presionando el botón Apply (ver Figura 46).

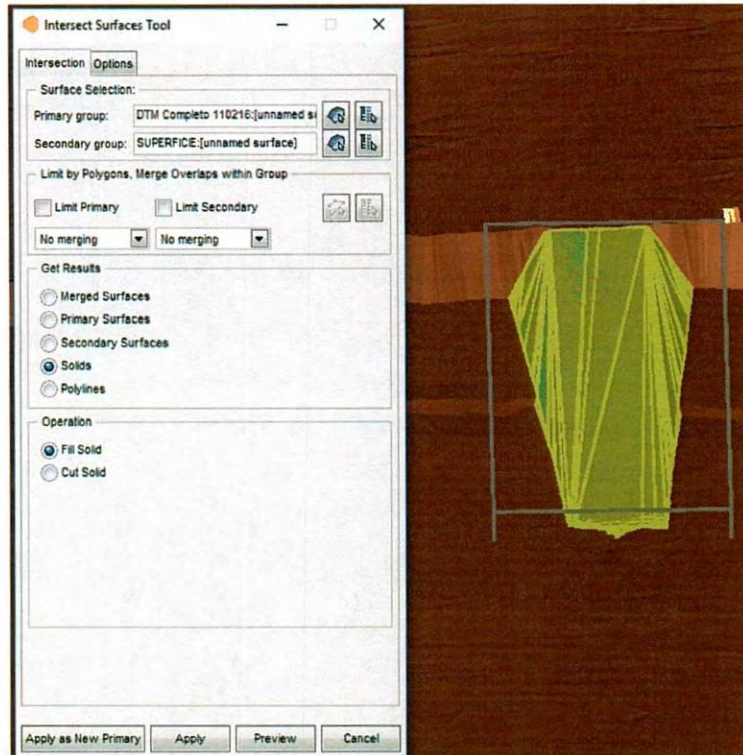


Figura 46. Pre visualización de la rampa

Una vez creado el sólido, se selecciona la opción Faces only y apagamos los demás objetos geométricos dejando sólo encendido el de SOLIDO y nuestra topografía, como se muestra en la siguiente figura:

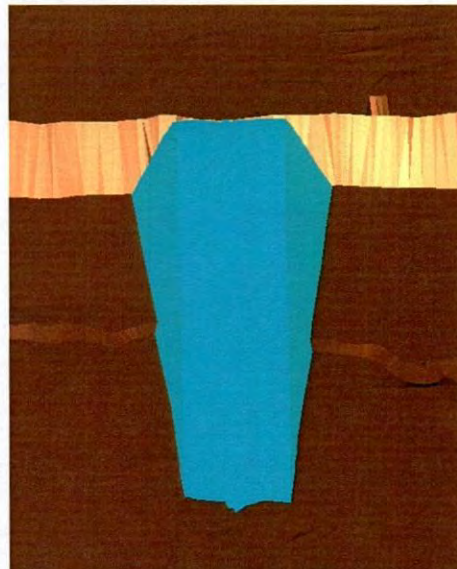


Figura 47. Sólido por medio de Attach Template Editor

4.2 Cálculo de volumen y tonelaje

Para calcular el volumen y tonelaje se utilizará el sólido de la rampa creada anteriormente.

Se selecciona de la barra de menú la opción Surface y después seleccionamos la opción Calculate Volume/Tonnage, como se muestra en la siguiente figura.

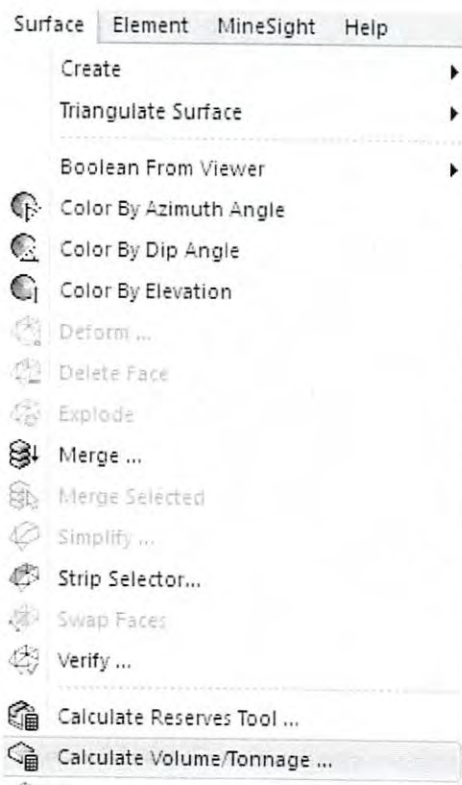



Figura 48. Selección de herramienta Calculate Volume/Tonnage

En la ventana, se selecciona la opción In a solid, después se da clic en el botón  para elegir el sólido que, en este caso, es la rampa, se le asigna una densidad y por último se da clic en el botón Apply (ver Figura 49).

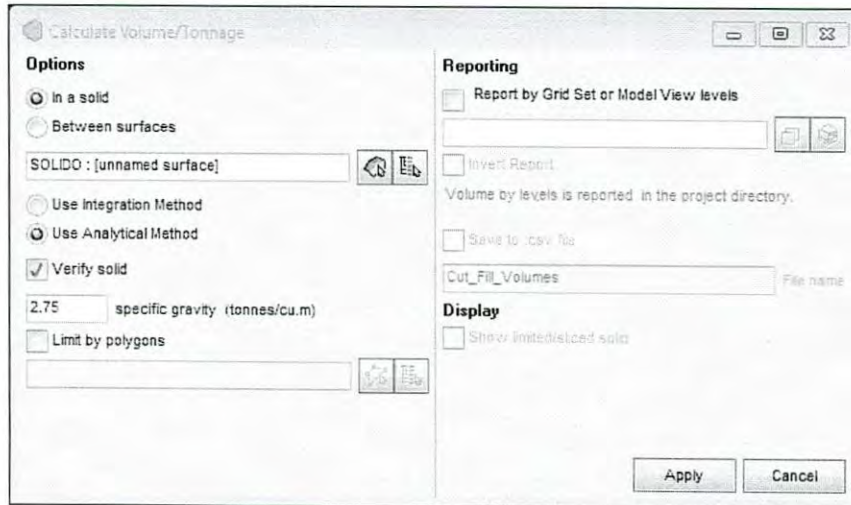


Figura 49. Cálculo de volumen y tonelaje

La información de nuestro cálculo aparece en la ventana de mensajes ubicada en la parte inferior de la pantalla, como se muestra en la siguiente figura:

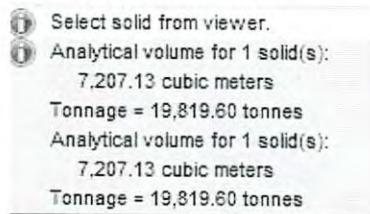


Figura 50. Resultado del cálculo de volumen y tonelaje

4.3 Rampa de corte

Para iniciar, se crea una carpeta nueva con el nombre de RAMPA DE CORTE, y dentro de ella se crea un objeto geométrico con el nombre POLILINEA y se habilita su edición.

Se activa Snap face, después se coloca la polyline en el lugar donde se ubicará la rampa de corte como se muestra en la siguiente figura:

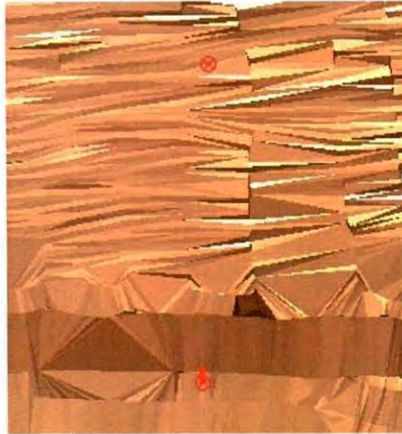


Figura 51. Colocación de polyline

Se ajusta la pendiente de la polyline al -10%, y la elevación (ver Figura 20, p. 17)

Posteriormente se crea un objeto geométrico con el nombre de TRIANGULACION y se habilita su edición.

