



**Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**Facultad de Minería y Geología**  
**Departamento de Ingeniería en Minas**

# **APLICACIÓN DEL AUTOCAD LAND A PROYECTOS DE PRESAS DE TIERRA**

**Tesis presentada en opción al Título  
Académico de  
Máster en Topografía Minera**

**ARNALDO BÁRBARO CABRERA MURRELL**

**MOA, 2013**



**Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**Facultad de Minería y Geología**  
**Departamento de Ingeniería en Minas**

# **APLICACIÓN DEL AUTOCAD LAND A PROYECTOS DE PRESAS DE TIERRA**

**Tesis presentada en opción al Título  
Académico de  
Máster en Topografía Minera**

**Autor: ARNALDO BÁRBARO CABRERA MURRELL**

**Tutores:** *MSc. Ing.* Antonio Luis Calaña Azcuy

*MSc. Ing.* Ana Caridad Che Viera

**Consultante:** *Ing.* Francisco Raúl Casanella Leyva

**MOA, 2013**

## **PENSAMIENTO**

*.... Una Tecnología, puede ser el origen de ventajas competitivas para el que la conoce y sepa aprovecharlas y una amenaza para el que no la conoce y debe competir con los que ya la dominan....*

*Ricardo A Ferraro, Carlos Lerch*

*¿Qué es que en Tecnología?*

*Ediciones GRANICA 1997*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas aquellas personas e instituciones que de una forma u otra colaboraron en la realización de esta investigación, en especial a:

- La dirección de la empresa Raudal, -a Celia, Daniel, Idelisa, Omelia por permitirme el ingreso en la maestría en Topografía Minera.
- Al Dr. Orlando Belete Fuentes y al Ing. Yordanis E. Batista Legrá por pensar en mí en el momento de la apertura de la maestría.
- A José A. Torres Feria,-Jefe del área de Topografía de Raudal por su apoyo incondicional.
- Al Msc Antonio Luis Calaña Azcuy y al Ing. Francisco Raúl Casanella Leyva por lograr materializar las ideas de este trabajo.
- A José Ramón por su contribución a la investigación.
- Al Colectivo de Profesores de la Maestría por elevar nuestro nivel profesional.
- Al grupo de especialistas de la Unidad Tránsito de Raudal, en especial al Ing. Aniel Alvarez por su valiosa colaboración.
- A los grupos de Gabinete y Topografía Campo de Raudal por su necesario apoyo.
- A mi madre, mi padre, mi hermana, por brindarme en todo momento inspiración, confianza, estabilidad.
- A mi esposa Florisolis, mi abuela mima, mis tías alina, aidita, mi prima arisleyda por su consuelo, preocupación, su constancia.
- A otros ....., por existir.

A todos les doy muchas Gracias.

## DEDICATORIA

*Los resultados de esta investigación están dedicados a:*

- *A la Revolución Cubana, desde mi rama, pondré en alto el nombre de Cuba.*
- *Al Gremio topográfico de la región Oriental, que el presente trabajo sirva de inspiración a otros para mantenernos a tono con el creciente y progresivo avance tecnológico mundial.*
- *A mi abuela Juana, a Pipo, Roly, Delo, ¡Que Dios los tenga en la gloria!*
- *A mi madre, mi padre, mi hermana, mi esposa, a toda mi familia.. Los sueños se hacen realidad.*

## **RESUMEN**

El presente reporte de investigación está referido a los resultados de un estudio realizado sobre los procesos de diseño de presas de tierra para la aplicación, en los mismos, del software AutoCAD Land. Tras el análisis de los antecedentes, se identifican las tareas a desarrollar en las etapas de este tipo de proyectos en la empresa RAUDAL-Holguín y se diagnostican las principales deficiencias del esquema general de trabajo. Posteriormente, se estudian las potencialidades del sistema de cómputo y se proponen soluciones para su utilización en la confección de modelos digitales de terrenos, la obtención de las curvas de caudales acumulados y áreas inundadas versus elevación de la cortina, y el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra. Finalmente, se ilustra el uso del programa mediante la resolución de un caso de estudio y se comprueba la versatilidad de sus aplicaciones.

## **SUMMARY**

This research report is referred to the results of a study of the design processes of earth dams for the application for its self, the software AutoCAD Land. After analysis of the background, identifies the tasks to be performed on the stages of such projects in the company RAUDAL-Holguín and diagnosed the main shortcomings of the general scheme of work. Subsequently, its study the potential of the computer system and propose solutions for use in the production of digital terrain models, obtaining cumulative flow curves and flooded areas versus lifting the curtain, and calculating volumes of movement ground. Finally, it is illustrated the use of the program by resolution of a case study and tested the versatility of its applications.

## INDICE

---

	Denominación	pág.
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>Capítulo I. Estudio del estado del arte.</b>	<b>5</b>
1.1	Introducción	5
1.2	Generalidades sobre las presas de materiales sueltos	5
1.2.1	Evolución de las presas de materiales sueltos	5
1.2.2	Tipologías de presas de tierra	6
1.2.3	Concepción general de los proyectos de presas de tierra	9
1.3	Antecedentes	9
1.4	Procedimiento existente en RAUDAL para el diseño de presas de tierra	11
1.4.1	Alcance de la Etapa de Ideas Conceptuales para el diseño de Presas	11
1.4.2	Alcance de la etapa de Proyecto técnico o ingeniería básica y de detalles	12
1.4.3	Alcance de la etapa de Proyecto técnico ejecutivo	14
1.5	Trabajos topográficos para la proyección de presas de tierra en la Unidad Trasvase de la empresa Raudal -Holguín	15
1.6	Generalidades sobre los Modelos Digitales de Terrenos (MDT)	17
1.6.1	Introducción	17
1.6.2	Tipos de modelos	18
1.6.3	Definición y estructura del MDT	20
1.7	Estimación de volúmenes de presas	23
1.7.1	Cálculo del Movimiento de tierra en la cortina	25
	Conclusiones parciales	26

---

---

<b>2</b>	<b>Capítulo II Secuencias de trabajo para la aplicación del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.</b>	<b>27</b>
2.1	Introducción	27
2.2	Fundamentación de la utilización del sistema profesional AutoCAD Land Development Desktop para enfrentar los procesos de diseño de las presas de tierra	27
2.3	Introducción al programa AutoCAD Land Development Desktop	28
2.3.1	Creación y configuración de los proyectos Land	29
2.3.2	Activación de los módulos del programa	29
2.4	Aplicación del AutoCAD Land a la confección de modelos digitales de terrenos	30
2.4.1	Creación de la estructura de la superficie	32
2.4.2	Introducción de datos	32
2.4.3	Construcción de la superficie	36
2.4.4	Edición de la superficie	37
2.4.5	Aplicación de cambios realizados en el proceso de edición de superficies	39
2.4.6	Alcance del modelo digital del terreno obtenido	39
2.5	Aplicación del AutoCAD Land en la obtención de las curvas de caudales acumulados y áreas inundadas versus elevación de la cortina propuesta	41
2.5.1	Trazado de una línea de referencia para el dique de la presa	42
2.5.2	Trazado del contorno y el límite del nivel de referencia	42
2.5.3	Configuración de los valores que -por defecto- debe tener el objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves	44
2.5.4	Creación del objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves	45
2.5.5	Creación del modelo digital de elevaciones	45

---

---

	correspondiente a la superficie de azolves	
2.5.6	Definición del objeto estrato	47
2.5.7	Definición del objeto sitio correspondiente a la zona de análisis	48
2.5.8	Cálculo del volumen de azolves	48
2.5.9	Creación del modelo digital de elevaciones del terreno modificado por los azolves	49
2.6	Aplicación del AutoCAD Land en el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra de la cortina de la presa	51
2.6.1	Trazado de la polilínea o línea del eje en planta de la cortina	52
2.6.2	Definición del objeto alineación horizontal	53
2.6.3	Definición del perfil del terreno	53
2.6.3.1	Configuración de los parámetros del perfil	54
2.6.3.2	Creación del fichero de intersección entre el terreno y el eje de la cortina	55
2.6.3.3	Dibujo del perfil	55
2.6.4	Trazado del perfil de la rasante	56
2.6.5	Definición del objeto alineación vertical	57
2.6.6	Dibujo de la plantilla de la sección transversal	58
2.6.7	Definición de la plantilla de la sección transversal	58
2.6.8	Creación del fichero de intersección entre las secciones transversales al eje y el terreno	58
2.6.9	Asignación de la plantilla	59
2.6.10	Asignación de los taludes y bermas	59
2.6.11	Visualización/Edición de las secciones transversales	60
2.6.12	Creación de la tabla de volúmenes de movimiento de tierras	60
	Conclusiones parciales	61
	Capítulo III. Aplicación de las secuencias propuestas en un	62

---

---

<b>caso de estudio.</b>	
<b>3.1</b> Introducción	<b>62</b>
<b>3.2</b> Confección del Modelo Digital del Terreno	<b>62</b>
3.2.1 Creación y configuración del proyecto Land	6
3.2.2 Trabajos preparatorios	62
3.2.3 Creación de la estructura de la superficie	64
3.2.4 Introducción de los datos del terreno a la superficie	64
3.2.5 Construcción de la superficie	65
<b>3.3</b> Proceso de obtención de los valores de área de inundación y capacidad del embalse	<b>66</b>
<b>3.4</b> Determinación de los perfiles y secciones transversales de la cortina de la presa y el cálculo de los volúmenes de tierra	<b>72</b>
<b>3.5</b> Resultados	<b>78</b>
<b>3.6</b> Impacto económico social	<b>82</b>
Conclusiones parciales	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	86

---

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo científico técnico experimentado a finales del siglo pasado, materializado en el progreso de la microelectrónica y la industria del Software, con ordenadores personales cada vez más económicos y potentes, ha supuesto la popularización definitiva del uso de modelos numéricos en diferentes ramas, destacándose la ingeniería, las comunicaciones y las geociencias entre otras. Los avances alcanzados han revolucionado de manera significativa las técnicas y herramientas para el análisis y diseño de obras de ingeniería, permitiendo, además, el intercambio de información con otras esferas de la ciencia; por lo que los profesionales se ven impulsados al trabajo multidisciplinario y transdisciplinario. Un ejemplo de ello lo constituyen software como el Cartomap, Civil 3D, AutoCAD Land Development Desktop, y otros, cuyas aplicaciones permiten vincular proyectos ingenieros de ramas como la topografía, la hidráulica, la arquitectura y la construcción civil, de manera que se diseña en ambientes virtuales integrados.

Por otra parte, en el campo de la topografía, han aparecido nuevos y más precisos instrumentos de medición que posibilitan el cálculo automatizado de levantamientos y la interfaz directa entre el instrumento y el ordenador, entre los cuales pueden citarse los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), las Estaciones Totales, los Niveles Láser y otros.

Cuba no ha quedado atrás en este sentido, pues la utilización de estas modernas tecnologías se ha patentado en la mayoría de las empresas de diseño de todo el país, quienes, además, han aportado sus propias invenciones adecuadas a las normas y regulaciones vigentes en Cuba.

Entre estas entidades de diseño se destacan las encargadas de la concepción, proyección y ejecución de obras hidráulicas,-pertenecientes al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)-, quienes se caracterizan por el empleo de tecnologías de punta en los trabajos de campo y de los software de Autodesk para enfrentar las tareas de diseño.

Propiamente, la institución RAUDAL-Holguín es una de las empresas que ha sido dotada con estas modernas herramientas, pues sobre sus hombros está la responsabilidad de proyectar la mayoría de las obras del Tránsito Este-Oeste del

oriente cubano, entre ellas, las presas de tierra, que no son más que terraplenes artificiales contruidos para permitir la contención de las aguas, su almacenamiento o su regulación. Estas han tenido un uso bien difundido gracias al nivel de desarrollo alcanzado en las técnicas para su construcción, llegando a posibilitar el uso de prácticamente cualquier suelo insitu, desde materiales de granos finos hasta suelos rocosos previamente fracturados pero exigiendo un alto rigor técnico durante los complejos procesos de diseño, que deben garantizar la constructibilidad y seguridad de la obra.

### **Justificación de la investigación**

La Empresa Raudal-Holguín, cuenta tanto con tecnología de punta para la realización de los trabajos de campo como con sistemas profesionales de cómputo avanzados, que constituyen ambientes integrados de proyectos por la variedad y riquezas de sus aplicaciones, sin embargo, aunque el taller de topografía ejecuta los levantamientos con dicho equipamiento y obtiene como producto final modelos digitales de los terrenos objetos de estudio, aun no se ha logrado perfeccionar el uso de software en los procesos de diseño de presas de tierra, lo cual repercute negativamente en el desarrollo de la entidad.

### **Problema de la investigación**

La necesidad de un análisis para la aplicación de las potencialidades del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.

### **Hipótesis**

La caracterización de los procesos de diseño de presas de tierra en la empresa Raudal de Holguín, y el análisis de las potencialidades del AutoCAD Land para su aplicación en esta área del saber, permitirá humanizar y elevar la eficiencia de dichos proyectos.

### **Objeto de la investigación**

Procesos de diseño de presas de tierra

### **Campo de acción**

Uso del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.

### **Objetivo general**

Analizar las potencialidades del AutoCAD Land para su aplicación en los proyectos de presas de tierra.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar los procesos de diseño de presas de tierra en la empresa Raudal de Holguín.
2. Aplicar el AutoCAD Land en los proyectos de presas de tierra.
3. Ilustrar, mediante la solución de problemas típicos, las bondades de la aplicación del AutoCAD Land en proyectos de presas de tierra.

### **Tareas de investigación**

1. Diseño metodológico de la investigación.
2. Caracterización del modo en que se realiza el proceso de diseño de presas de tierra en la entidad Empresa RAUDAL, Holguín.
3. Diagnóstico de las principales deficiencias que aparecen en dicho proceso.
4. Estudio de las posibles aplicaciones del AutoCAD Land en los proyectos de presas de tierra.
5. Propuesta de las secuencias de trabajo de las distintas aplicaciones del Land en proyectos de presas de tierra.
6. Selección de trabajos representativos de las tareas que se desarrollan en el proceso de diseño de presas de tierra en la EMPRESA Raudal-Holguín.
7. Resolución de los trabajos seleccionados a partir de la aplicación de las secuencias propuestas.

### **Métodos de investigación**

Para realizar las tareas se emplearon los siguientes métodos de investigación:

#### **Teóricos:**

- **Inducción - deducción:** Fue empleado para llegar a diagnosticar los factores a fortalecer en los procesos de diseño objetos de estudio y proponer un conjunto de mejoras.

- **Análisis y síntesis:** Fue utilizado en todo el proceso investigativo para analizar y sintetizar la información de la literatura consultada.
- **Hipotético- deductivo:** Para verificar y confirmar la veracidad de la hipótesis.

#### **Empíricos:**

- **Observación:** Permitió conocer las irregularidades mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos que intervienen en el proceso de diseño de presas de tierra.

#### **Estadísticos:**

- **Matemático:** Fueron utilizados para el procesamiento de la información obtenida y aplicación de gráficos y tablas para su posterior interpretación.

### **Estructura de la investigación**

#### **Introducción**

**Capítulo I** “Estado actual del problema”.

**Capítulo II** “Secuencias de trabajo para la aplicación del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.”

**Capítulo III** “Aplicación de las secuencias propuestas en un caso de estudio”.

#### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **Bibliografía**

#### **Anexos**

# **Capítulo I. Estado actual del problema.**

## **Capítulo I. Estado actual del problema.**

### **1.1 Introducción**

El agua es indispensable para el ser humano por lo que ha obligado al hombre a esforzarse e ingeniarse para conseguirla, transportarla y almacenarla, derivándose de ello una tecnología que ha condicionado y caracterizado las distintas civilizaciones.

Las presas son construcciones realizadas en la cuenca de los ríos con múltiples finalidades, entre las que destacan: abastecimiento de agua a poblaciones, regulación general de la corriente de agua o río, aprovechamiento industrial de su energía, hacer navegables ciertos canales o tramos de río y defender de los daños producidos por las riadas e inundaciones, entre otros. Semejantes o parecidos son los diques de protección construidos en terrenos desecados o amenazados por las aguas marinas. No obstante, siempre que se construye una presa, aunque sea para otra finalidad principal, se aprovecha para producción de energía.

Según **ICOLD (International Comisión on Large Dams)**, estas se clasifican según los siguientes tipos:

- a. Presas de materiales sueltos
- b. Presas de fábrica
- c. Presas mixtas
- d. Presas especiales.

De ellas, este estudio centra su atención en las de materiales sueltos o también llamadas presas de tierra, teniendo como objetivo este primer capítulo realizar un estudio del estado del conocimiento en el contexto internacional, nacional y local.

### **1.2 Generalidades sobre las presas de materiales sueltos**

#### **1.2.1 Evolución de las presas de materiales sueltos**

La ingeniería de presas siempre ha prestado una atención muy especial a los temas relacionados con la seguridad de las presas, a la economía y metodologías de construcción. Por ello, las tipologías de presas han ido evolucionando según han cambiado los aspectos tecnológicos, con mejores materiales y procedimientos

constructivos, y las circunstancias económicas. Así, las presas de materiales sueltos han evolucionado progresivamente, que son la tipología predominante del mundo, se han mejorado enormemente los medios de puesta en obra de las tierras y escolleras, por lo que son una alternativa a considerar en muchos casos.

La tecnología de construcción de presas es muy antigua y está muy consolidada, por lo que en general su evolución se refiere a las mejoras en los procedimientos de cálculo, materiales y métodos de construcción. Ello no es óbice para que, como en cualquier otra rama de la ingeniería, se implanten nuevas tipologías, mas adaptadas a los conocimientos y métodos actuales. <sup>[1]</sup>

### **1.2.2 Tipologías de presas de tierra**

La principal característica de estas presas es el tipo de material utilizado para su construcción. En principio la gran mayoría de materiales geológicos son aceptables excepto los que se pueden alterar, disolver o evolucionar modificando sus propiedades. El sistema de construcción consiste en la compactación de los materiales dispuestos por tongadas.

El criterio empleado para escoger una tipología de materiales sueltos frente a una de hormigón radica, bien en la escasa calidad del cemento natural del terreno (baja capacidad portante) o bien en el hecho de que resulte más rentable proceder a la recogida y tratamiento (machaqueo y clasificación) del material local para configurar la presa, que fabricar el hormigón con similares intenciones. En cualquier caso, deberá someterse el caso particular a un profundo análisis que comprenda tanto la caracterización de las propiedades geológicas y geotécnicas del entorno, como otros factores entre los que destacan: calidad de los materiales autóctonos, posibilidad de instalar una planta de machaqueo de piedra, distancias de transporte, sensibilidad medioambiental.

Las presas de materiales sueltos pueden construirse casi con cualquier material con equipo de construcción rudimentario. Las presas de tierra se han construido con éxito utilizando grava, arena, limo, polvo de roca y arcilla. Si se dispone de gran cantidad

---

<sup>1</sup> Luis Berga Casafont. Forma y Función en presas y embalses. (Formato PDF).

de material permeable como arena y grava y hay que importar material arcilloso, la cortina tendría un corazón o núcleo pequeño de arcilla impermeable y el material local constituiría el grueso de la cortina.

Si no hay material permeable, la cortina puede construirse con materiales arcillosos con drenes inferiores de arena y grava importada debajo de la línea de base de aguas abajo, para recolectar las filtraciones y reducir las presiones de poro.<sup>[2]</sup>

### **Cortinas en presas de tierra**

Las cortinas de tierra pueden construirse casi de cualquier altura y sobre cimientos que no son lo bastante fuerte para cortinas de concreto. Las mejoras en el equipo para movimientos de tierras han reducido el costo de la cortina de tierra, mientras crecientes costos de mano de obra han aumentado los de las cortinas de concreto.

Las cortinas de enrocamiento suelen consistir en un relleno de roca descargada desde camiones de volquete, una capa de prieta más chica tendida en la cara de aguas arriba, que se liga en la roca descargada y un revestimiento impermeable aguas arriba que apoya sobre la capa de piedra, con un muro de guarda o dentellón que se extiende dentro del cimiento.

### **Los tipos más característicos de presas de materiales sueltos son:**

- a. **Presas de sección homogénea**, toda o casi toda la sección transversal está por un mismo material, formado por tierras compactadas de baja permeabilidad. Para controlar las filtraciones a través de la presa se pueden realizar diferentes tipos de drenes como recoge en la (figura 1a).

---

<sup>2</sup> Colectivo de autores. Ingeniería geológica. Madrid 2002. (Formato PDF).

a) Homogéneas.

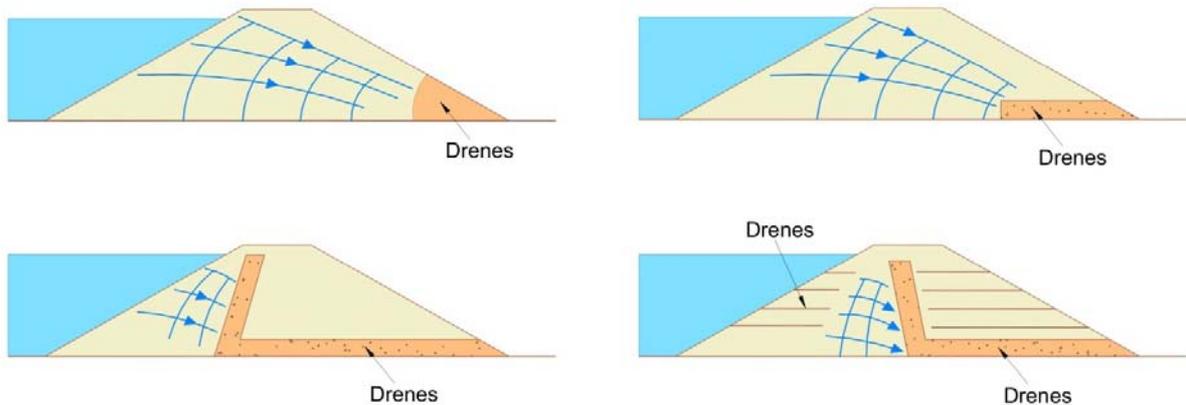


Figura 1a. Presa de sección homogénea.

- b. **Presas zonadas con núcleo impermeable de arcilla**, constan de dos o más tipos de materiales. La zona de menor permeabilidad u núcleo ejerce las funciones de elemento impermeable. La anchura del núcleo y su posición dentro de la sección, respecto al resto de los materiales o espaldones, pueden ser muy diversos (figura 1b).

b) Zonadas

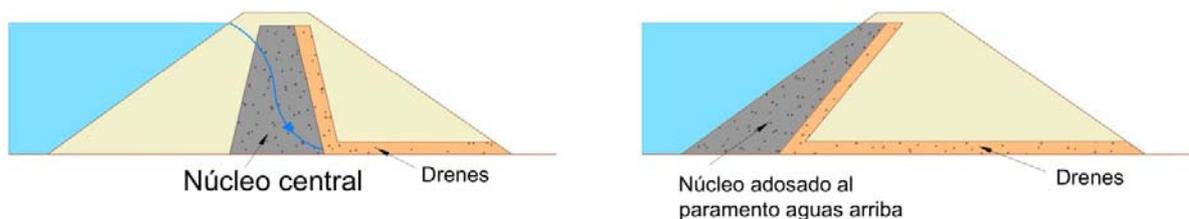


Figura 1b. Presa zonadas con núcleo impermeable de arcilla.

- c. **Presa de pantalla**, el elemento impermeable consiste en una pantalla relativamente delgada o lámina. Los materiales más empleados para pantalla son hormigones asfálticos, hidráulicos, materiales poliméricos o bituminosos, entre otros en (figura 1c).

c) Con pantalla

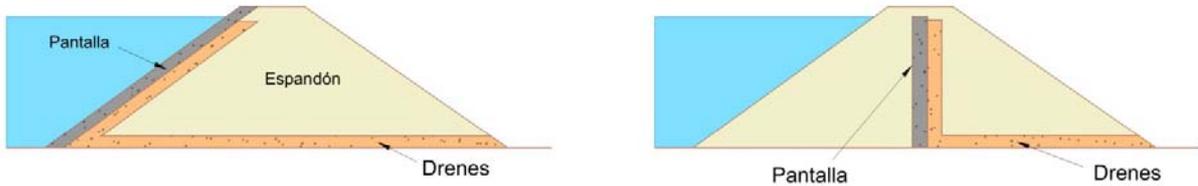


Figura 1c. Presa de pantalla.

### 1.2.3 Concepción general de los proyectos de presas de tierra

A grandes rasgos, los proyectos de presas de tierra constan de tres etapas:

1. Ideas conceptuales
2. Proyecto técnico de ingeniería básica y de detalles
3. Proyecto técnico ejecutivo

Durante la etapa de ideas conceptuales se analiza la topografía del lugar disponible inicialmente (mapas digitales o sobre papel) para determinar el tamaño aproximado del vaso, la localización y alturas óptimas de la obra y otros aspectos, se realizan los estudios ingeniero-geológicos y se hace un primer estudio de factibilidad.

En la etapa de proyecto técnico se realiza el estudio topográfico de detalles, obteniéndose, según sea necesario, los planos y modelos digitales de elevaciones; se diseñan las obras civiles como la cortina, el vertedor, viales de acceso y otros; y se determina el movimiento de tierra y el proyecto de organización de obras.

Finalmente, en el proyecto ejecutivo, se obtienen los planos constructivos para la ejecución de la obra y se confeccionan los planos de replanteo para cada objeto.

### 1.3 Antecedentes

Tanto a nivel internacional como local, se conocen varias publicaciones sobre el tema en cuestión que sirvieron como puntos de partida para plantear el aporte científico de la presente investigación, entre ellas pudieran mencionarse:

1. Aplicaciones topográficas asistidas por software de dibujo avanzado. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero de ejecución en geomensura por los estudiantes Marcela Díaz M. y Jonathan Quilodrán S. en el mes de Marzo del 2004 en la universidad de Concepción.

El trabajo aborda la confección de modelos digitales del terreno (MDT), el diseño geométrico de viales y embalses y el cálculo de volúmenes en el software AutoCAD Land Development Desktop.

Aunque este informe ofrece una panorámica bastante amplia sobre los aspectos antes mencionados, en su alcance no se reflejan elementos esenciales como la necesaria edición/calibración del MDT inicial y el diseño geométrico de la cortina mediante secciones transversales. Además, a la hora de construir el MDT con la superficie modificada por los distintos objetos de obra que sirve como referencia para el cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra, solo se tiene presente la cortina.

2. Propuesta para la realización de las tareas de gabinete de trabajos topográficos en un entorno CAD avanzado. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster por el Ingeniero Antonio Luis Calaña A. en Abril del 2010 en la Facultad de Construcciones de la Universidad de Oriente.

Esta investigación propone secuencias de trabajo en el software AutoCAD Land Development Desktop para la realización de las tareas de gabinete de la topografía, tanto para levantamientos como para proyectos de replanteos. En el primer caso, se indica el modo de introducir los datos de campo al programa diferenciando los procedimientos según el equipamiento utilizado (tradicional o digital) y se finaliza obteniendo como producto un modelo digital del terreno. Sin embargo, en el trabajo no se detalla el proceso de edición del modelo, lo cual constituye un paso importante para garantizar que la representación se acerque a la superficie real estudiada.

3. Metodología general para la confección de modelos digitales del terreno (MDT) a partir de bases cartográficas digitales, aplicados a la ortorrectificación de imágenes aeroespaciales. (Grupo empresarial GEOCUBA, La Habana, 2008)

El documento trata de manera explícita los principales elementos para obtener un modelo calibrado, en su contenido describe la necesaria interacción con otros software así como, la posible exportación de los datos de manera optativa hacia otros programas. En el contexto se abordan los pasos para la construcción del

MDT sin hacer alusión al tratamiento de los elementos constructivos, se puede apreciar el uso de más de 3 software para la obtención del producto final.

Existen otros trabajos realizados a nivel nacional e internacional relacionados con embalses y modelos digitales de terrenos con menor alcance que los expuestos anteriormente pues refieren el empleo de los mismos a las funciones de los llamados Sistemas de información geográfica, citando ejemplos como las aplicaciones para simular diferentes fenómenos hidráulicos y posibles impactos ambientales, evaluaciones de tramos de carreteras, entre otros.

#### **1.4 Procedimiento existente en RAUDAL para el diseño de presas de tierra**

##### **1.4.1 Alcance de la Etapa de Ideas Conceptuales para el diseño de Presas**

Las Ideas Conceptuales para una Presa se realizan con el objetivo de mostrar diferentes variantes de solución (cierres), así como la valoración de cada una de ellas, con vistas a la selección de la mejor variante.

Como resultado de las Ideas Conceptuales se emitirá documentación escrita y gráfica, exponiéndose de forma esquemática o muy elemental, pero clara y precisa, mediante croquis o dibujos a escala, teniendo en cuenta la necesidad y conveniencia de su ejecución con un grado de certeza respecto a la viabilidad y eficacia de todas las obras vinculadas a la operación y explotación del sistema.

##### **Se incluirán principalmente los siguientes aspectos:**

1. El estudio de todas las obras vinculadas con la operación y explotación de la presa (canales, conductoras, estaciones de bombeo).
2. Evaluación de las condiciones naturales de la zona.
3. Objetivos a alcanzar por la obra y datos sobre los consumidores.
4. Parámetros de la regulación del escurrimiento.
  - Escurrimiento medio híper anual ( $W_o$ ).
  - Nivel de aguas normales (NAN).
  - Nivel de volumen muerto (NVM).
  - Nivel de aguas máximas (NAM).
  - Áreas y volúmenes de embalse para los niveles anteriores.
  - Entrega garantizada.

- Coeficiente de variación (Cv).
  - Volumen y gastos de las avenidas para las distintas probabilidades de diseño.
  - Grado de regulación ( $\alpha$ )
  - Curvas de cotas vs área y volumen del embalse.
5. Índices técnico económicos.
  6. Categoría de las obras principales y su argumentación.
  7. Relaciones funcionales entre las distintas obras que componen el Conjunto Hidráulico.
  8. Proposición y Fundamentación de la cortina de acuerdo a la información preliminar.
  9. Volúmenes de trabajo tentativos. Distancia de los posibles préstamos y canteras hasta la cortina. Caminos de acceso a la obra.
  10. Proposición y Fundamentación de la obra de toma e hidromecanismos. Volúmenes de trabajo tentativo.
  11. Proposición y Fundamentación de las obras de desvío. Gasto de diseño. Volúmenes de trabajo tentativos.
  12. Proposición y Fundamentación del tipo de aliviadero. Ubicación y volúmenes de trabajo tentativos.
  13. Análisis de la protección contra inundaciones a objetivos económicos y sociales aguas arriba y aguas abajo de la presa.
  14. Información general sobre afectaciones y obras inducidas.
  15. Presupuesto estimado.

#### **1.4.2 Alcance de la etapa de Proyecto técnico o ingeniería básica y de detalles**

El proyecto de Ingeniería Básica presenta las soluciones definitivas de proyecto basadas en las soluciones principales seleccionadas en las Ideas Conceptuales para el Diseño de Presas, si procede, incluyendo el proyecto de Organización General de la obra y el presupuesto detallado de la misma, con definición del cronograma de ejecución, abastecimientos, mano de obra y equipamientos necesarios para la

construcción, también se definen los requisitos del control de la calidad de la construcción que se determinen.

Para la confección del Proyecto de Ingeniería Básica se requieren las informaciones ingeniero-geológicas, hidrológicas y topográficas completas, lo cual permite fijar con suficiente precisión las características y dimensiones del conjunto y los criterios suficientes sobre su funcionamiento.

Es requisito que se cuente con el Certificado de Microlocalización aprobada.

El proceso de elaboración del Proyecto de Ingeniería Básica para una presa estará constituido por las siguientes actividades:

- 1) Estudio y aprobación de la Tarea de Proyección por el Proyectista General.
- 2) Envío de la Tarea de Proyección al Área de Calidad para realizar el Control #1 del Sistema de Gestión de la Calidad.
- 3) Elaboración del Plan de Calidad.
- 4) Análisis de la documentación existente de la obra en estudio.
- 5) Estudio y análisis de la macro localización de la obra y su vinculación con otras obras.
- 6) Análisis de estudios e investigaciones existentes.
- 7) Visita al área de la obra.
- 8) Cálculo de las curvas características del embalse (Volumen vs Cota y Área vs. Cota) obtenidas del plano a escala recomendada 1:10 000
- 9) Cálculos hidroeconómicos (Regulación del escurrimiento.)
- 10) Determinación de la categoría de la obra.
- 11) Control #2 del Sistema de Gestión de la Calidad. Este control consiste en el análisis y discusión de la solución general, esto comprende: Composición de la obra, determinación del nivel de aguas normales, cota de corona, volumen de entrega, categoría de la obra, necesidades de investigaciones, etc. Para más detalles sobre la forma de realizar este control debe consultarse la Metodología para el Control de la Calidad para los procesos de Diseño en Investigaciones Aplicadas.
- 12) Selección y dimensión de los objetos de obra:

- 13) Control #3 del Sistema de Gestión de la Calidad. Este control analiza las soluciones de los objetos de obra como es cortina, aliviadero, obra de toma y obras para el desvío.
- 14) Tabla resumen de los volúmenes de trabajo.
- 15) Presupuesto.
- 16) Índices Técnico Económicos.
- 17) Documentación Gráfica Definitiva.
- 18) Contenido de la Documentación de Diseño.
- 19) Documentación escrita.
- 20) Resumen del Índice de Calidad.
- 21) Control #4 del Sistema de Gestión de la Calidad.
- 22) Se realizan posteriormente la verificación en la segunda etapa que se establece en el SGC, así como la validación.