Después, de la barra de menú se selecciona la opción *Surface*; se selecciona *Create* para desplazar un sub menú y se da clic en la opción *Attach Template along Polyline*. Se selecciona la polyline y se da clic en *Template Editor* (ver Figuras 40 y 41, p. 30).

En esta ventana se ingresan los datos de la rampa de corte y su forma adecuada. Se selecciona la forma trapezoidal, en la parte de *Base point* se da clic en la opción *Bottom*, y en *Dimensions* se le ingresa un ancho de 20 metros, altura de 10 y un ángulo de 63° (ver Figura 52).

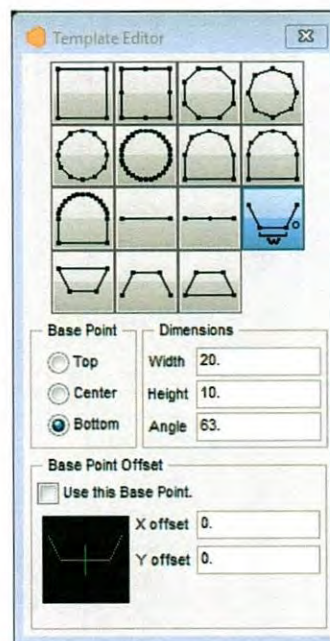


Figura 52. Editor de rampa de corte

Una vez aplicadas las especificaciones en *Template Editor*, se apaga la topografía para apreciar de mejor manera la triangulación de nuestra rampa de corte, como en la siguiente figura:

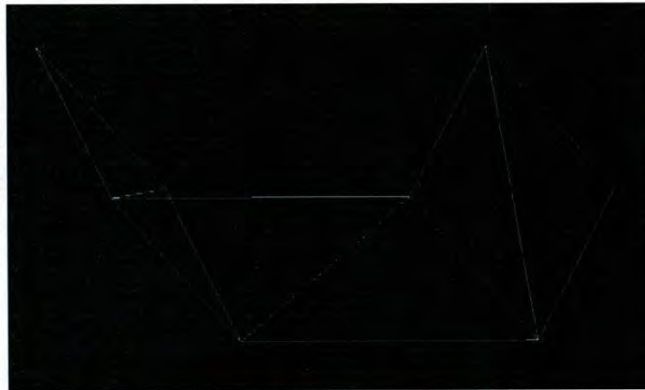


Figura 53. Triangulación rampa de corte

Encendemos nuevamente la topografía, se selecciona la opción *Only face* en las propiedades del objeto geométrico triangulación. El resultado se muestra en la siguiente figura:

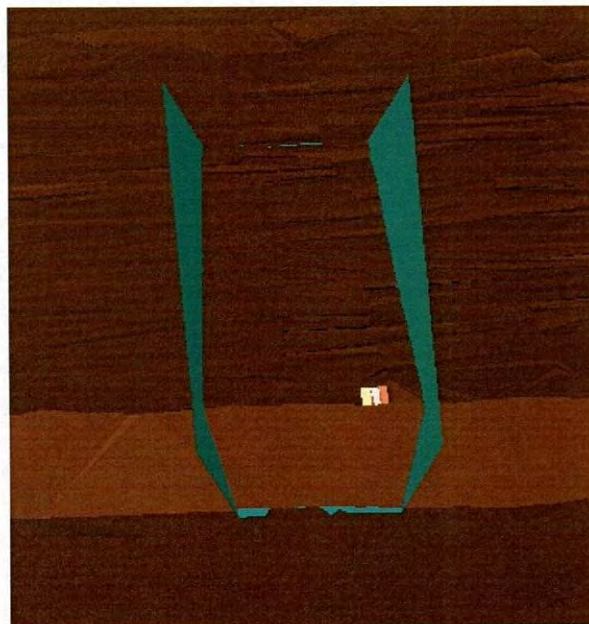


Figura 54. Triangulación con caras

Se crea un objeto geométrico con el nombre de *SOLIDO*. Después se selecciona la opción *Surface* de la barra de menú y se da clic en la opción *Intersect Surfaces Tool*. En la ventana de rampa de corte se seleccionan las opciones *Solids* y *Cut Solid* (ver Figura 55).



Figura 55. Selección de herramienta Intersect Surfaces Tool

Se crea un objeto geométrico con el nombre RAMPA CORTE y se habilita la edición. En la ventana se selecciona la opción Intersect Surfaces Tool para generar nuestra topografía actualizada.

En la parte de Get Results se selecciona la opción Merged Surfaces, y en la parte de Operation se da clic en la opción Cut Surface (diff). Finalmente se da clic en el botón Apply, como se muestra en la siguiente figura:

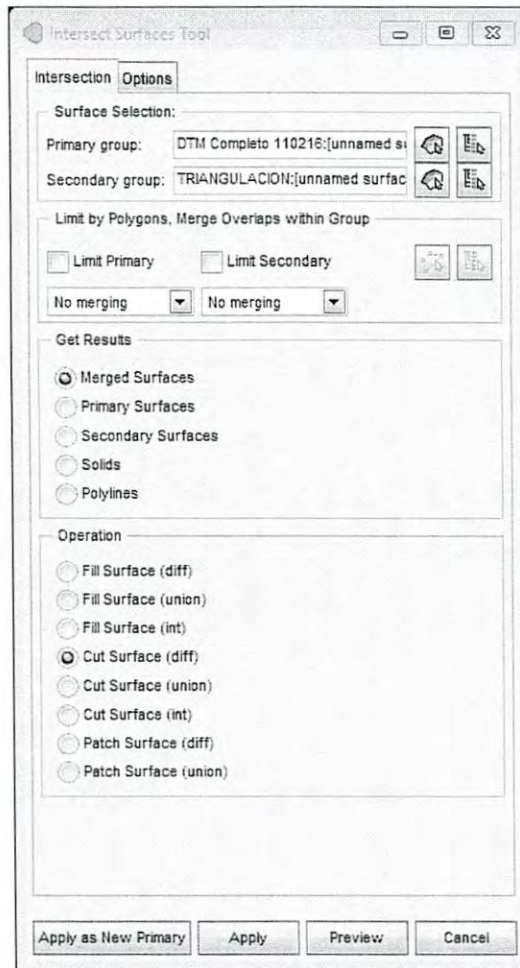


Figura 56. Creación de nueva topografía

Una vez aplicada la opción Intersect Surfaces Tool se apagan todos los objetos geométricos y se deja prendido únicamente el objeto geométrico RAMPA CORTE para apreciar de mejor manera el resultado (ver Figura 57).