En el caso del proyecto de ingeniería de detalles, el mismo se realizará para complementar el Proyecto de Ingeniería Básica, si procede en los aspectos que requiere el constructor para ejecutar la obra. En este proceso se elaboran los planos de trabajo, las recomendaciones y especificaciones para la construcción, así como las modificaciones presupuestarias que se requieran.

#### **1.4.3 Alcance de la etapa de Proyecto técnico ejecutivo**

El Proyecto Técnico Ejecutivo presenta el diseño ejecutivo del proyecto basado en los requisitos expresados en la Tarea de Proyección cuando se fusionan las etapas de la documentación de proyectos establecidas en la Resolución No. 91/2006, referidas a Ideas Conceptuales, Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle.

Para la confección del Proyecto Técnico Ejecutivo se requiere la información Ingeniero Geológica completa obtenida de acuerdo a los requisitos de la etapa en cuestión, además de las investigaciones complementarias, lo cual permite fijar con suficiente precisión las características y dimensiones del conjunto y los criterios suficientes sobre su funcionamiento.

En esta etapa se elaboran los planos de trabajo detallados de cada objeto de obra, descomponiendo éstos en sus elementos o partes constructivas, se darán los planos de replanteo, las recomendaciones y especificaciones para la construcción. Se

brindarán los detalles necesarios para ejecutar las juntas de construcción, dilatación y asentamiento, colocación de piezas embebidas en las estructuras y otros. Se detallarán las etapas de construcción, además de establecer los parámetros para el control de la calidad.

### **1.5 Trabajos topográficos para la proyección de presas de tierra en la Unidad Trasvase de la empresa Raudal -Holguín**

En la etapa de diseño la secuencia de trabajo está dividida en dos partes:

1. Etapa de Ingeniería conceptual: Se realiza un estudio que permita definir el esquema integral del área de aprovechamiento de las cuencas a partir de una breve descripción del lugar, ofreciendo los puntos y planos topográficos necesarios. Las escalas recomendadas a utilizar son:
  - Plano de la región a escala 1:50 000 ó 1:25 000 abarcando carreteras, pueblos, planes agropecuarios, etc.
  - Zona del emplazamiento de las obras a escala 1:10 000 con curvas de nivel a 5 m de equidistancia como máximo.
2. Etapa de Ingeniería básica y de detalles: Se realiza una breve descripción del lugar desde el punto de vista topográfico y de los planos utilizados. Los planos y escalas que se recomienda utilizar son:
  - Planos actualizados de la región a escala 1:25 000 a 1:50 000.
  - Planta del emplazamiento de la obra a escala recomendada desde 1:100 hasta 1:2 000 con curvas de nivel cada 1 m como máximo.
  - Perfiles topográficos por los ejes de las obras principales.
  - Coordenadas de los monumentos de los ejes principales de las obras.

Mediante estas dos etapas se procede a realizar los trabajos de levantamiento topográficos de la zona donde estarán emplazados los distintos objetos de obra.

Una de las primeras tareas que se deben acometer es el levantamiento topográfico de la zona donde se pretende proyectar la presa, con el objetivo de conocer las características propias del lugar. La Unidad Trasvase de la empresa Raudal –Holguín

tiene la misión de expedir la tarea técnica para el estudio topográfico del área de la presa, el cual es ejecutado por el propio taller de topografía o por una entidad similar contratada con estos fines.

En dicha tarea técnica, la empresa solicita información como la localización geográfica del área a proyectar, el límite de la zona de estudio, las características técnicas generales de la obra y también el levantamiento topográfico de los tres objetos de obra principales que conforman la presa:

1. Cortina
2. Aliviadero
3. Túnel de desvío y toma

**Cortina:**

- Se crea un levantamiento topográfico a escala 1:1000 con equidistancia de 1.0 metros en una zona comprendida a 200.0 metros a ambos lados del eje de la cortina y localización de las coordenadas.
- Un levantamiento de planta y perfil cada 20.0 metros y puntos característicos por el eje solicitado hasta una cota específica.
- Monumentación del eje de la cortina con precisión de tercer orden para la altimetría.

**Aliviadero:**

- Levantamiento topográfico a escala 1:1000 con equidistancia de 1.0 metros en una zona comprendida a 100.0 metros a ambos lados del eje del aliviadero.
- Planta, perfil cada 20.0 metros y puntos característicos por el eje solicitado.
- Monumentación del eje del aliviadero con precisión de cuarto orden para la altimetría.

**Túnel de desvío y toma:**

- Levantamiento topográfico a escala 1:1000 con equidistancia de 1.00metros en una zona comprendida a 75.0 metros a ambos lados del eje del túnel.
- Planta, perfil cada 20.0 metros y puntos característicos por el eje solicitado.
- Monumentación del eje del túnel con precisión de cuarto orden para la altimetría.

La información proveniente de los trabajos de campo puede presentarse en soporte digital o en libretas de anotaciones según el equipamiento empleado. En ambos casos, estos resultados se preparan para su introducción y procesamiento en el software *Auto CAD Land*, donde se confecciona el Modelo Digital del Terreno (MDT) y los planos topográficos como parte de los trabajos de gabinete.

De esta manera, queda preparada la información topográfica para ser entregada al taller de diseño, lográndose una concepción general de trabajo que arroja un producto capaz de competir con el de las empresas del primer mundo, sin embargo, en este momento, el esquema que se sigue para completar los procesos de diseño de presas de tierra (que no incluye el trabajo con modelos digitales de terrenos ni el diseño asistido por sistemas profesionales CAD avanzados) no aprovecha al máximo las potencialidades alcanzadas en la propia entidad.

## **1.6 Generalidades sobre los Modelos Digitales de Terrenos (MDT)**

### **1.6.1 Introducción**

En la cartografía convencional la descripción de las elevaciones a través del mapa topográfico constituye la infraestructura básica del resto de los mapas. El papel equivalente en los MDT lo desempeña el modelo digital de elevaciones (MDE), que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de cotas. Siguiendo la analogía cartográfica, es posible construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE. Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación). Incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de procesos físicos.

#### **¿Qué es un modelo?**

Según Felicísimo<sup>[3]</sup>, un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que

---

<sup>3</sup> Angel Manuel Felicísimo. Conceptos básicos, modelos y simulación . [www.etsimo.uniovi.es](http://www.etsimo.uniovi.es)

se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.

### **Origen**

El término digital terrainmodel tiene aparentemente su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los años 50. En el trabajo pionero de *Miller y Laflamme* (1958) se establecen ya los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares. La definición del MDT que se menciona en sus trabajos es "una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas (x, y, z) conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario"

El objeto de su trabajo fue acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteándose una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas. El problema del número de datos se planteó de forma crítica, dada la escasa capacidad de almacenamiento de los ordenadores en aquella época, y una buena parte del esfuerzo del proyecto se dedicó a desarrollar métodos de representar los perfiles topográficos de la forma más sintética posible.

En los últimos años han surgido ya multitud de aplicaciones informáticas capaces de manejar eficazmente los MDT. A pesar de ello, aún queda pendiente, lo mismo que en los SIG, la resolución definitiva de problemas básicos como, por ejemplo, conseguir una estructura de datos idónea, conseguir algoritmos eficientes, o facilitar el uso de los sistemas por parte de los usuarios.

### **1.6.2 Tipos de modelos**

Existen numerosas clasificaciones de los modelos, ninguna de las cuales permite establecer realmente unas categorías estrictamente excluyentes. Una de las más difundidas es la planteada por Turner (1970), donde se identifican tres tipos de modelos:

- a. Icónicos**
- b. Análogos**

### c. Simbólicos

Otra clasificación interesante es la definida por Felicísimo /4/, quien los divide en modelos digitales de terrenos y modelos analógicos de terrenos, estableciendo como diferencia básica entre ellos que los primeros están codificados en cifras lo que, entre otras cosas, permite su tratamiento informático. Los modelos digitales son, por tanto, modelos simbólicos y para construirlos es necesario un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual manejable por medios informáticos como se muestra en la (figura 2).

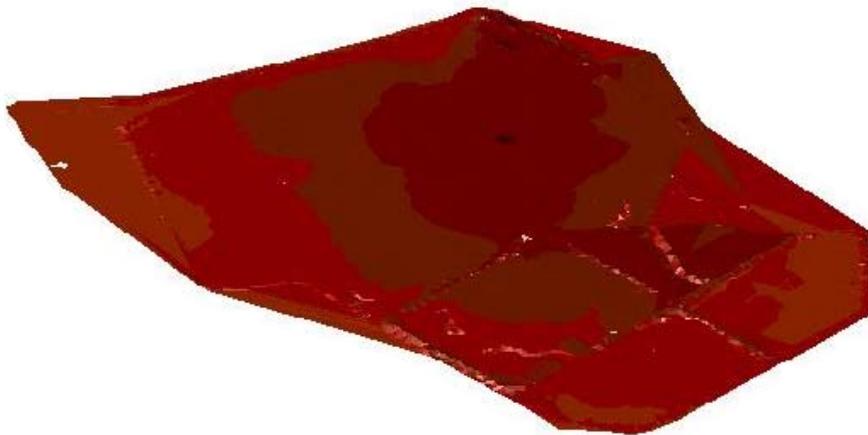


Figura 2. Modelo digital del terreno.

Los modelos digitales presentan unas propiedades inherentes a su naturaleza numérica que son especialmente interesantes:

1. **No ambigüedad:** cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos
2. **Verificabilidad:** los resultados se construyen mediante pasos explícitos y concretos que pueden ser analizados uno a uno y comprobados en todas las fases del proceso
3. **Repetitividad:** los resultados no están sometidos, a menos que se diseñe expresamente, a factores aleatorios o incontrolados y pueden ser comprobados y replicados las veces que se desee.

Sin embargo, aunque la codificación en cifras permite una representación con una elevada precisión teórica, esto no garantiza la exactitud de los resultados. Es

necesario no perder de vista que un modelo no es más que una descripción aproximada que, en último término, se construye mediante la aplicación de unos supuestos más o menos adaptados a la realidad pero que nunca pueden ser exactos.

### 1.6.3 Definición y estructura del MDT

De acuerdo con la definición general presentada, un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función invariable continua  $z = \zeta(x, y)$  donde  $z$  representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas  $(x, y)$  y  $\zeta$  es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un modelo digital de elevaciones se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto,  $D$ . En consecuencia, un MDE puede describirse genéricamente como  $MDE = (D, \zeta)$ .

#### Estructuras de datos en el MDT

De forma general, la unidad básica de información en un MDE es un punto acotado, definido como una terna compuesta por un valor de altitud,  $z$ , al que acompañan los valores correspondientes de  $x$  e  $y$ . Las variantes aparecen cuando estos datos elementales se organizan en estructuras que representan las relaciones espaciales y topológicas.

Mientras que los mapas impresos usan casi exclusivamente una única convención las curvas de nivel para la representación de la superficie del terreno, en los MDE se han utilizado alternativas algo más variadas. Históricamente, las estructuras de datos en los sistemas de información geográfica y, por extensión, en los modelos digitales del terreno, se han dividido en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos:

- a. **Vectorial**, el modelo de datos vectorial está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

En el modelo vectorial los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígonos con sus respectivos atributos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de altitud, las líneas mediante un vector de puntos de altitud única o no y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

- b. **Raster**, El modelo de datos raster está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

En el modelo raster, los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que representan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada. Estas unidades se llaman celdas o teselas y, si se admite la analogía con los términos usados en proceso de imágenes, píxeles.

- c. Cada modelo de datos puede expresarse mediante diferentes estructuras de datos; dentro de los dos modelos básicos, la práctica y el tiempo han reducido las potenciales variantes de estructuración a unas pocas. Las más representativas son dos estructuras vectoriales: la basada en isohipsas o contornos y la red irregular de triángulos —**TIN**, triangulated irregular network— y dos estructuras **raster**: las matrices regulares —**URG**, uniform regular grids— y las matrices jerárquicas —quadrees—, a continuación se explicarán brevemente las estructuras vectoriales, por corresponder con la base de datos utilizada en esta investigación:

### **Modelo vectorial**

Contornos:

La estructura básica de un modelo de contornos es la poli línea definida como un vector de  $n$  pares de coordenadas  $(x, y)$  que describe la trayectoria de las curvas de nivel o isohipsas. El número de elementos de cada vector es variable; la reducción de éste a un único elemento,  $n=1$ , permite incorporar elementos puntuales (cotas) sin introducir incoherencias estructurales. Una curva de nivel concreta queda definida, por tanto, mediante un vector ordenado de puntos que se sitúan sobre ella a intervalos adecuados no necesariamente iguales para garantizar la exactitud

necesaria del modelo. La localización espacial de cada elemento es explícita, conservando los valores individuales de coordenadas. En el caso más sencillo, el MDE está constituido por el conjunto de las curvas de nivel que pasan por la zona representada, separadas generalmente por intervalos constantes de altitud, más un conjunto de puntos acotados que definen lugares singulares cimas, fondos de dolinas, collados.

### **Modelo vectorial**

Redes de triángulos irregulares (TIN):

Esta estructura de datos se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados y que suele identificarse por las siglas de su denominación inglesa: triangulated irregular network, (TIN). Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no lineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la que el terreno queda representado por el conjunto de superficies planas que se ajustan a un conjunto previo de puntos.

El método de triangulación más utilizado se denomina triangulación de **Delaunay** y se explica con mayor detenimiento como sigue:

Una triangulación es una subdivisión de un área en triángulos. Una triangulación de una nube de puntos del plano es una familia maximal de triángulos de interiores disjuntos, cuyos vértices son puntos de la nube y en cuyo interior no hay ningún punto de la nube.

Puede obtenerse una triangulación añadiendo, mientras sea posible, segmentos rectilíneos que unan puntos de la nube que no atraviesen a los segmentos considerados anteriormente. Dada una nube de puntos con coordenadas tridimensionales, habrá un número finito de diferentes triangulaciones; esto implica que la triangulación será la más óptima, aquella que maximice el ángulo mínimo. Se trata de hallar una triangulación en la que puntos próximos estén conectados entre sí por una arista. O, dicho de otro modo, en la que los triángulos sean lo más regulares posible.

La Triangulación de Delaunay, triangulación especial por sus singulares propiedades,

es la más lógica para la formación de redes de triángulos irregulares (TIN) en la generación de modelos digitales del terreno (MDT), siendo la más óptima para la definición del terreno. La solución aparentemente más adecuada para el tratamiento del relieve, es mediante estructuras TIN, que se adaptan a la complejidad del terreno. Las posibilidades computacionales que tiene esta triangulación son muy interesantes, puesto que se trata de un algoritmo óptimo, y de mínima complejidad posible, dado que es trascendental en nuestro caso, donde se procesan millones de puntos, y es preciso hacerlo con poco espacio en memoria y en el menor tiempo posible. La triangulación de Delaunay de una nube de puntos puede computarse en tiempo  $O(n \log n)$  y utilizando un almacenamiento de  $O(n)$ . Es interesante hacer referencia a la estructuración de los datos, que por otra parte será vital en el correcto funcionamiento del algoritmo, el cual es muy rápido y permite su cálculo en cualquier ordenador de usuario medio. Esta triangulación esta implementada en numerosos programas para la generación de MDT, entre ellos, se encuentra el Acad Land Development Desktop.

El software antes mencionado es una aplicación desarrollada por la firma Autodesk con un carácter vinculante e integrador para profesionales del área de la ingeniería civil, la geomensura y la cartografía; de hecho los especialistas de estas disciplinas, son los encargados de la concesión, concepción y ejecución del proyecto de presas de tierra en la empresa Raudal Holguín.

Si se llevara a cabo una investigación que planteara soluciones viables para aprovechar las bondades del uso de los modelos digitales de terreno en el diseño de presas de tierra, la empresa Raudal lograría prescindir de varios software y por consiguiente reduciría considerablemente el costo y el tiempo de ejecución de los proyectos, obteniendo beneficios y soluciones óptimas a partir de las técnicas de trabajos en equipo que brindan esta nueva gama de programas.

### **1.7 Estimación de volúmenes de presas**

Este proceso se realiza de forma semiautomática, utilizando la información obtenida a partir de la cartografía digital de la zona donde se realizará el cierre.

A partir de las curvas de nivel, las cuales indican la altura, se determinan los puntos de mayor elevación trazando una línea entre ellos, definiendo el eje de la cortina. De igual forma, se trazan líneas perpendiculares al eje para obtener posteriormente los gráficos de perfil y de las secciones transversales. Con el uso de los comandos básicos de ACAD, se determina el área para realizar el cálculo del volumen del embalse, apoyados en expresiones programadas en Excel, donde se obtiene la representación de la curva A (m<sup>2</sup>) VS H (m) como se recoge en la (Figura 3).

CÁLCULOS CURVA DE ÁREA CAPACIDAD										
No.	COTA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA PROMEDIO (km <sup>2</sup> )	ÁREA ACUMULADA (km <sup>2</sup> )	ΔH (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )	VOLUMEN PROMEDIO (Hm <sup>3</sup> )	VOLUMEN ACUMULADO (Hm <sup>3</sup> )
1	25.00	80292.10	0.08	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	30.00	1077678.44	1.08	0.58	0.58	5.0	5388392.21	5.39	2.69	2.69
3	35.00	1791733.72	1.79	1.43	2.01	5.0	8958668.60	8.96	7.17	9.87
4	40.00	2264633.71	2.26	2.03	4.04	5.0	11323168.55	11.32	10.14	20.01
5	45.00	2962637.37	2.96	2.61	6.66	5.0	14813186.86	14.81	13.07	33.08
6	50.00	3676452.39	3.68	3.32	9.98	5.0	18382261.97	18.38	16.60	49.67
7	55.00	4386029.02	4.39	4.03	14.01	5.0	21930145.10	21.93	20.16	69.83
8	60.00	5321780.70	5.32	4.85	18.86	5.0	26608903.49	26.61	24.27	94.10
9	65.00	6350093.75	6.35	5.84	24.70	5.0	31750468.76	31.75	29.18	123.28
10	70.00	7373384.33	7.37	6.86	31.56	5.0	36866921.64	36.87	34.31	157.59
11	75.00	8361624.19	8.36	7.87	39.43	5.0	41808120.94	41.81	39.34	196.93
12	80.00	9583046.83	9.58	8.97	48.40	5.0	47915234.15	47.92	44.86	241.79
13	85.00	10984675.84	10.98	10.28	58.68	5.0	54923379.22	54.92	51.42	293.21
14	90.00	12431935.11	12.43	11.71	70.39	5.0	62159675.57	62.16	58.54	351.75
15	95.00	14007916.02	14.01	13.22	83.61	5.0	70039580.11	70.04	66.10	417.85
16	100.00	15650852.71	15.65	14.83	98.44	5.0	78254263.55	78.25	74.15	492.00
17	105.00	17699939.47	17.70	16.68	115.11	5.0	88499697.36	88.50	83.38	575.37
18	110.00	19760776.37	19.76	18.73	133.84	5.0	98803881.83	98.80	93.65	669.02
19	115.00	21918140.12	21.92	20.84	154.68	5.0	109590700.59	109.59	104.20	773.22
20	120.00	24168857.46	24.17	23.04	177.73	5.0	120844287.32	120.84	115.22	888.44

CURVA DE ÁREA CAPACIDAD				
No.	COTA (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )	AJUSTE VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )
1	25.00	0.00	0.00	25.00
2	30.00	0.58	2.69	30.39
3	35.00	2.01	9.87	35.82
4	40.00	4.04	20.01	41.16
5	45.00	6.66	33.08	46.31
6	50.00	9.98	49.67	51.45
7	55.00	14.01	69.83	56.50
8	60.00	18.86	94.10	61.54
9	65.00	24.70	123.28	66.64
10	70.00	31.56	157.59	71.74
11	75.00	39.43	196.93	76.78
12	80.00	48.40	241.79	81.76
13	85.00	58.68	293.21	86.76
14	90.00	70.39	351.75	91.77
15	95.00	83.61	417.85	96.76
16	100.00	98.44	492.00	101.73
17	105.00	115.11	575.37	106.71
18	110.00	133.84	669.02	111.70
19	115.00	154.68	773.22	116.68
20	120.00	177.73	888.44	121.62

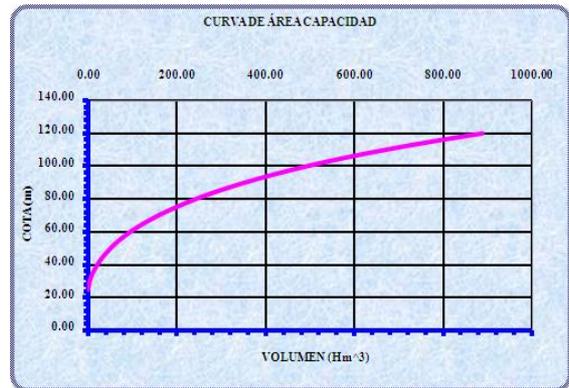


Figura 3. Curva de área capacidad.

### 1.7.1 Cálculo del Movimiento de tierra en la cortina

Se realiza de forma similar a la estimación de volúmenes de carreteras, a partir de las curvas de nivel de la cartografía digital, se extraen las secciones transversales y el perfil longitudinal, se define la sección típica, la cual se inserta en todas las secciones, obteniéndose mediante las herramientas programadas en **Excel** los cálculos de los trabajos de moviendo de tierra.

Debido a la diversidad de tipos presas, su complejidad y gran extensión los métodos serán aplicados en el diseño de presas de tierra ya que son las de mayor uso en el territorio nacional. Los métodos de cálculos deben ser aplicados cuidadosamente por especialistas expertos en cada materia considerando las características específicas de la obra.

## Conclusiones parciales

Las principales deficiencias que acusa el proceso de diseño de presas en la empresa RAUDAL, Holguín son:

1. Uso de al menos cinco **software** en el proceso de diseño de presas de tierra, lo que provoca que el flujo de información no sea continuo y que el proceso se vea notablemente afectado por la fragmentación de la información.
2. No se explotan –al máximo- las potencialidades que brindan los sistemas profesionales, lo que provoca incremento en los tiempos de elaboración y entrega de información, así como desaprovechamiento de las capacidades intelectuales.
3. A pesar de utilizar sistemas profesionales de última generación, las cubicaciones no son lo suficientemente precisas, debido a que no se utilizan los programas.
4. El modo de realización de los cálculos de embalses, cálculo de movimiento de tierra en la cortina y determinación de perfiles se hacen muy engorroso con la representación del terreno no así con un modelo digital de elevaciones en cambio con este todos los procesos se crean de forma automática logrando en calidad y exactitud para los resultados.

**Capítulo II. Secuencias de trabajo para la aplicación del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.**

## **Capítulo II. Secuencias de trabajo para la aplicación del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de tierra.**

### **2.1 Introducción**

Como bien se explica en el capítulo anterior, en la Empresa Raudal-Holguín existe un problema que dificulta el desarrollo científico-tecnológico de la entidad, el mismo tiene lugar específicamente en los proyectos de presas de tierra y está dado por la carencia de conocimiento sobre los procedimientos necesarios para el uso de software avanzados en los procesos de diseño de dichas obras hidrotécnicas.

El presente capítulo refleja el aporte científico de la presente investigación, al proponer un conjunto de mejoras en los procesos de diseño de proyectos de presas de tierra basadas en el uso de un software avanzado, el AutoCAD Land Development Desktop. Las razones por las que se seleccionó este sistema profesional se explican a continuación, así como las secuencias antes mencionadas, detallando en cada caso las formas de proceder en el programa.

### **2.2 Fundamentación de la utilización del sistema profesional AutoCAD Land Development Desktop para enfrentar los procesos de diseño de las presas de tierra**

A partir de las limitaciones que presenta el esquema de proyecto actual de la empresa Raudal Holguín para el diseño de presas de tierra, se propone como objetivo general de esta investigación, -incorporar un conjunto de mejoras en los procesos de diseño de proyectos de estas obras hidrotécnicas en la entidad antes mencionada, basadas en el uso de un software avanzado, fomentando el avance tecnológico alcanzado en el país en materia de desarrollo de las técnicas de trabajo en grupo, a partir del uso de sistemas C.A.D integrados, lo cual se corrobora con la implementación en las empresas pertenecientes al MINBAS de algunos Software con características multidisciplinarias como el CARTOMAP y el CIVIL 3D , por citar algunos.

En la empresa donde se realiza la investigación, se determinó utilizar el Autodesk Land Desktop, por formar parte de la voluntad del organismo superior del INRH, en

particular del Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI).

Esta decisión se fundamenta en las siguientes razones:

1. Reconocimiento a nivel internacional de las aplicaciones del sistema profesional en ramas como la ingeniería civil, la hidráulica, la topografía, la cartografía y otras, además:
  - a. Constituye un entorno de trabajo integrado.
  - b. Los procesos de entrada y edición de datos son cómodos y flexibles.
  - c. Se logra la representación final del terreno a partir de modelos digitales de elevaciones.
2. El elevado costo de las patentes de aplicaciones de otros programas como el Cartomap.
3. La costosa inversión en ordenadores con mayores prestaciones gráficas que supondría el uso de software como el Civil 3D y otros similares.
4. La inexistencia de software libre con las aplicaciones requeridas en las ramas antes relacionadas.

### **2.3 Introducción al programa AutoCAD Land Development Desktop**

El software *AutoCAD Land Development Desktop* desarrollado por Autodesk es una herramienta diseñada para resolver problemas de proyectos de especialidades como la ingeniería civil, la hidráulica y otras. Su ambiente de trabajo es muy similar al AutoCAD convencional, pero con algunas peculiaridades que lo distinguen como son:

1. La vinculación del dibujo con una base de datos que genera como producto un proyecto en lugar de un simple fichero \*.dwg.
2. El sistema integrado por cuatro potentes módulos o programas que contienen las aplicaciones de ingeniería.

Los proyectos Land pueden definirse como una estructura de directorios que el programa crea y administra (actualiza, mantiene, etc), constituyéndose en un modo de organizar los ficheros de dibujo y los ficheros de datos de apoyo, a partir de las configuraciones que se asocian a cada trabajo que se ejecuta.

La información de los proyectos proviene del trabajo con los módulos que integran el sistema y su carácter dependerá de las aplicaciones utilizadas en consonancia con la finalidad del trabajo, que pueden ser:

1. Diseño de obras de ingeniería (Módulo Civil Design).
2. Trabajos topográficos (Módulo Survey).
3. Sistemas de Información Geográficos (Módulo Map).
4. Trabajo con varias aplicaciones (Módulo Complete).

En los siguientes sub-epígrafes se abordará la creación y configuración de los proyectos Land, así como la forma de activar los distintos módulos.

### **2.3.1 Creación y configuración de los proyectos Land**

Para crear un nuevo proyecto Land se accede al comando New del menú File y en las próximas cajas de diálogos se establecen los datos generales del proyecto, el prototipo en que se basa, la plantilla a utilizar para el dibujo y el perfil de trabajo del mismo. (Para más detalles ver anexo digital II.1).

Los prototipos establecen las configuraciones del proyecto en general, o sea, los estilos de trabajo de las herramientas de los módulos. Estos se configuran mediante la opción Prototype Setting del menú Projects.

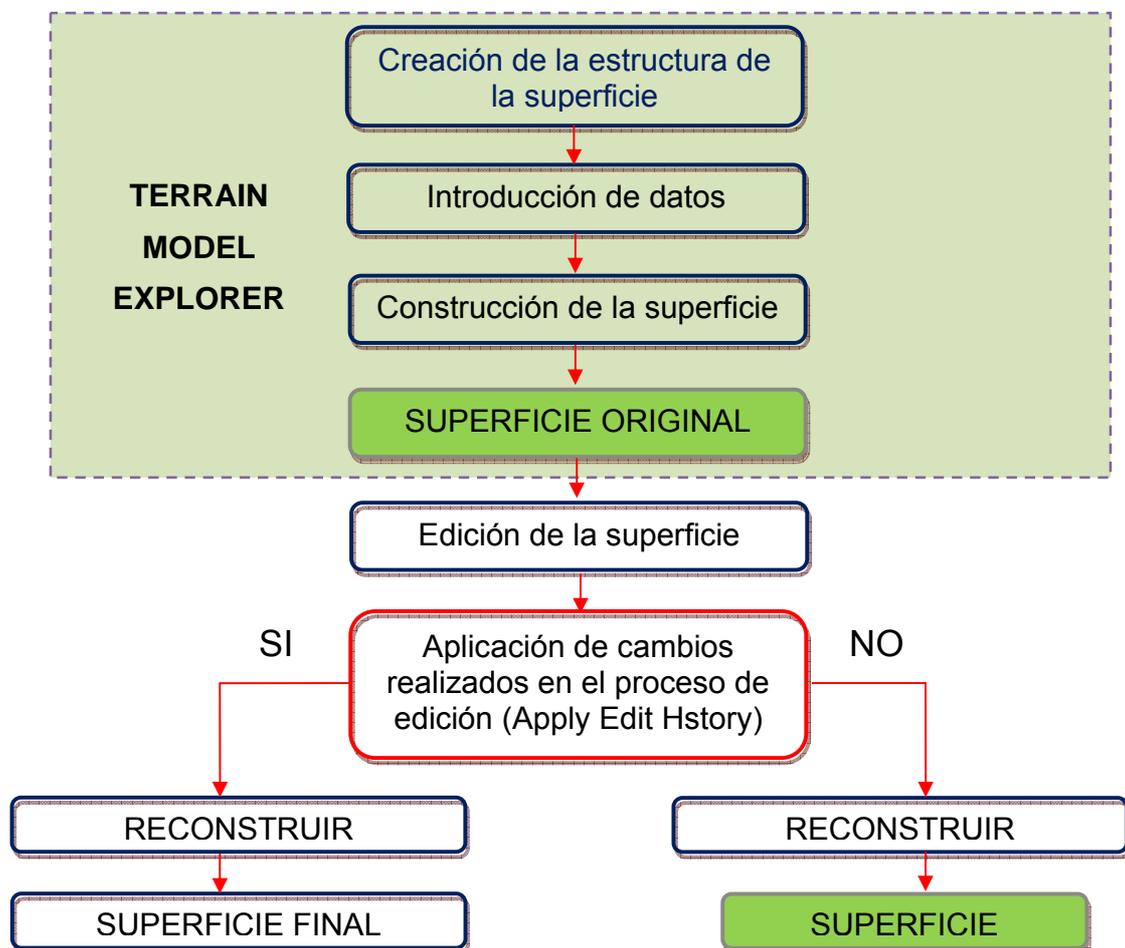
Los perfiles de trabajo establecen las configuraciones en que se basa el dibujo, por ejemplo, la escala, la zona geodésica, la ubicación del norte, y otros. La edición de estos elementos se hace posible mediante la opción Drawing Setup del menú Projects.

### **2.3.2 Activación de los módulos del programa**

Para activar o cargar los distintos módulos del programa se hace uso de la opción Menu Palettes del menú Projects o de la sección Workspace. En ambos casos debe seleccionarse la herramienta a utilizar y a continuación la barra de menús cambiará en dependencia del módulo seleccionado.

## 2.4 Aplicación del AutoCAD Land a la confección de modelos digitales de terrenos

La confección de los planos topográficos es, sin dudas, uno de los primeros procesos que tienen lugar en los proyectos de presas de tierra. Del rigor técnico con que se enfrente esta tarea dependerá la precisión del emplazamiento y del cálculo del movimiento de tierra. Como bien se explicó en el capítulo anterior, se pretende que dicha información tenga salida a partir de modelos digitales de terrenos (MDT), que es la forma óptima de procesar las mediciones de campo provenientes de los instrumentos digitales de que dispone la empresa. En el AutoCAD Land, la confección del MDT, sugiere el siguiente esquema de trabajo: (ver esquema 2.1)



Esquema 2.1 Secuencia general de trabajo propuesta para la creación de modelos digitales de terreno en el AutoCAD Land Desktop. <sup>[4]</sup>

<sup>4</sup> Casanella, R. "Curso de modelación digital de terrenos para especialistas en Topografía". En soporte digital en biblioteca digital del departamento de Ingeniería Civil, UHo. <.../Tema IV-1.pdf>. Consultado: 19.05.2012.

Como bien se aprecia, la parte inicial del proceso se realiza íntegramente en el Explorador de Modelos de Terreno que posee el AutoCAD Land Desktop. En este, se pueden definir superficies de dos tipos:

1. Superficies de terreno
2. Superficies de volumen

Para la modelación del terreno, se utilizan –en este trabajo– sólo superficies de terreno.

El acceso al Explorador de modelos de terreno, se realiza del siguiente modo: (Ver Figura 2.1)

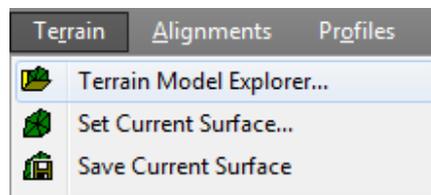


Figura 2.1 Acceso al explorador de modelos de terrenos.