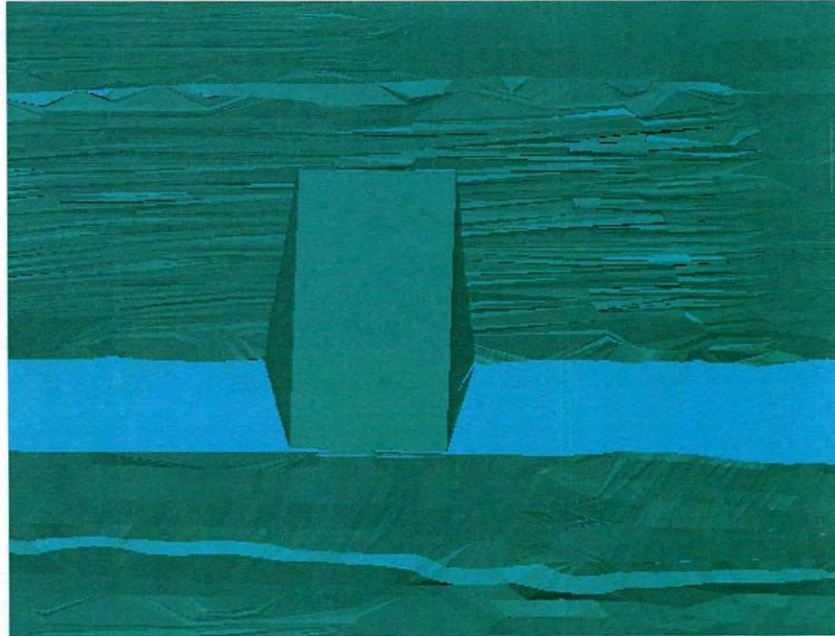


Figura 57. Rampa: corte final

4.4 Cálculo de volumen y tonelaje

Se enciende el objeto geométrico con el nombre SOLIDO y la topografía original, después se selecciona la opción *Calculate Volumen/Tonnage*, como en la figura 58 y se le da clic en *Apply*.

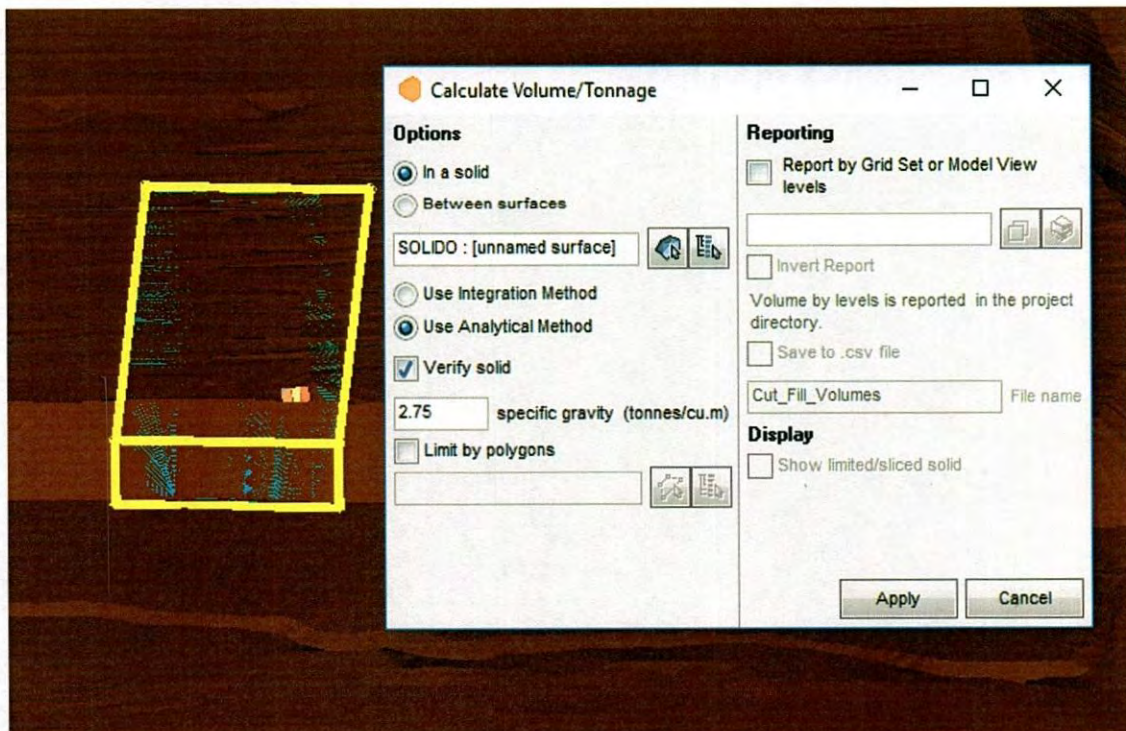


Figura 58. Cálculo de volumen y tonelaje de rampa de corte

En la parte inferior de la pantalla nos arroja los resultados del cálculo realizado, como se muestra en la siguiente figura:


 1 Geometry object created.
Analytical volume for 1 solid(s):
5,776.38 cubic meters
Tonnage = 15,885.06 tonnes

Figura 59. Resultados de cálculo de volumen y tonelaje de la rampa de corte

5. RAMPA PARA VEHÍCULOS LIGEROS

Se crea un objeto geométrico con el nombre de LINEA BASE, se activa la edición y se crea una polyline conectando dos niveles diferentes donde se desea crear la rampa, como se muestra en las figuras 60 y 61.



Figura 60. Vista de planta de la polyline conectando dos niveles diferentes

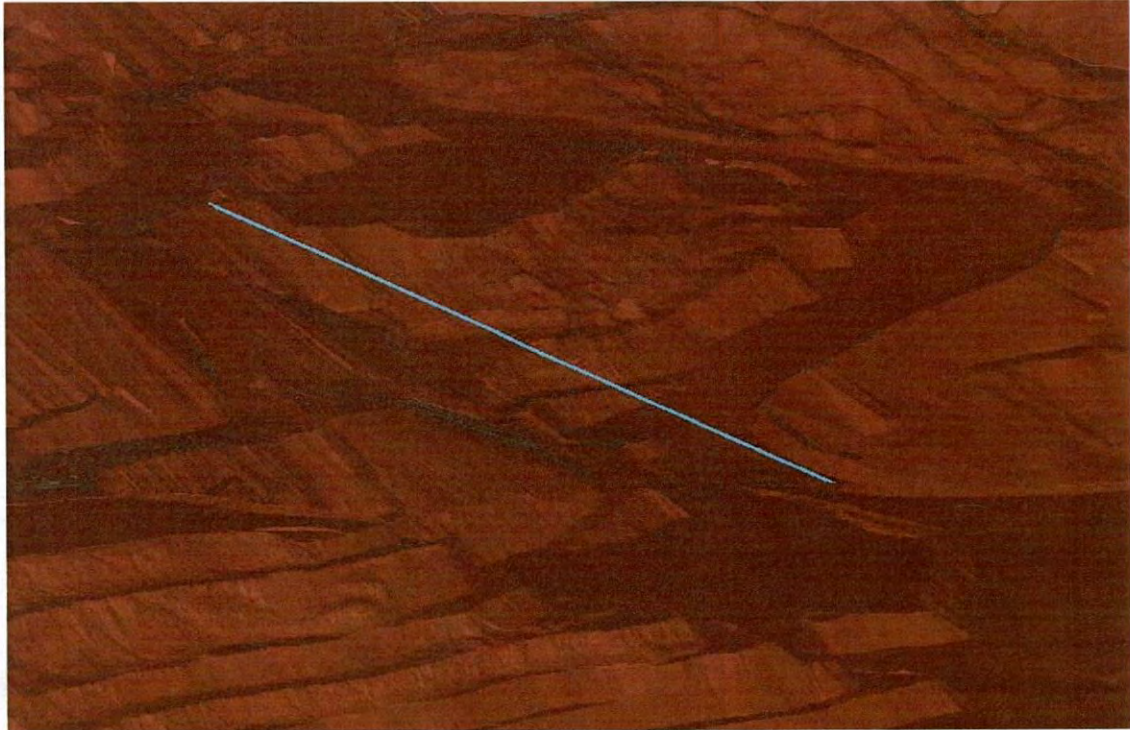


Figura 61. Vista de perfil de la polyline conectando dos niveles

5.1 Ajuste de pendiente

Se ajusta la pendiente de la polyline considerando que esta rampa sólo será utilizada para vehículo de peso ligero.