Esta ventana posee la siguiente apariencia: (ver Figura 2.2)

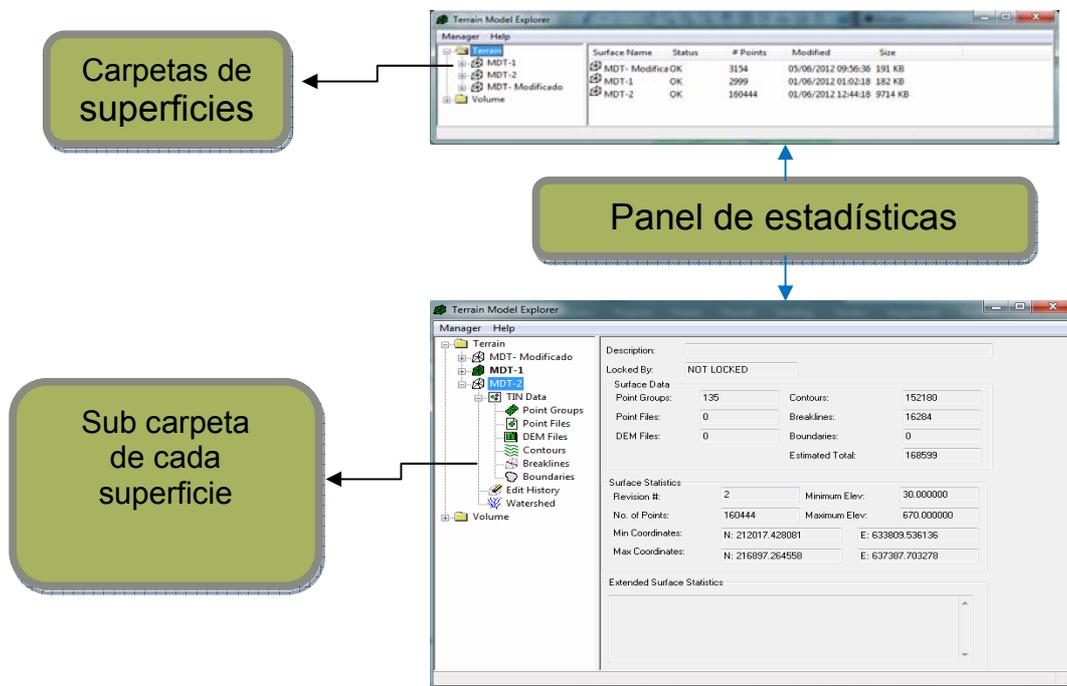


Figura 2.2 Estructura del Explorador de modelos de terreno.

El esquema general descrito previamente, se puede desarrollar entonces mediante la siguiente secuencia: (ver Figura 2.3)

### 2.4.1 Creación de la estructura de la superficie

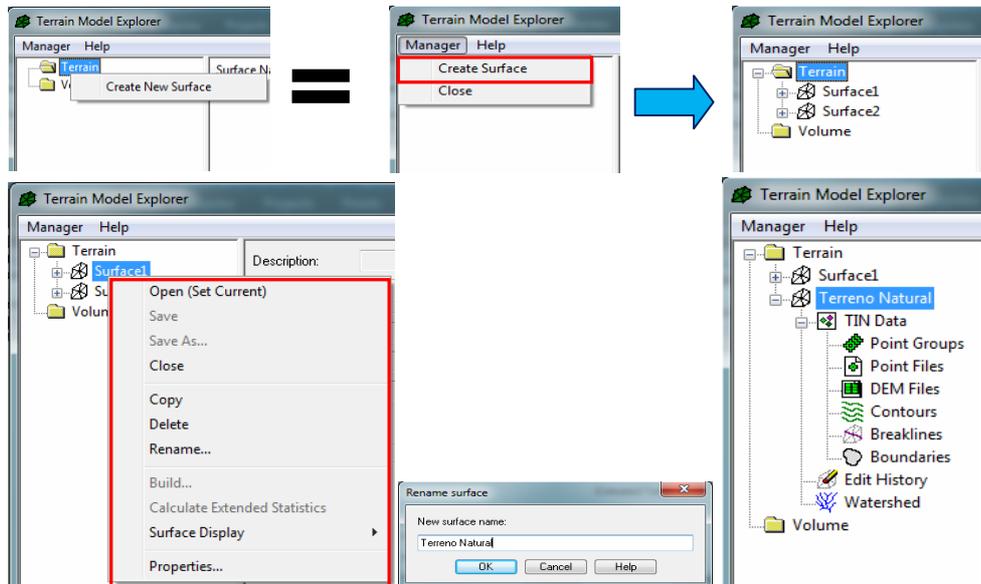


Figura 2.3 Proceso de creación de una nueva superficie, mediante el Explorador de modelos de terreno.

Nota: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

### 2.4.2 Introducción de datos

Los tipos de datos de entrada que admite una superficie son: (ver Figura 2.4)

- Grupos de puntos:

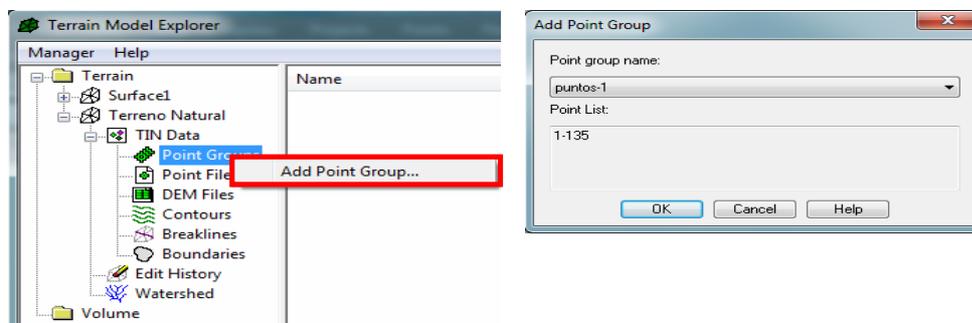


Figura 2.5 Modo de introducir datos a una superficie mediante grupos de puntos. Nota: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

- Ficheros de puntos (o a través de referencias a entidades gráficas de AutoCAD).(ver Figura 2.5)

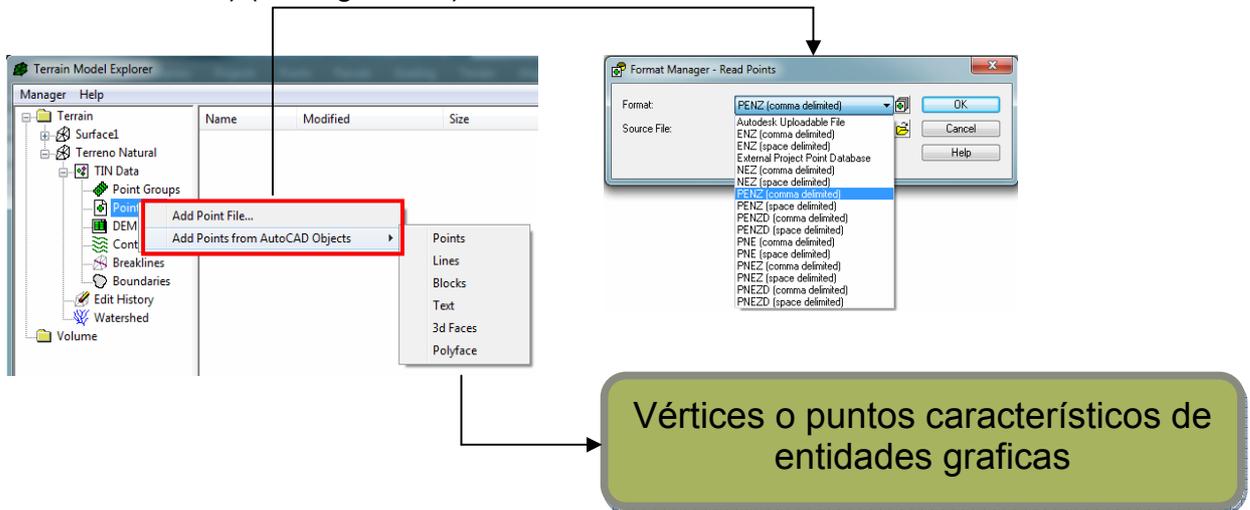


Figura 2.5 Modo de introducir datos a una superficie mediante ficheros de puntos (o a través de referencias a entidades gráficas de AutoCAD).

Nota: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

- Ficheros externos de modelos digitales de elevaciones.(ver Figura 2.6)

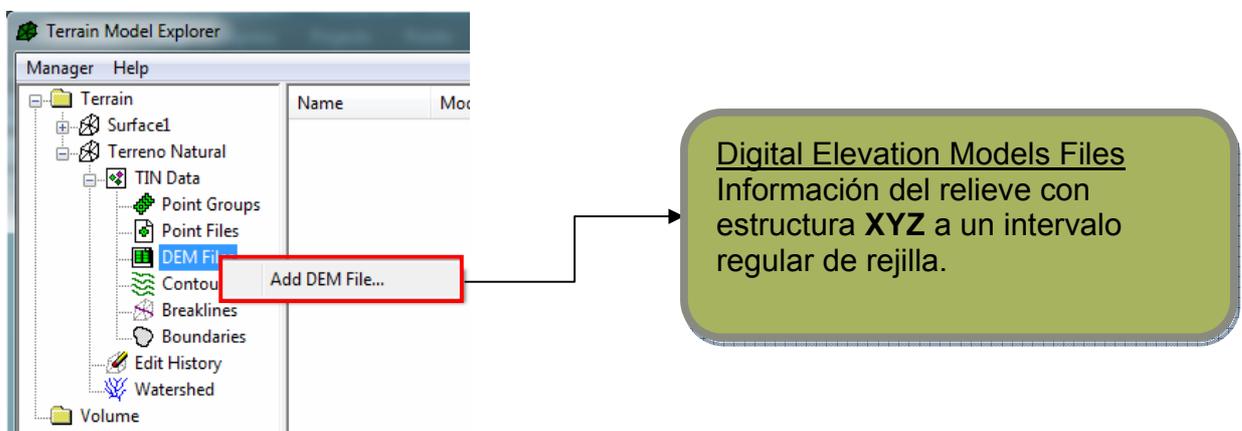


Figura 2.6 Modo de introducir datos a una superficie mediante ficheros externos de modelos digitales de elevaciones.

Nota: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

- Curvas de nivel (ver Figura 2.7)

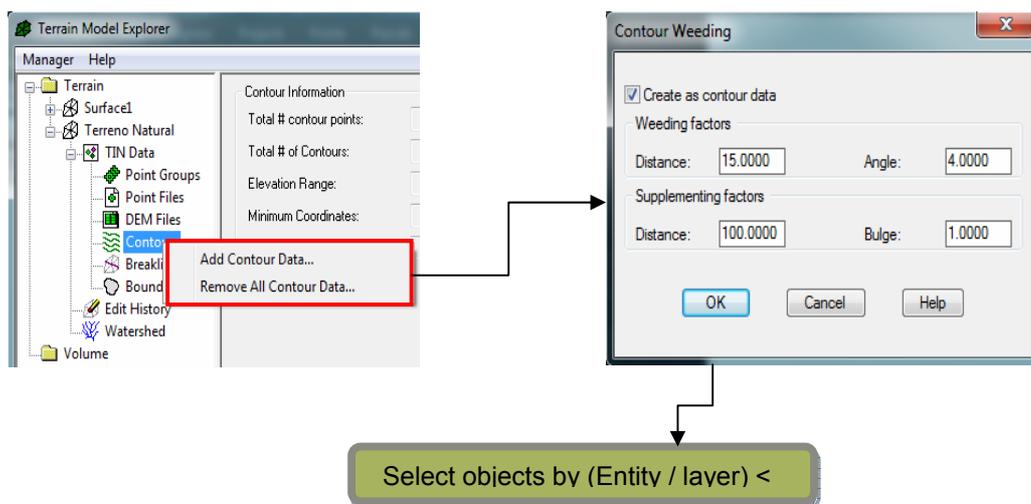


Figura 2.7 Modo de introducir datos a una superficie mediante curvas de nivel.

Notas: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse. El recuadro, limitado en azul, corresponde a la línea de comandos.

En este caso los factores de limpieza ignoran aquellos vértices consecutivos que están más cercanos que el factor de distancia, así como aquellos vértices que deflektan menos que el factor angular. Por el contrario, los factores suplementarios adicionan puntos a las futuras curvas de nivel. Si la distancia entre vértices consecutivos es mayor que el factor de distancia suplementaria, se adicionan puntos en la curva de nivel a intervalos que son menores o iguales a dicha distancia. El factor de protuberancia es la distancia del arco a una cuerda dividida por la mitad de la longitud de la cuerda. Mediante la especificación del factor de protuberancia, se crean aproximaciones a la curva utilizando segmentos de líneas rectas. La longitud de estos segmentos varía en dependencia del factor especificado y del grado de curvatura.

- Quiebres (ver Figura 2.8)

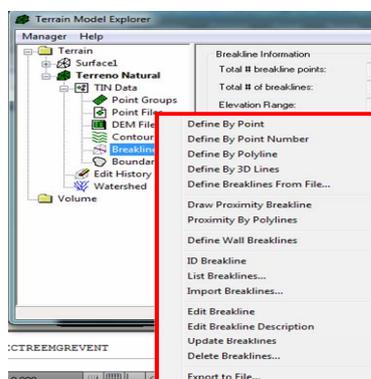


Figura 2.8 Modo de introducir quiebres a una superficie.

Notas: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

Los quiebres se utilizan para modelar accidentes del terreno u obras incluidas por la mano del hombre como muros de contención, bordes, partidores, vaguadas, entre otras.

El programa permite definir quiebres de diversas maneras:

- a través de entidades gráficas de puntos COGO.
- a través de números de puntos COGO.
- a través de polilíneas (3D).
- a través de líneas 3D.
- a través de ficheros.

Se ilustra a continuación el proceso de definir quiebres a partir de líneas 3D:(ver Figura 2.9)

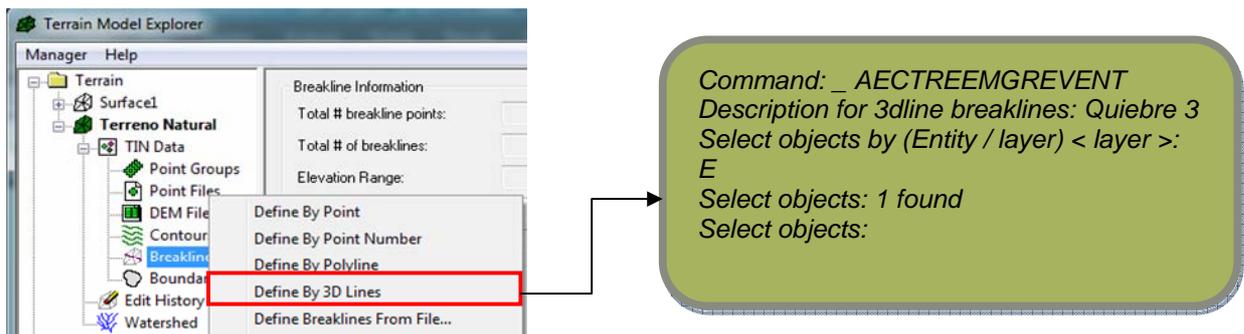


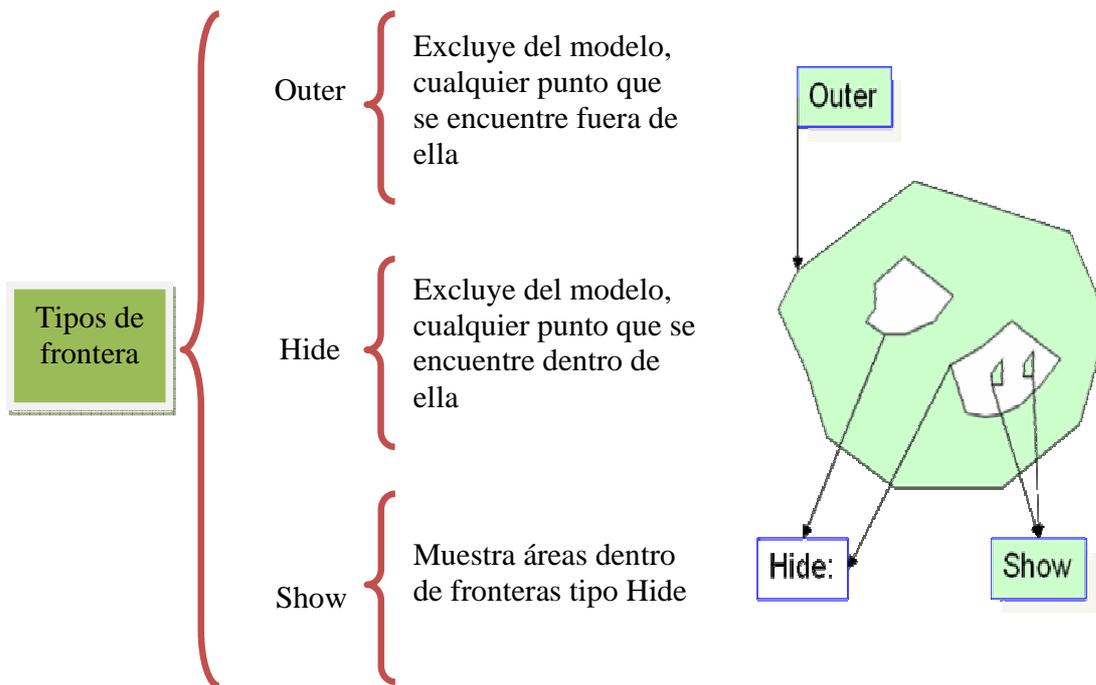
Figura 2.9 Modo de definir un quiebre a través de líneas 3D.