Para ajustar la pendiente se sigue el procedimiento descrito en *Ajuste de pendiente* (p. 17), posteriormente se le da un valor del 15%, como se muestra en la siguiente figura:

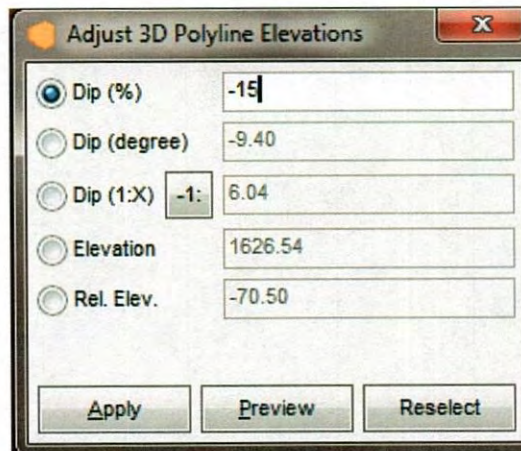


Figura 62. Ajuste de pendiente de rampa

5.2 Smooth

Se despliega el menú de *Polyline*, y se da clic en la opción de *Substring*; en el submenú desplegado se da selección a la opción de *Smooth* (ver Figura 63).

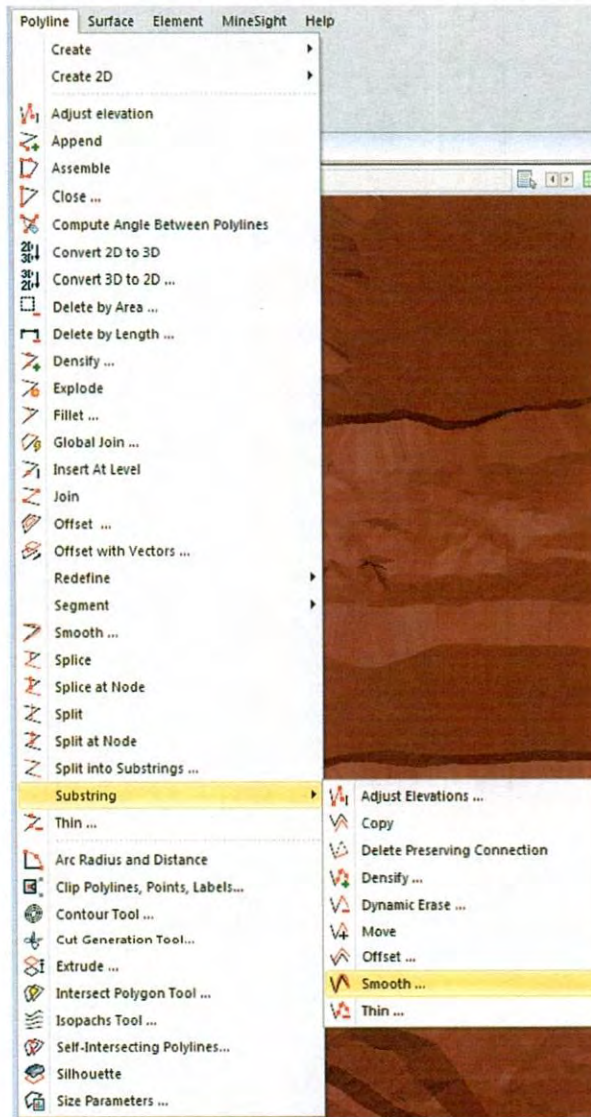


Figura 63. Selección de herramienta Smooth

Una vez seleccionada la opción de Smooth nos aparece la ventana Substring Smooth (ver Figura 64), donde se ingresa la cantidad de puntos que se requieren agregar por la manipulación de la polyline.

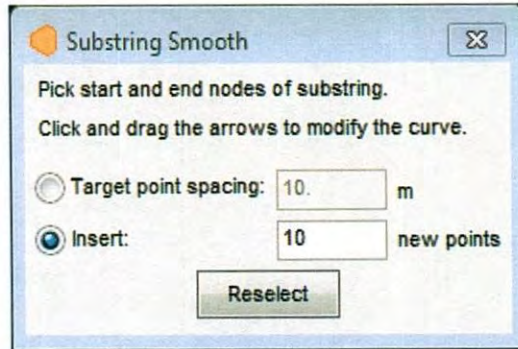


Figura 64. Selección de puntos deseados en la polyline

Después se seleccionan los extremos de la polyline para comenzar a trabajar con la opción Smooth.

Al momento de seleccionar los extremos se activan dos flechas con las que daremos la curva para suavizar nuestra polyline.

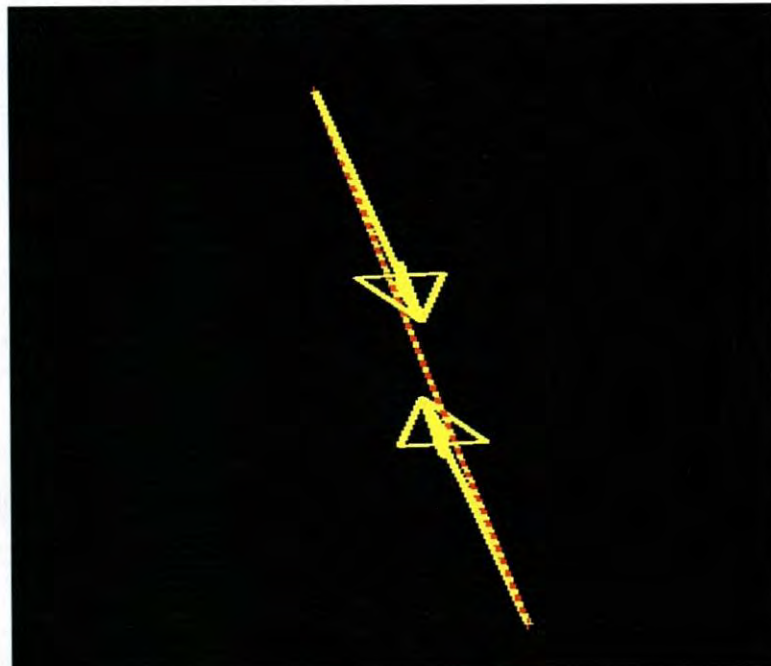


Figura 65. Editor de polyline

Cuando se obtiene la curva deseada se da clic derecho en cualquier parte del área de trabajo para salir de la edición *Smooth*.

La pre visualización se muestra en la Figura 66. Finalmente el resultado que se obtiene al aplicar la opción *Smooth* se presenta en la Figura 67.

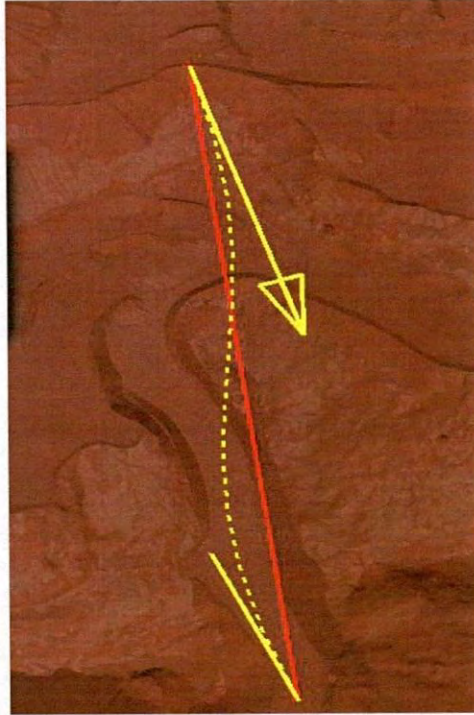


Figura 66. Vista previa de polyline



Figura 67. Resultado final de polyline

5.3 Attach Template

Una vez modificada de la polyline, se crea un objeto geométrico con el nombre de TRIANGULACION y se activa la edición.

Posteriormente se sigue el mismo procedimiento descrito en las p. 29, 30 y 31 para crear la triangulación y forma.

Se selecciona la polyline para habilitar la edición de la herramienta *Attach template* y se selecciona la opción *Template Editor*, como se muestra en la siguiente figura:

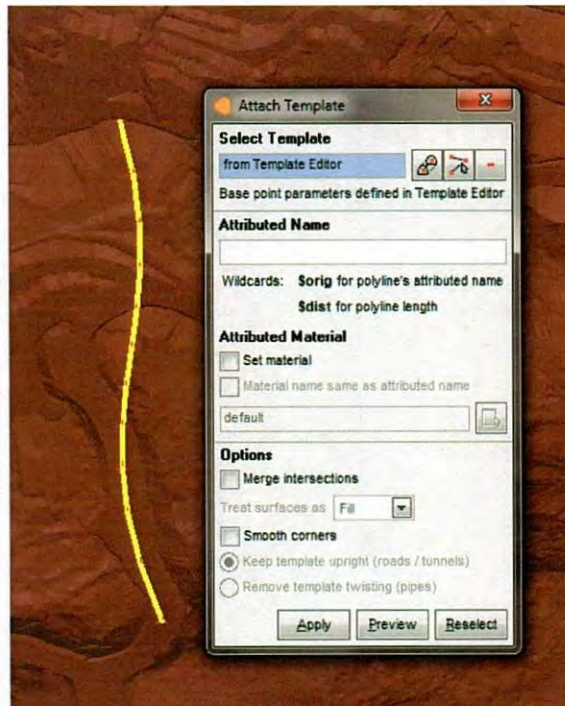


Figura 68. Selección de la herramienta *Attach Template*

Una vez aplicada la opción *Template Editor* se ingresan los datos para la rampa.

Se selecciona la figura marcada de azul (ver Figura 69). En la parte de *Base point* da clic en *Top*, y después en la parte de *Dimensions* se ingresan los siguientes valores: *Width* (ancho): 20 m, *Height* (altura): 50 m (en este caso, se utilizan 50 m para poder generar intersección entre la topografía y la rampa que se va a crear), *Angle* (ángulo): -37.

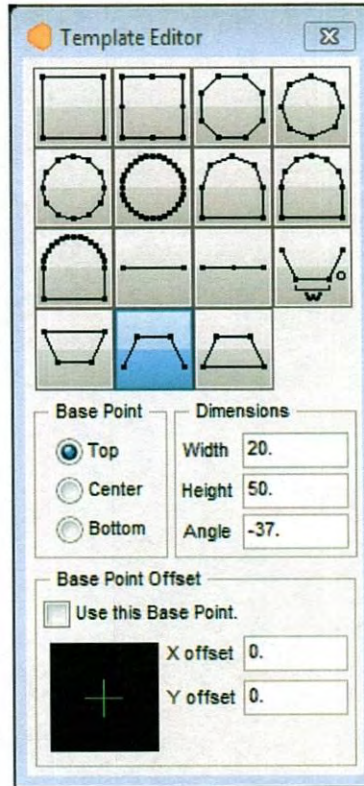


Figura 69. Especificaciones para rampa vehicular

Después de aplicar lo anterior, se obtiene como resultado la triangulación que se muestra en la siguiente figura:

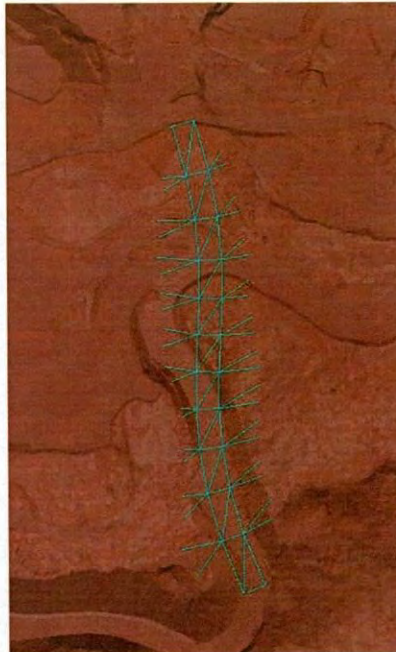


Figura 70. Triangulación rampa vehicular

5.4 Creación del sólido

Se crea un objeto geométrico con el nombre de SOLIDO y se habilita la edición.

Para la creación del sólido se sigue el procedimiento descrito en *Crear un sólido* (p. 25).

Al aplicar la opción *Intersect surfaces tool* se genera el sólido, como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 71. Creación del sólido. Vista de planta

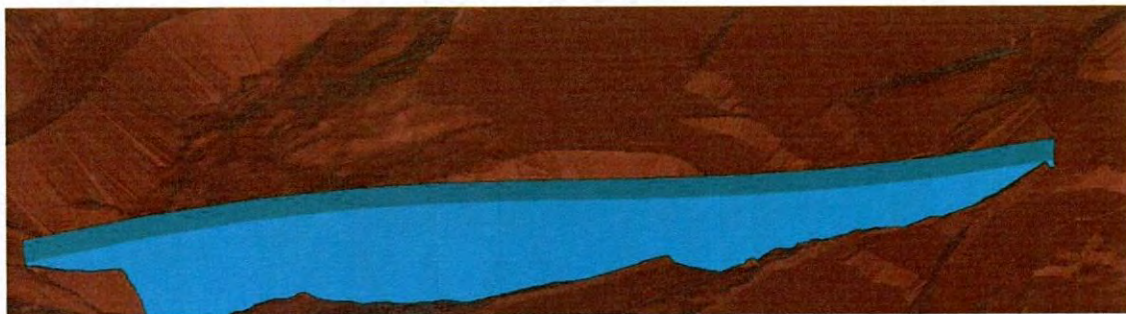


Figura 72. Creación del sólido. Vista de perfil

5.5 Cálculo de volumen/tonelaje de la rampa final.

Para calcular el volumen y tonelaje, se sigue el procedimiento descrito en *Cálculo de volumen y tonelaje* (p. 41).

El resultado se obtiene en toneladas y metros cúbicos, como se muestra en la siguiente figura:

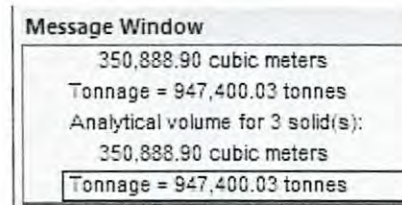


Figura 73. Resultado de cálculo final

6. TEPETATERAS

El material estéril extraído de la mina, debe ser dispuesto en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que se requiere definir las características de estos lugares. Un buen lugar para una tepetatera lo constituirá el sector que cumpla de mejor manera todas las exigencias para su habilitación, tanto técnicas como económicas, de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- La distancia entre el punto de carga en la mina y el lugar de descarga del material estéril (o tepetatera) debe ser la mínima posible, por una razón económica, ya que el rendimiento de los equipos de transporte es afectado por esta distancia.
- El lugar donde se depositarán los escombros o estéril debe ser geológica y geomecánicamente apto para ello, ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar siniestros geomecánicos en el sector mismo (hundimiento) o en sectores aledaños (distribución de esfuerzos).

Consideraciones del diseño de tepetatera:

- Altura: distancia vertical desde la superficie del terreno a la cresta de tepetatera.
- Volumen: usualmente expresado en metros cúbicos y toneladas.
- Tepetateras pequeñas: menor a 1 millón de metros cúbicos.
- Tepetateras medianas: entre 1 millón y 50 millones de metros cúbicos.
- Tepetateras grandes: mayores a 50 millones de metros cúbicos.