Notas: El recuadro, limitado en azul, corresponde a la línea de comandos.

- Fronteras

Las fronteras son las polilíneas cerradas que establecen los límites de la superficie.

El programa define tres tipos de superficies: (ver esquema 2.2)



Esquema 2.2 Tipos de frontera.

Para definir las fronteras se utiliza la siguiente secuencia: (ver Figura 2.10)

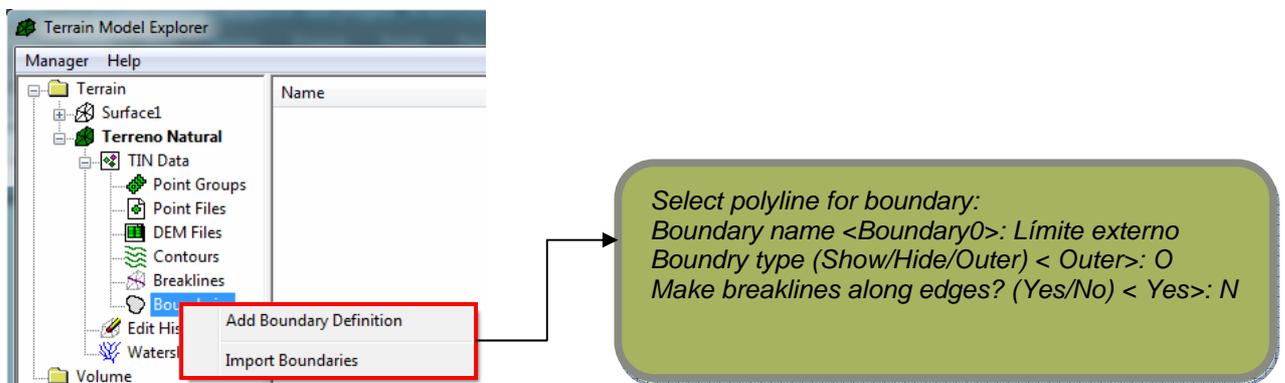


Figura 2.10 Modo de introducir fronteras a una superficie.

Notas: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse. El recuadro, limitado en azul, corresponde a la línea de comandos.

### 2.4.3 Construcción de la superficie

Para la ejecución de esta acción, el programa propone la siguiente secuencia: (ver Figura 2.11)

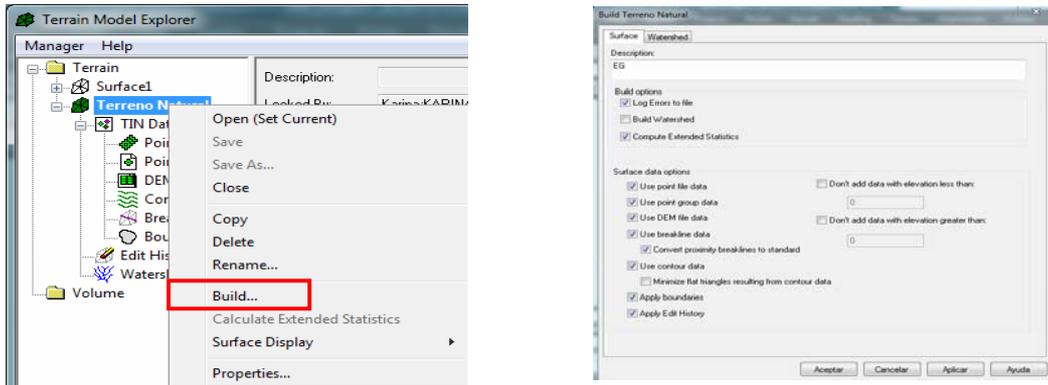


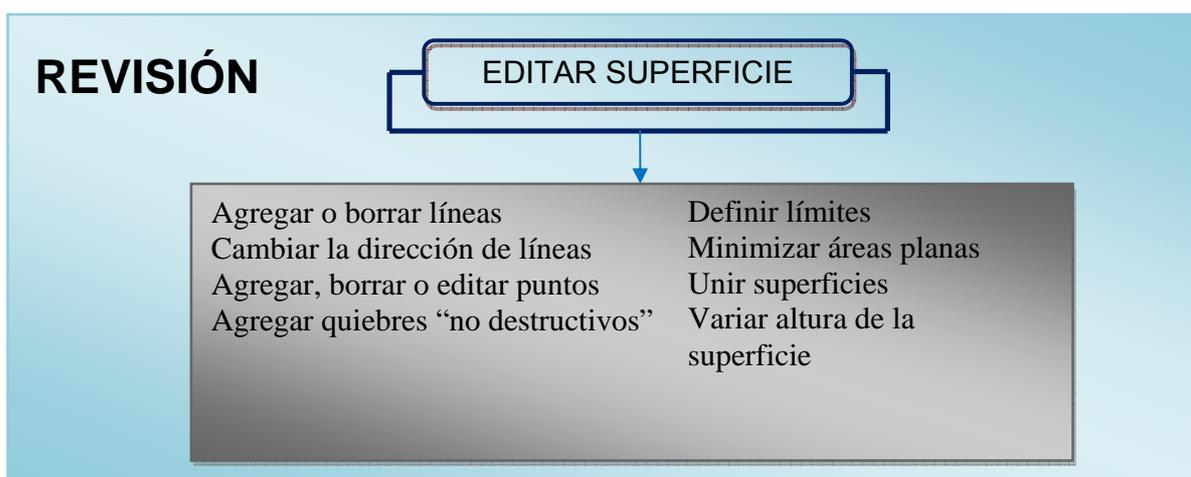
Figura 2.11 Modo de construir una superficie.

Notas: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse.

De ese modo queda confeccionado formalmente el modelo digital de terreno, al que se le llama –en este trabajo- superficie original. Dicho modelo puede ser perfeccionado mediante la inclusión y/o modificación de datos de entrada (proceso esquematizado con el lazo discontinuo en el esquema II.1) o puede quedar listo para realizarle un proceso de edición.

#### 2.4.4 Edición de la superficie

La edición de superficies de terreno puede esquematizarse del siguiente modo: (ver esquema 2.3)



Esquema 2.3 Componentes del proceso de edición de superficies.

Este proceso se realiza –fundamentalmente- en el submenú **Edit Surface** del **AutoCAD Land Desktop**: (ver Figura 2.12)

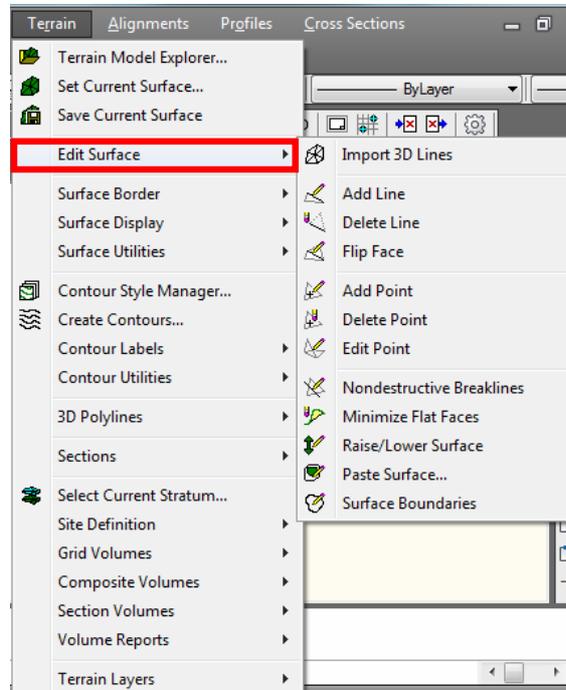


Figura 2.12 Opciones de edición de superficies en el **AutoCAD Land Desktop**.

Los cambios realizados son guardados en la sección **Edit History** del modelo en cuestión:(ver Figura 2.13)

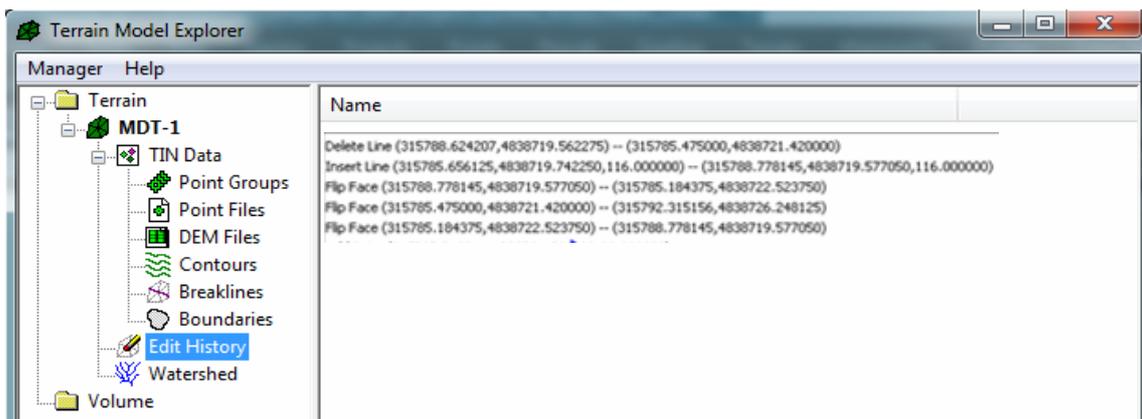


Figura 2.13 Ejemplo de fichero que registra la historia de los cambios realizados al modelo.

## 2.4.5 Aplicación de cambios realizados en el proceso de edición de superficies

Para concretar este paso se hace necesario construir nuevamente la superficie (ver paso No. 3). Luego de ejecutar esta acción, las modificaciones contenidas en el fichero de historia de los cambios realizados al modelo tendrán lugar si la casilla de verificación Apply Edit History se encuentra activada. Para verificar esto se establecen las propiedades generales del modelo de referencia: (ver Figura 2.14)

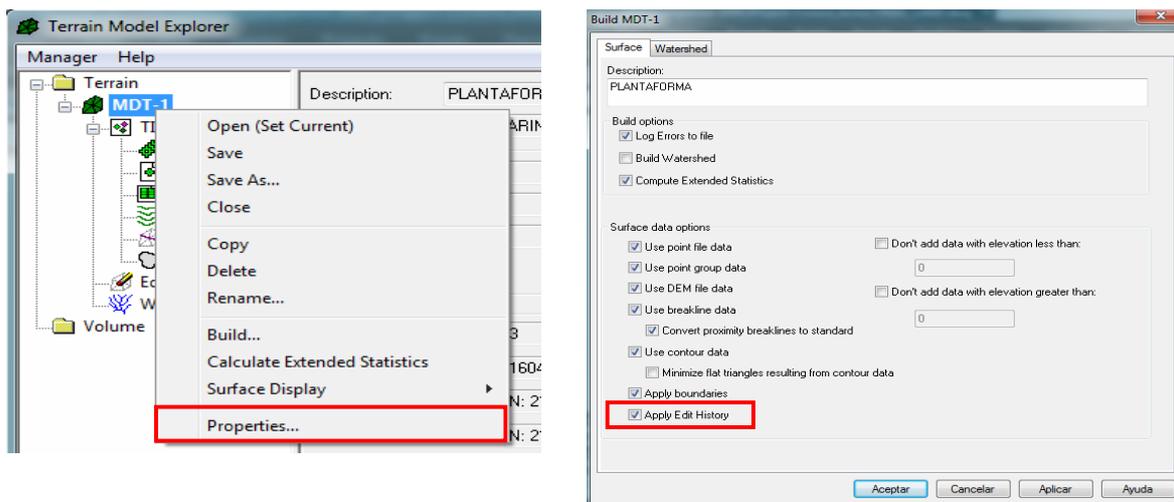


Figura 2.14 Chequeo acerca de si la opción de aplicar los cambios en el proceso de edición de superficies se encuentra activado o no.

Notas: a los menús destacados con límite en color rojo, se accede mediante clic derecho del mouse. El recuadro, limitado en azul, corresponde a la línea de comandos.

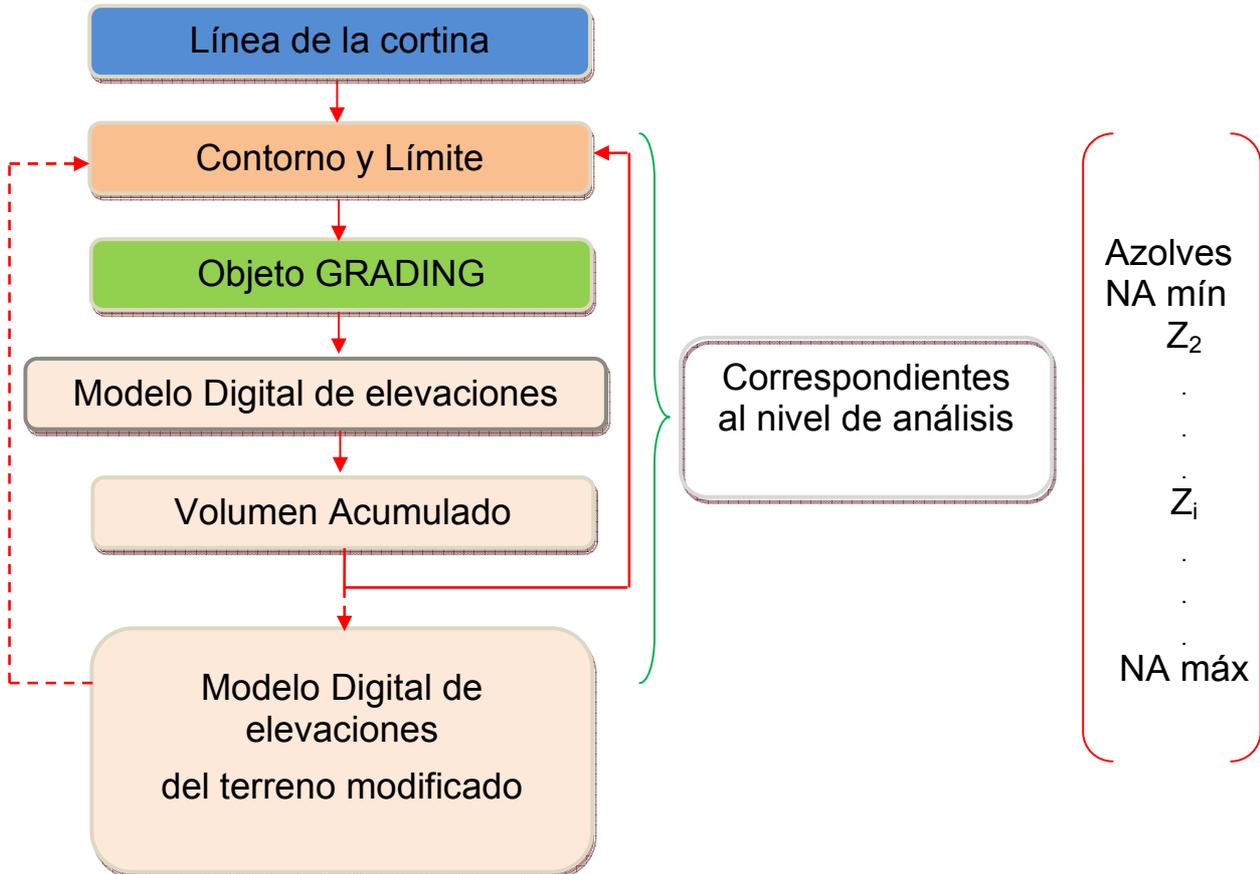
## 2.4.6 Alcance del Modelo digital del terreno Obtenido

En el capítulo anterior,-epígrafe 1.6-, se ponían de manifiesto las características inherentes de los modelos digitales del terreno (no ambigüedad, verificabilidad y repetitividad) entre otros, las que le confieren un alto grado de versatilidad a los citados modelos que lo diferencian notablemente de los mapas impresos y los planos topográficos en formato digital. Un ejemplo lo constituye el cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra para el cual utiliza y combina 3 métodos (método de la rejilla,- grid method -,el método de las secciones,- section method-, y el método de la superficie compuesta,-composite method-,realizando además el balance o diagrama de masas,con lo que garantiza de esta forma una precisión en los resultados acorde con la información generada,se añade a este ejemplo la simplificación o reducción en

cuanto al uso de software para acometer las diferentes tareas para el diseño geométrico de la cortina (dibujo de perfiles longitudinales y transversales, determinación de la rasante, diseño de la sección típica y creación de tablas de materiales entre otros), cabe señalar que resulta de gran utilidad la elaboración de mapas de conveniencias topográficas y su posterior visualización en 3D, siendo necesario añadir que todo lo antes expuesto se realiza a partir de una sola base de datos común para la actividad de topografía y diseño; resulta evidente que todas estas actividades descritas anteriormente no podrían realizarse solamente con un plano en soporte digital; en el siguiente epígrafe se muestra una de las aplicaciones que patentizan la elección del software para enfrentar las tareas de diseño de las presas de tierra.

## 2.5 Aplicación del AutoCAD Land en la obtención de las curvas de caudales acumulados y áreas inundadas versus elevación de la cortina propuesta

Se propone que el proceso de obtención de los valores de elevación – área inundada – capacidad de embalse se realice por el siguiente esquema: (ver esquema 2.4)



Esquema 2.4 Secuencia general de trabajo propuesta para la obtención de los valores de elevación- área inundada- capacidad de embalse con el uso del AutoCAD Land.

La metodología propuesta consta de los siguientes pasos:

1. Trazado de una línea de referencia para el dique de la presa.
2. Trazado del contorno y el límite del nivel de referencia.
3. Configuración de los valores que -por defecto- debe tener el objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves.
4. Creación del objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves.

5. Creación del modelo digital de elevaciones correspondiente a la superficie de azolves.
6. Definición del objeto estrato entre el modelo digital de elevaciones correspondiente a la superficie de azolves y el modelo digital correspondiente al terreno natural.
7. Definición el objeto sitio correspondiente a la zona de análisis.
8. Cálculo del volumen de azolves.
9. Creación del modelo digital de elevaciones del terreno modificado por los azolves.

A continuación se detallarán los pasos anteriores.

### **2.5.1 Trazado de una línea de referencia para el dique de la presa**

Esta línea de referencia puede trazarse siguiendo el eje previsto, que tendrá el dique o cortina, pero pudiera definirse un tanto más hacia aguas arriba de la presa. Lo ideal sería definir un objeto que tuviera en cuenta la geometría del embalse, mas como lo que se persigue es conocer el comportamiento de variables globales para realizar la toma decisiones acerca de la altura final que ha de poseer la cortina, entonces se considera que el diseñador deberá decidir sobre este aspecto.

Desde el punto de vista de operatividad, se aconseja trazar este elemento con las siguientes características:

- **Tipo de objeto:** polilínea 2D
- **Capa:** DIQUE DE PRESA

### **2.5.2 Trazado del contorno y el límite del nivel de referencia**

- a) En la superficie que representa el terreno natural, trazar la curva de nivel de aguas muertas, que representa la cota de azolves de la represa.

El volumen muerto tendrá en cuenta la acumulación de sedimentos que se produce debido al arrastre natural que provocan las corrientes de agua. La determinación de este valor vuelve a convertirse en resultado de un juicio ingenieril.

Para trazar este nivel –luego de establecer como vigente el modelo que representa el terreno natural- se procede del siguiente modo: (ver Figura 2.15)

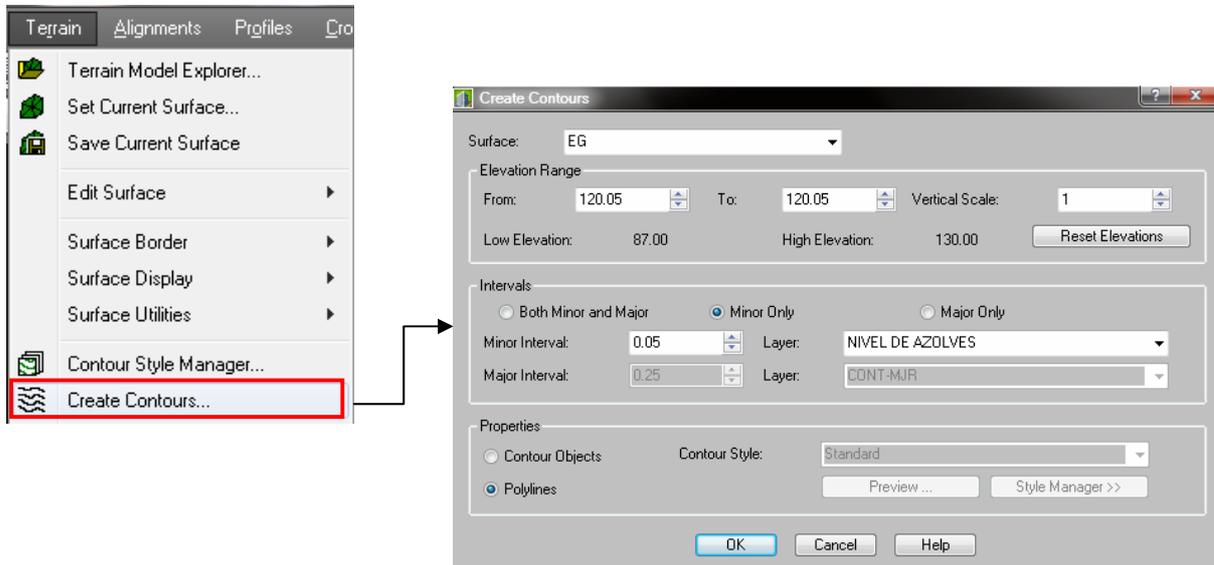


Figura 2.15 Trazado de la polilínea que representa el nivel de aguas muertas.

Observe en la Figura 2.15 el rango de elevaciones que se especifica, acorde con la elevación de azolves (considerada en este caso como 120.05 m). Desde el punto de vista de operatividad, se aconseja trazar este elemento con las siguientes características:

- **Tipo de objeto:** polilínea2D
  - **Capa:** NIVEL DE AZOLVES
- b) Conformar la polilínea cerrada que representa la cota de azolves del embalse y trazar el límite de esta superficie.

Para realizar esta acción se elimina la parte de la polilínea que representa el nivel de azolves, hacia aguas abajo de la futura represa. Esto conviene realizarlo utilizando el comando **TRIM** del **AutoCAD** convencional, usando como borde cortante la línea de referencia del dique de la presa. Entonces, se unen con una nueva polilínea los extremos de la entidad modificada y se unen en una polilínea única con las mismas características establecidas para la que representa el nivel de azolves. Se hace notar que esta polilínea está enclavada en la elevación correspondiente al nivel de azolves.

Para trazar el que será el límite de esa superficie, se dibuja una entidad paralela a la polilínea anterior. Conviene -para ello- utilizar el comando OFFSET del AutoCAD convencional, usando como desplazamiento un valor pequeño, recomendándose 0.01 unidades.

### 2.5.3 Configuración de los valores que -por defecto- debe tener el objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves

En esta sección se establece que:

- La superficie donde se asentará el objeto de nivelación sea el modelo digital del terreno correspondiente al terreno natural.
- Los taludes sean verticales.
- Las esquinas se configuren en forma de aristas.
- Las líneas de proyección de los límites de la nivelación se realice automáticamente y a una distancia máxima recomendada de cinco unidades.

El procedimiento para ejecutar estas acciones se ilustra a continuación: (ver Figura 2.16)

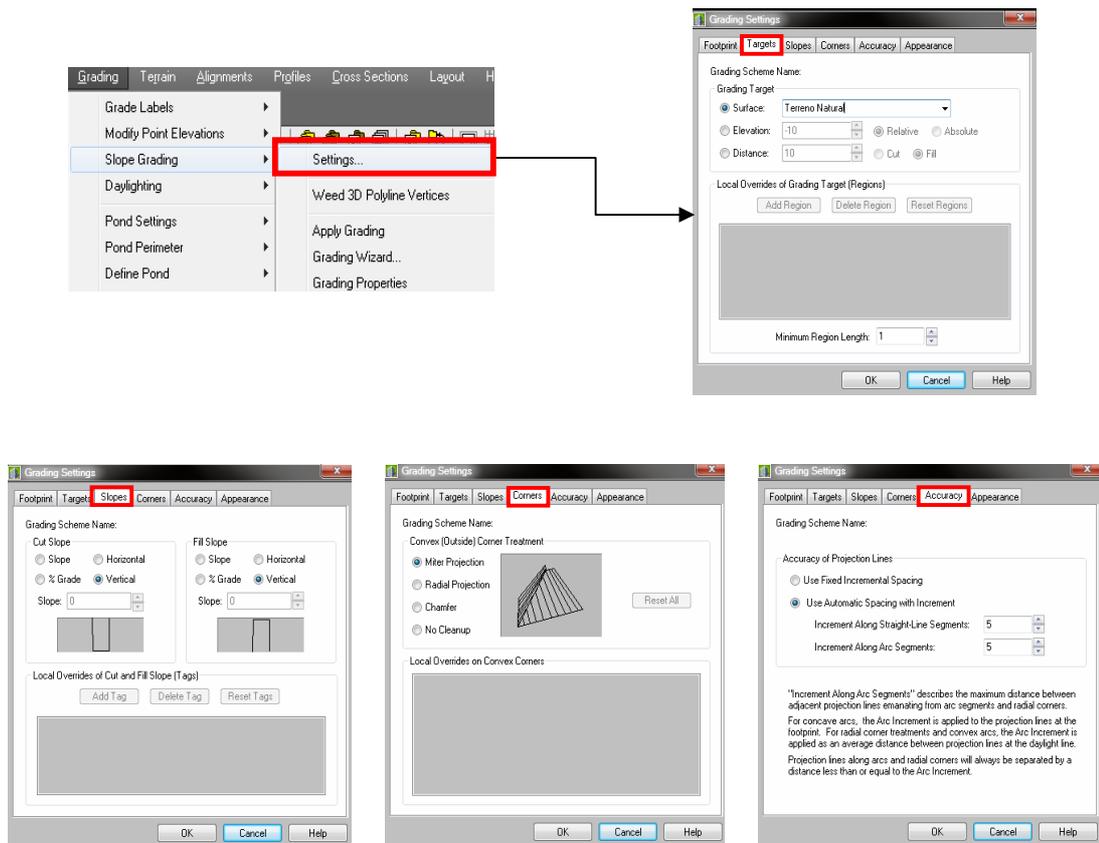


Figura 2.16 Configuración de los valores que -por defecto- debe tener el objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves.

## 2.5.4 Creación del objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves

Sencillamente hay que aplicar el comando Apply Grading a la polilínea 3D, definida en el paso 2b) (ver epígrafe 2.3.2). En el comando es necesario especificar la polilínea, el lado hacia el que se definirán los taludes y el nombre de la superficie (ver Figura 2.17). Los demás aspectos quedan establecidos a partir de la configuración especificada en el epígrafe 2.3.3

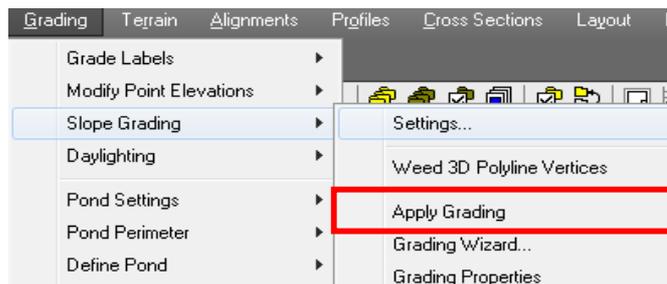


Figura 2.17 Aplicación del objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves.

## 2.5.5 Creación del modelo digital de elevaciones correspondiente a la superficie de azolves

Una vez definido el objeto Grading, se procede a la creación del modelo correspondiente a la superficie de azolves. Primero se debe ir al comando Grading / Create Surface: (ver Figura 2.18)

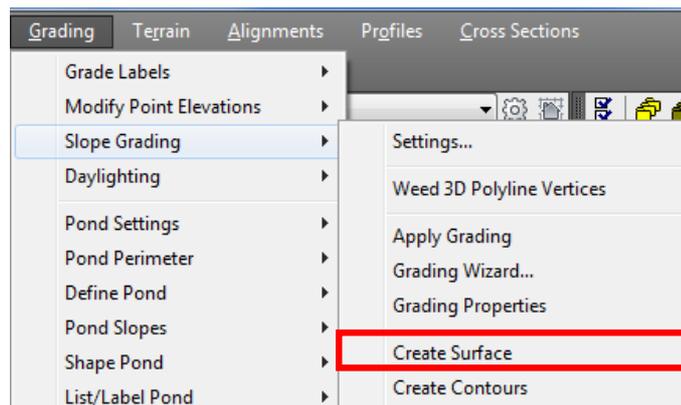


Figura 2.18 Creación de una superficie que se usará para el nivel de azolves.

El proceso a seguir para la creación de la nueva superficie es el siguiente:(ver Figura 2.19)

- Seleccionar el área que representa el objeto Grading que corresponde a la superficie de azolves.
- Definir el nombre de la superficie de azolves y la descripción.

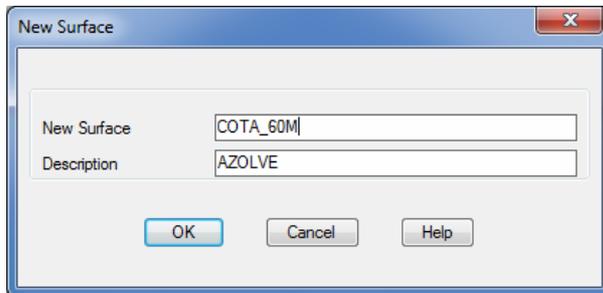


Figura 2.19 Creación de una nueva superficie.

Se va al comando Terrain / Terrain Model Explorer para adicionar un nuevo límite exterior (Outer Boundary)( ver Figura 2.20)

- . Este límite es el que se especifica en el epígrafe 2.3.3.

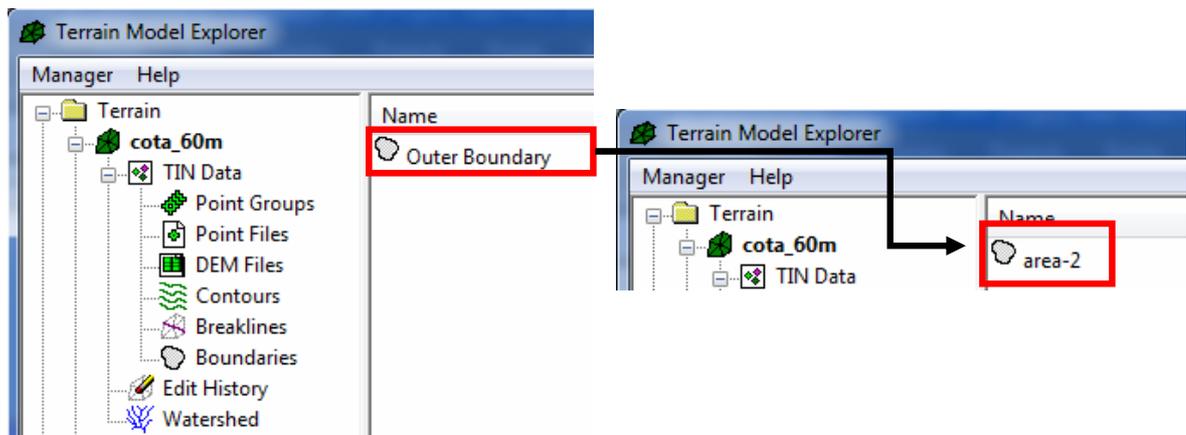


Figura 2.20 Creación de un nuevo límite o outer boundary.

Nota: El cuadro de color rojo con el área que representa Boundaries se da clic derecho y se borra y en su lugar se establece una nueva área que está representada a 0.01m fuera del área Grading.

Generar el modelo con el comando Build, para que así se restablezcan todos los parámetros del modelo de azolve:( ver Figura 2.21)

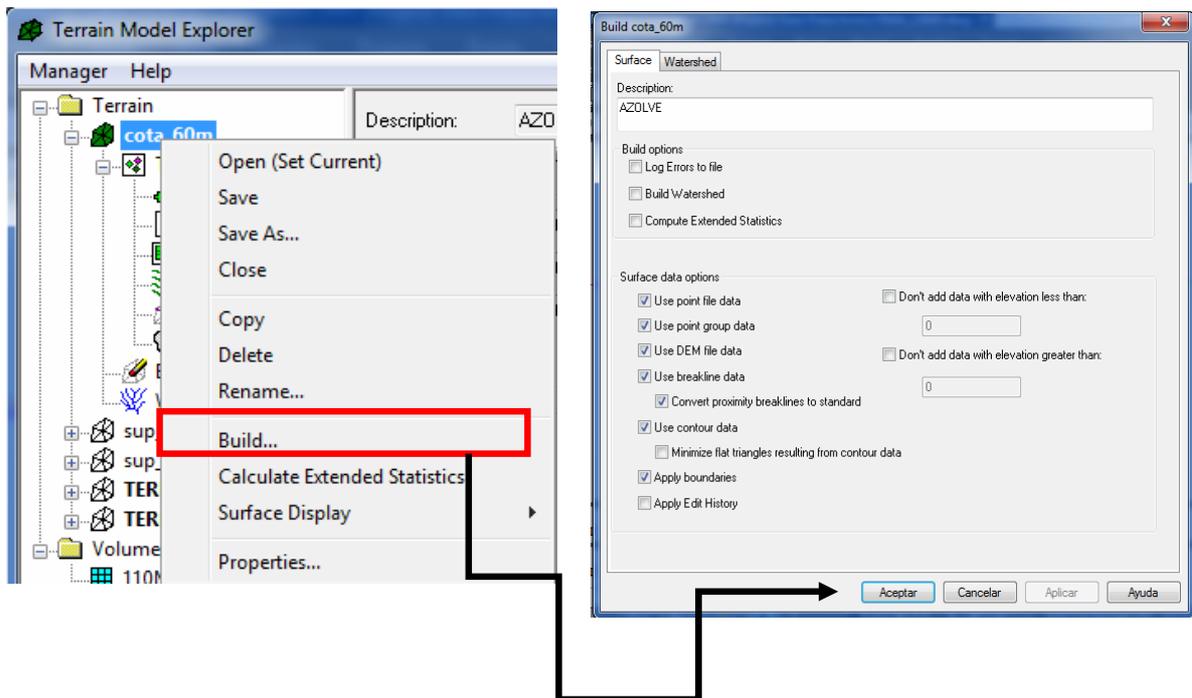


Figura 2.21 Generación de la superficie modificada.