6.1 Diseño de tepetatera con pit expansión

Para comenzar la creación de las tepetateras se selecciona la cota (altura) más alta para poder iniciar a partir de ese nivel.

Se encienden las curvas de nivel de nuestra topografía y se selecciona la cota más alta del área asignada para la tepetatera.

Para conocer las alturas de nuestro trabajo se selecciona de la barra de menú la opción Query, posteriormente se da clic en la opción Query element. Una vez seleccionada la curva, esta cambia de color (ver Figura 74) indicando que se seleccionó correctamente y de este modo nos proporciona la altura.

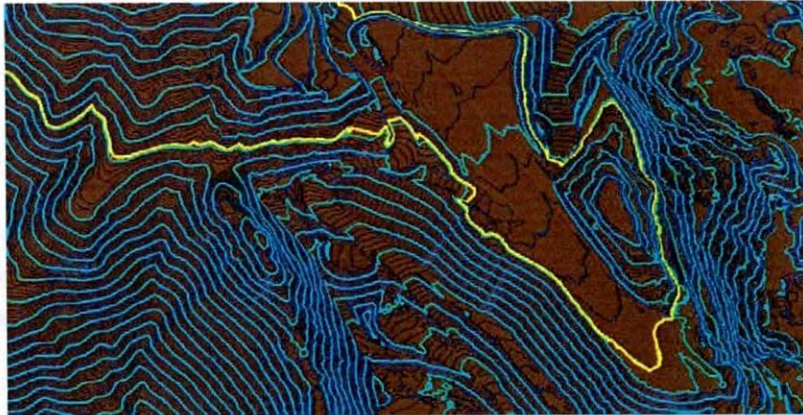


Figura 74. Selección de curva de nivel

Los datos de la curva de nivel son representados en un cuadro donde nos proporciona Y,X y Z, como se muestra en la siguiente figura:

Query Polyline Curvas

Object:
 \\Avance Practica 1\Avance\120216\Curvas.msx

Points: 17,020
 Length: 4,437.00 m
 Area:
 Plane: Plan 1728.00
 Show point list

Attr	Value
Name	Index Contour
Material	Index Contour

Export format: 3D points file (ASCII)
 Export filename:
 Append to export file

Select points to export:

	Easting	Northing	Elevation
1	707262.17	3179130.45	1728.00
2	707261.55	3179130.27	1728.00
3	707261.02	3179130.09	1728.00
4	707260.33	3179129.82	1728.00
5	707259.51	3179129.45	1728.00
6	707258.68	3179129.03	1728.00
7	707257.97	3179128.62	1728.00
8	707257.50	3179128.28	1728.00
9	707257.18	3179127.96	1728.00
10	707256.92	3179127.62	1728.00
11	707256.63	3179127.21	1728.00
12	707256.33	3179126.74	1728.00
13	707256.07	3179126.25	1728.00
14	707255.88	3179125.74	1728.00
15	707255.74	3179125.16	1728.00
16	707255.65	3179124.46	1728.00
17	707255.58	3179123.59	1728.00
18	707255.54	3179122.62	1728.00
19	707255.55	3179121.67	1728.00
20	707255.62	3179120.80	1728.00
21	707255.77	3179119.97	1728.00
22	707255.98	3179119.13	1728.00
23	707256.26	3179118.22	1728.00
24	707256.55	3179117.32	1728.00

Export Cancel

Figura 75. Elevación de curva de nivel

Después de obtener la cota más alta de donde se creará la tepetatera, se selecciona de la barra de menú la opción Pit Expansion Tool (ver Figura 76).



Figura 76. Selección de herramienta Pit Expansion Tool

Esta opción permite generar tajos, caminos, rampas y en este caso tepetateras. Se da clic en la opción *Pit Expansion Tool* para ingresar los datos de la tepetatera. Los datos a ingresar en nuestro proyecto pueden variar según sea la calidad del material que reposa, los datos se obtienen con un estudio previo de geomecánica.

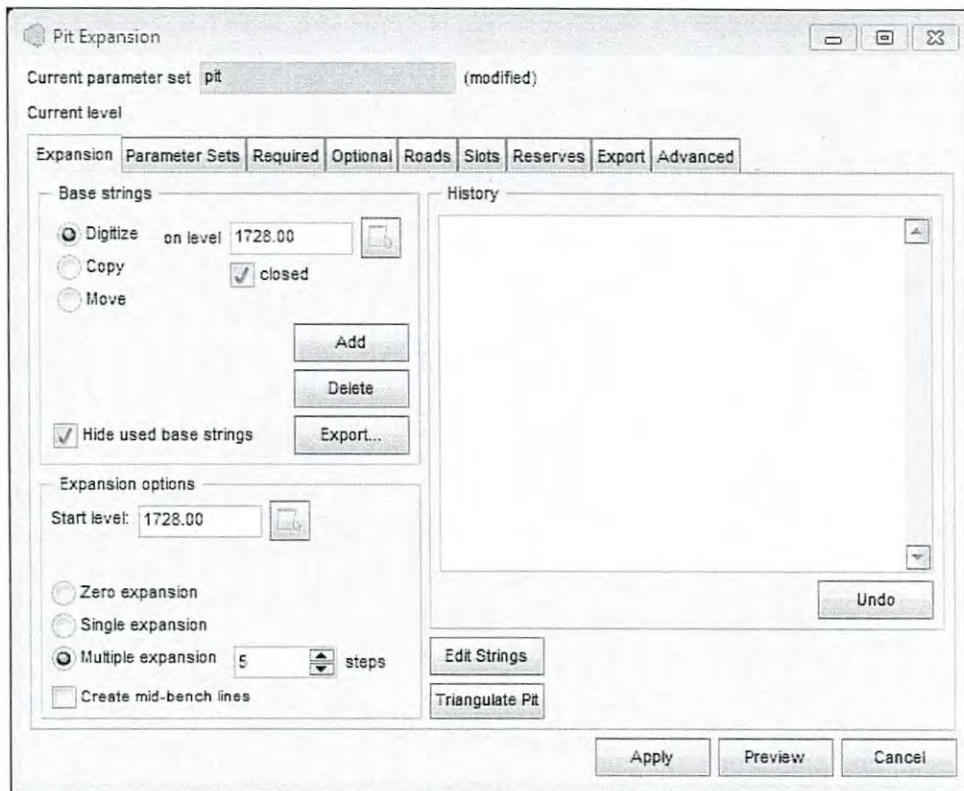


Figura 77. Editor de Pit Expansion

En la ventana de *Pit Expansion* se selecciona la pestaña *Expansion*, donde se ingresan los datos correspondientes a la tepetatera.

Se selecciona la pestaña *Required* (ver Figura 78) y en esta área se ingresan los diferentes valores a utilizar para el diseño de la tepetatera.

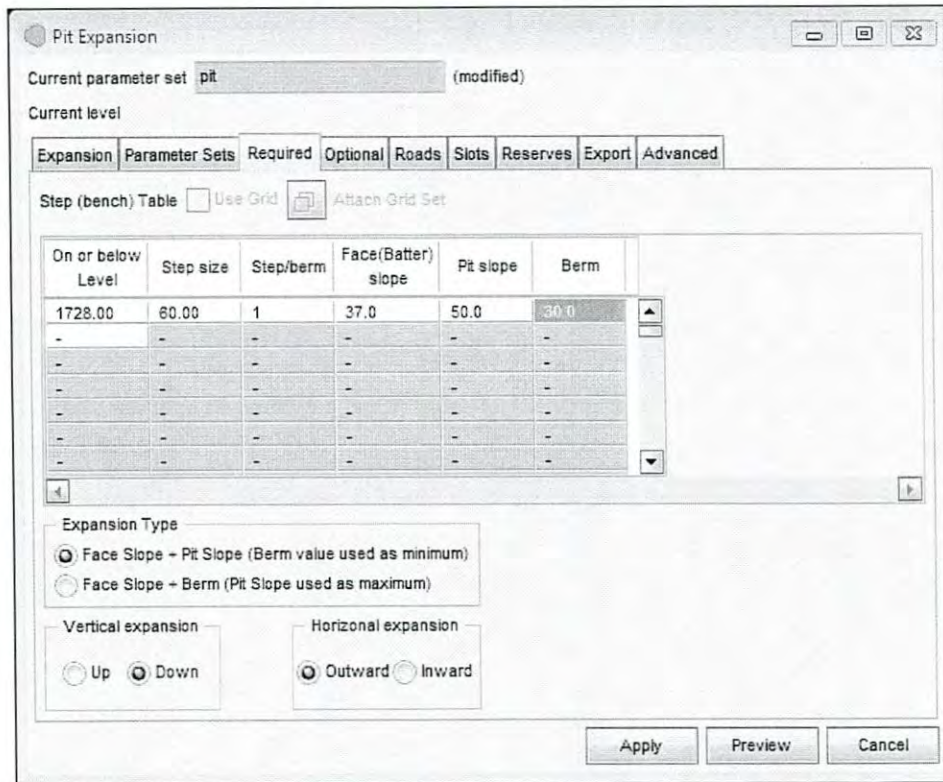


Figura 78. Opción Required

En la sección de *Expansión Type* se selecciona la opción *Face Slope + Pit Slope*, y en la sección *Vertical expansion*, se selecciona la opción *Down*, para generar la tepetatera de arriba hacia abajo. Finalmente en la sección de *Horizontal expansion*, se da clic en la opción *Outward*, para crearla hacia afuera.

Se selecciona nuevamente la pestaña *Expansion* y se da clic en la opción *Add* para crear el polígono base de la tepetatera (ver Figura 79).

En la sección de *Base strings*, se da clic en la opción *Digitalize*, y se selecciona el valor 1728, que se obtuvo anteriormente con la opción *Query* (ver Figura 75).

En la sección de *Expansion options* (ver Figura 79), se asigna la altura 1728 en *Start level*, y se selecciona la opción *Multiple expansion*, y se asignan el número de *steps* (expansiones) deseadas, que en este caso son 5.

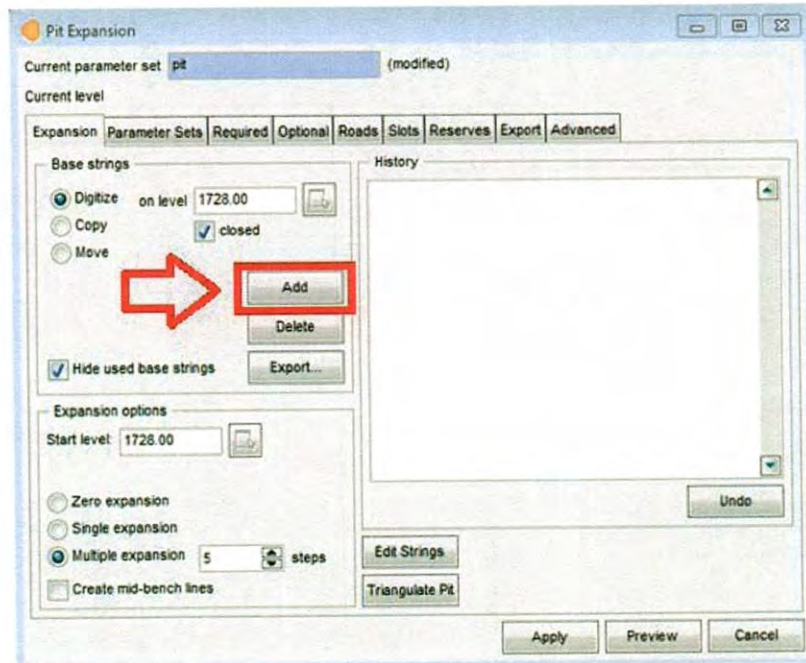


Figura 79. Datos para creación de tepetatera

Se crea el polígono y se da clic derecho en cualquier parte del área de trabajo para confirmar la creación, como se muestra en la siguiente figura:

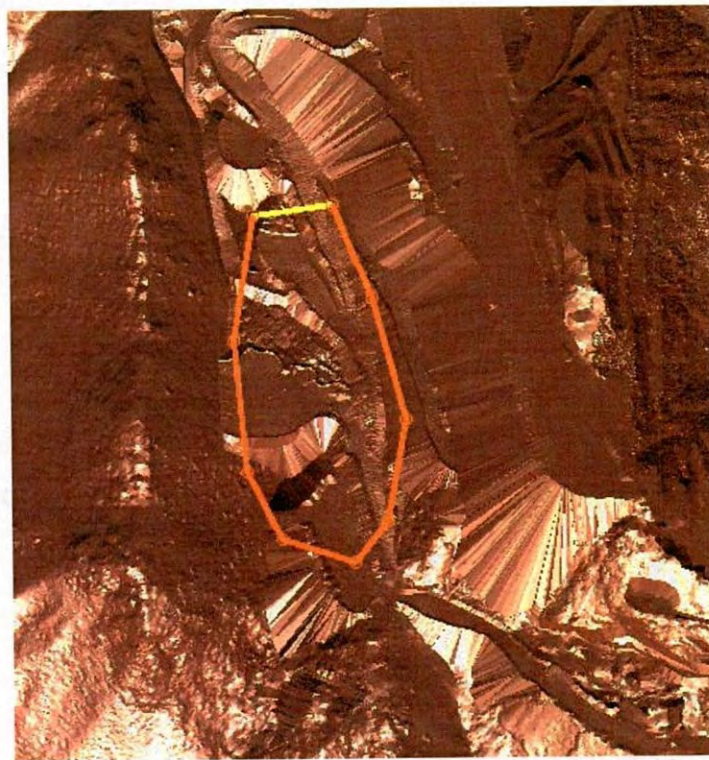


Figura 80. Creación de polígono

Se da clic en *Preview*, y se genera un cono. Este contorno sirve como referencia para ver el posible diseño final. Si el contorno cumple con los requisitos se le da clic en el botón *Apply*. El resultado se muestra en la siguiente figura:

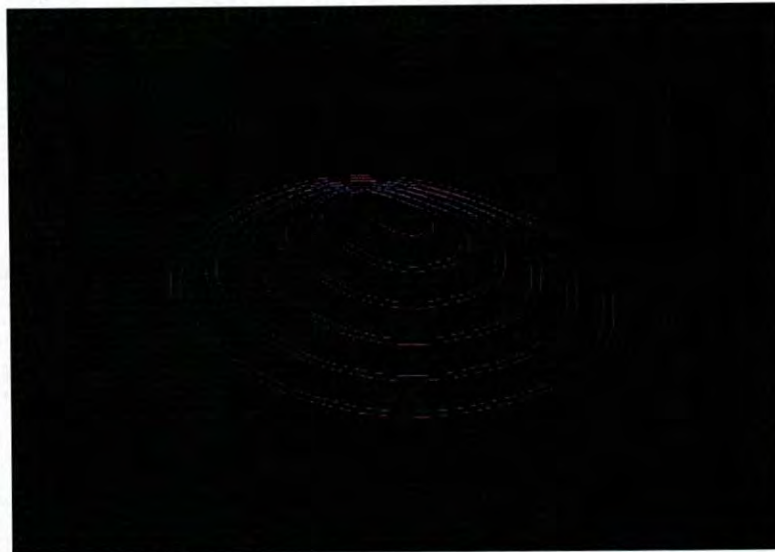


Figura 81. Contorno de tepetatera

6.2 Triangulación de tepetatera

Una vez creado el contorno de la tepetatera, se crea otro objeto geométrico con el nombre de TRIANGULACION.

Se selecciona la opción *Triangulate Pit* (ver Figura 82) para crear la triangulación de nuestro contorno.

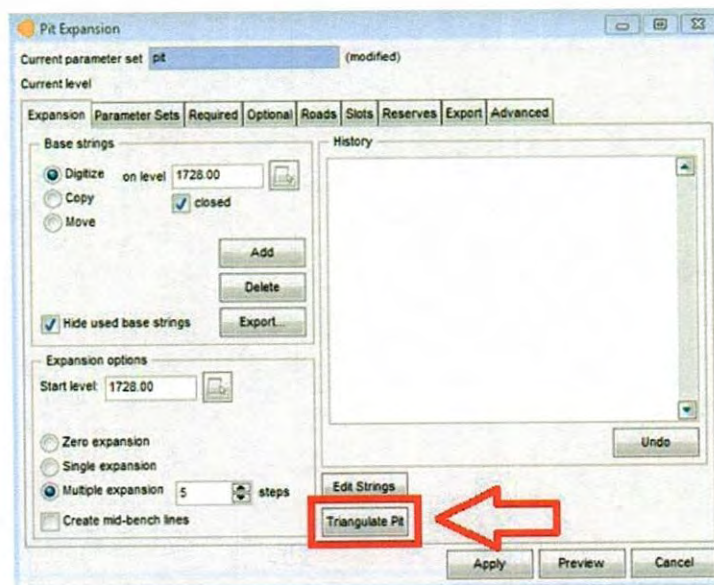


Figura 82. Selección de herramienta *Triangulate Pit*

Una vez aplicada la opción de *Triangulate Pit* se genera el resultado que se muestra en la figura 83.

Para comenzar a trabajar con la triangulación, se selecciona la opción *Faces only* de modo que nos permita tener una mejor apreciación de la tepetatera.

Si cumple con las expectativas, se crea un sólido para poder calcular su tonelaje.

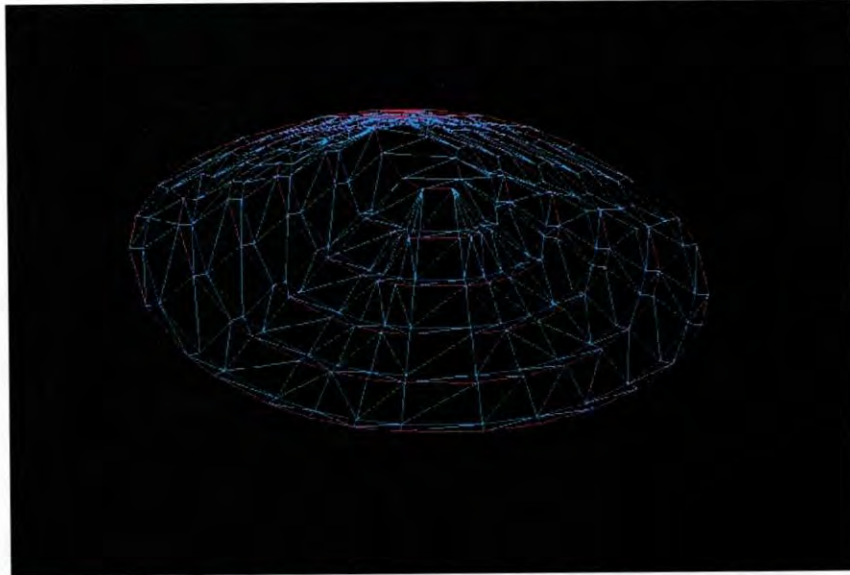


Figura 83. Triangulación de tepetatera

6.3 Creación de un sólido

Para crear un sólido se sigue el procedimiento descrito en *Creación de un sólido* (p. 25).

Se selecciona la opción *Intersect Surface Tool*, para convertir nuestro la tepetatera a un sólido.

En la sección *Surface Selection* se selecciona en *Primary group* la topografía en general, y en *Secondary group*, se selecciona la tepetarera, como se muestra en la siguiente figura:

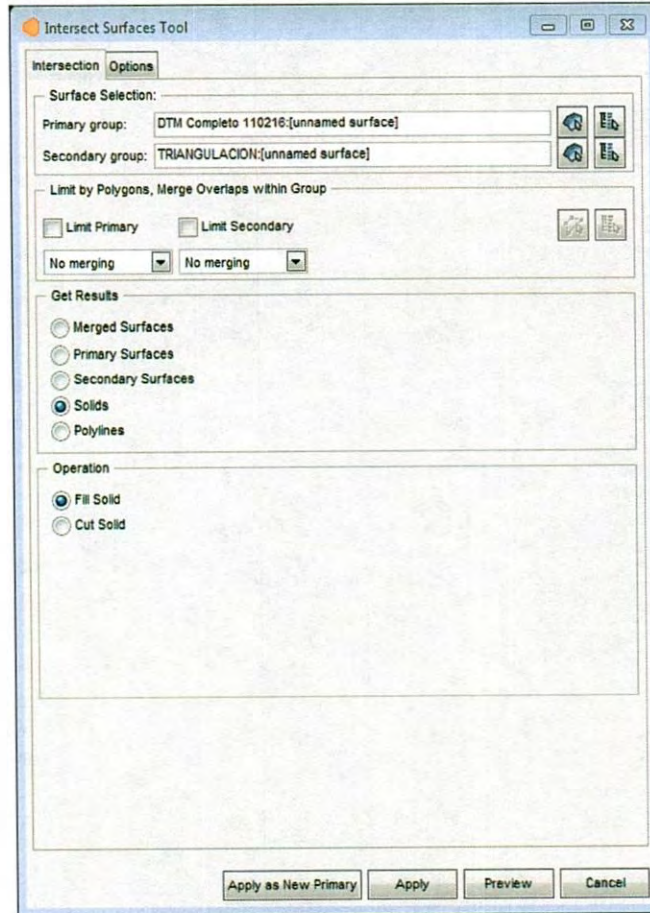


Figura 84. Selección de datos para creación de sólido

Una vez seleccionados los datos, se da clic en el botón Apply. El resultado que se obtiene se muestra en la figura 85.

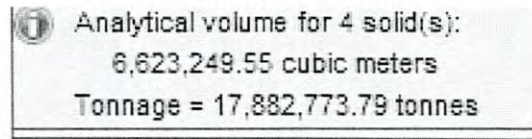


Figura 85. Creación de sólido: tepetatera

6.4 Calculo de volumen de la tepetatera

Para el cálculo del volumen se sigue el procedimiento descrito en *Calculo de volumen y tonelaje* (p. 41)

Se da clic en el botón *Apply* y el resultado se muestra en la ventana de mensaje que se encuentra en la parte inferior de la pantalla como se muestra en la siguiente figura:



Analytical volume for 4 solid(s):
6,623,249.55 cubic meters
Tonnage = 17,882,773.79 tonnes

Figura 86. Resultado de cálculo de volumen de tepetatera

7. CONCLUSIÓN

La aportación de esta disertación será de ayuda para los estudiantes de la Universidad de Sonora, en especial a los alumnos de la carrera de ingeniero minero ya que podrán practicar y ayudarse de este manual para trabajos en clase y proyectos, de la misma manera impulsará a las nuevas generaciones de ingenieros mineros a utilizar de forma más práctica los software disponibles y caracterizar a la Universidad de Sonora por formar ingenieros con amplios conocimientos ya que en la actualidad es fundamental en la minería para su diseño y planificación diaria.