## 2.5.6 Definición del objeto estrato

Un stratum es un objeto, que está compuesto por dos superficies de tipo Terrain. Para realizar esta acción se acude al comando Select current stratum y se especifica el nombre del objeto, así como las superficies que lo componen. Por convencionalismos, la superficie 1 es considerada el objeto Grading y la superficie 2, el terreno que sirve de base: (ver Figura 2.22)

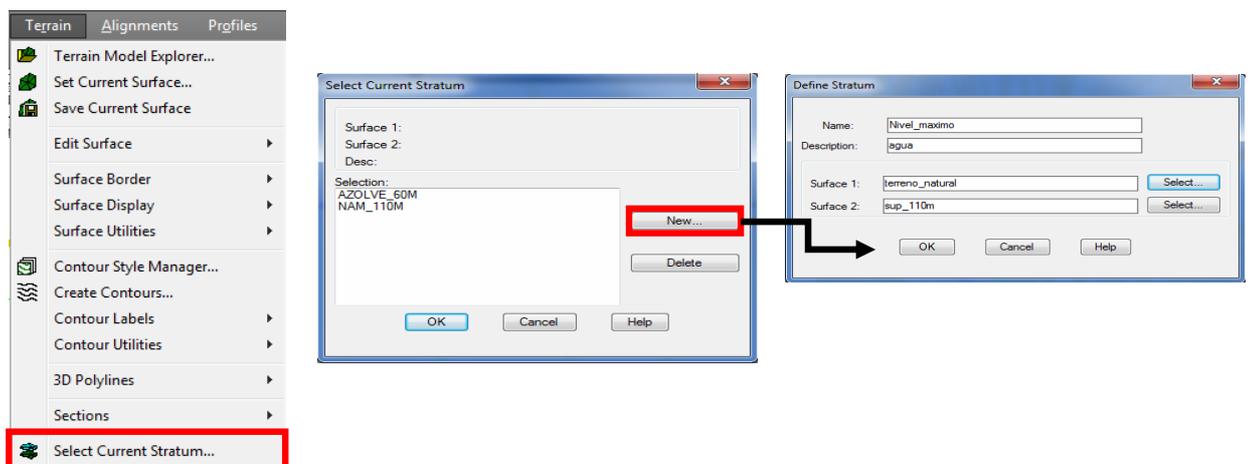


Figura 2.22 Creación del objeto estrato.

### 2.5.7 Definición del objeto sitio correspondiente a la zona de análisis

Un sitio es un área rectangular definida por celdas de cuadrícula, que se utiliza para calcular volúmenes de movimiento de tierras mediante los métodos: Grid, Composite y Section: (ver Figura 2.23)

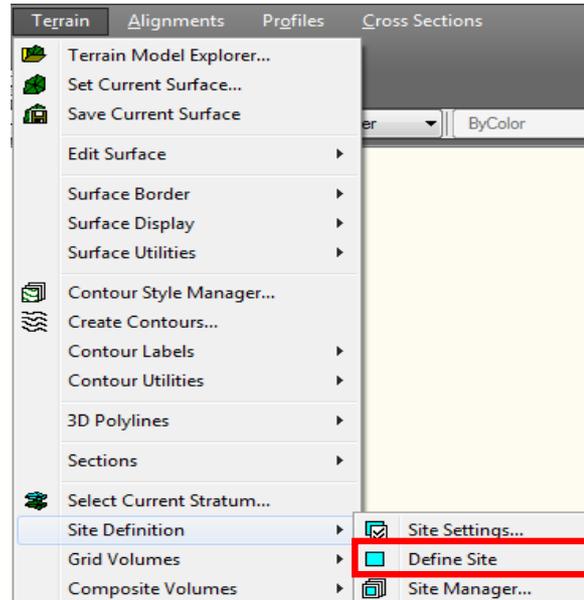


Figura 2.23 Definición del área que compone el sitio.

Es necesario establecer el ángulo de rotación, la esquina inferior izquierda, el tamaño de la rejilla en direcciones perpendiculares, la esquina superior derecha y el nombre del sitio. Se sugiere que el tamaño de la rejilla sea de 1 x 1m.

### 2.5.8 Cálculo del volumen de azolves

Se propone que el volumen de azolves se determine por el método de las cuadrículas, utilizando el comando Calculate Total Site Volume.... Para la implementación de este comando es necesario especificar tanto el estrato, como el sitio en que se desea calcular el volumen. Además se solicita el nombre de la superficie de volumen en que se almacenarán los resultados: (ver Figura 2.24)

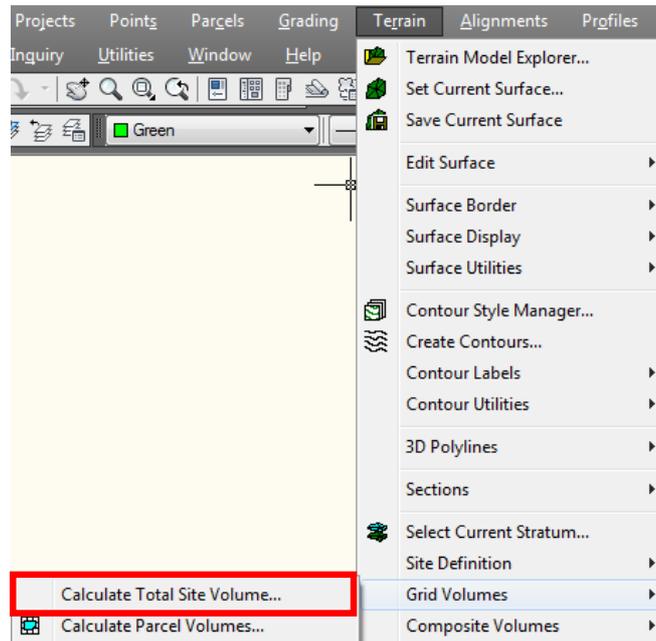


Figura 2.24 Definición para el cálculo de volumen por estratos.

### 2.5.9 Creación del modelo digital de elevaciones del terreno modificado por los azolves

En este paso se procede a crear el modelo del terreno, considerando la presencia de los azolves. Con el objetivo de preservar los modelos originales, se realizan copias de las superficies tipo Terrain: Terreno natural y Nivel de azolves. Luego la copia de la superficie del Terreno natural se renombra como Terreno modificado y se pone en estado vigente. A esta superficie se le “pega” el modelo que representa la copia de la superficie de azolves, utilizando para ello el comando Paste Surface... (ver ilustraciones 2.25 y 2.26)

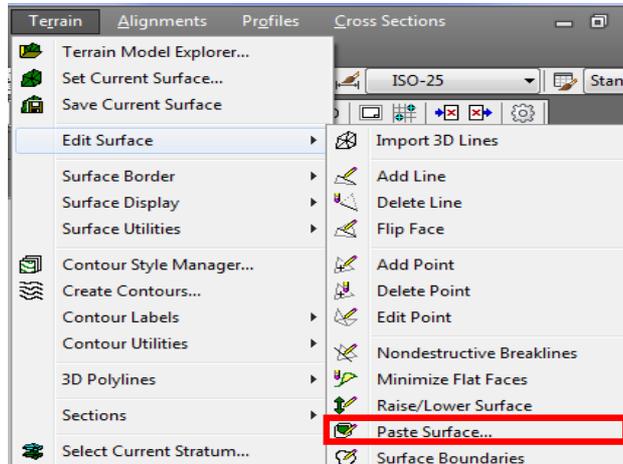


Figura 2.25 Creación de un modelo modificado.

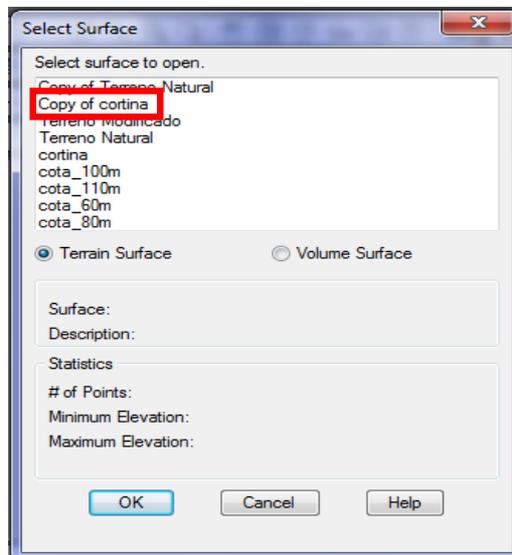


Figura 2.26 Selección de superficie a que va a pegar.

El proceso se repite desde el paso número 2 hasta el paso número 8 con las siguientes peculiaridades:

Paso 2: Se trazan curvas de nivel que representen los diferentes niveles de agua que considerarán hasta el nivel de aguas máximas.

Paso 3: La superficie sobre la que se asentará el nivel de agua especificado cambia ahora a Terreno modificado.

Paso 4: Se definen tantos objetos Grading, como niveles de agua se especifiquen en el Paso 2.

Paso 5: Se crean tantas superficies de terreno, como objetos Grading, definidos anteriormente además de los límites, que deben haber sido dibujados en el Paso 2.

Paso 6. Se definen tantos estratos como niveles de agua se hayan analizado. En todos los casos la superficie 1 será considerada el terreno modificado por los azolves.

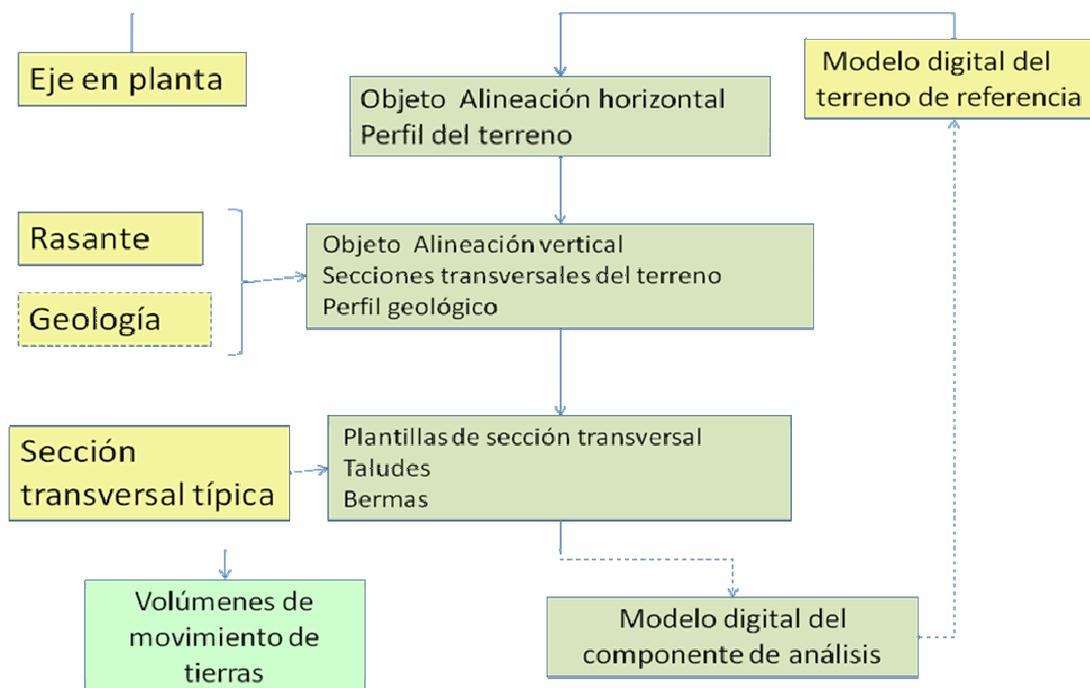
Paso 7. Se puede utilizar el mismo sitio definido anteriormente, siempre y cuando abarque toda el área inundada.

Paso 8. El volumen de agua acumulada se determinó con el comando de cálculo de volumen total definido por el Sitio N, y sucesivamente para cada estrato.

Luego de culminar este proceso, los resultados del área inundada y los volúmenes de agua acumulados se pueden procesar en la herramienta **MS Excel**.

## 2.6 Aplicación del AutoCAD Land en el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra de la cortina de la presa

Se propone que el proceso de obtención de los volúmenes de movimiento de tierras, se realice por el siguiente esquema:(ver esquema 2.5)



Esquema 2.5 Secuencia general de trabajo propuesta para la obtención de los valores de volumen de movimiento de tierra en la cortina de la presa con el uso de la herramienta informática **AutoCAD Land Desktop**.

La metodología propuesta consta de los siguientes pasos:

1. Trazado de la polilínea o línea del eje en planta de la cortina.
2. Definición del objeto alineación horizontal.
3. Definición del perfil del terreno.
4. Trazado del perfil de la rasante
5. Definición del objeto alineación vertical.
6. Dibujo de la plantilla de la sección transversal.
7. Definición de la plantilla de la sección transversal.
8. Creación del fichero de intersección entre las secciones transversales al eje y el terreno.
9. Asignación de la plantilla
10. Asignación de los taludes y bermas.
11. Visualización/Edición de las secciones transversales.
12. Creación de la tabla de volúmenes de movimiento de tierras

Estos pasos se detallan a continuación.

### 2.6.1 Trazado de la polilínea o línea del eje en planta de la cortina

Para trazar este eje se parte de la propuesta dada por el proyectista. Se sugiere utilizar el comando Line del **AutoCAD Land Desktop**, aunque se pueden utilizar los comandos Line y Polyline del **AutoCAD** convencional. En el caso, de usar uno de estos dos últimos comandos, se debe tener presente que el futuro objeto Alineación horizontal que se defina debe estar contenido en un plano horizontal:( ver Figura 2.27)

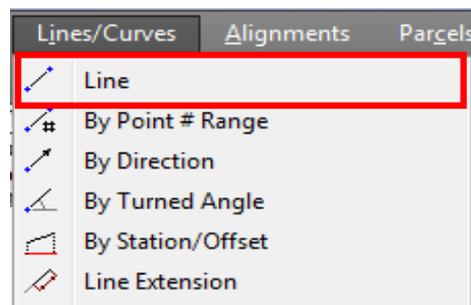


Figura 2.27 Trazado de la línea que representa el eje de la cortina.

## 2.6.2 Definición del objeto alineación horizontal

El objeto alineación horizontal es el eje en planta de la obra lineal. Generalmente formado por tramos rectos (tangentes) y de transición (arcos circulares o espirales) y vinculado a una base de datos.

Este se define con los comandos Define from objects (si las entidades gráficas que lo conforman son segmentos de recta o de arcos circulares o espirales) o Define from polyline si las entidades gráficas que lo conforman son polilíneas. Es necesario especificar el nombre y estación inicial de este objeto:(ver Figura 2.28)

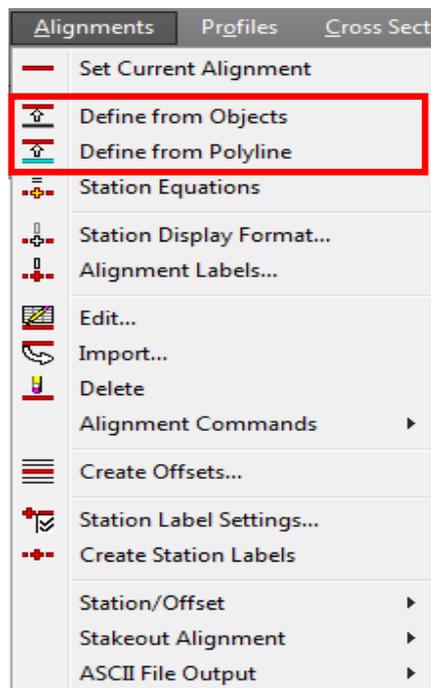


Figura 2.28 Definición del objeto que representará el eje de la cortina.

## 2.6.3 Definición del perfil del terreno

Es necesario realizar tres acciones:

- Configuración de los parámetros del perfil.
- Creación del fichero de intersección entre el terreno y el eje de la cortina
- Dibujo del perfil.

A continuación se detallan estos pasos.

### 2.6.3.1 Configuración de los parámetros del perfil

Estos pasos se ejecutan en el submenú Profile Settings: (ver Figura 2.28)

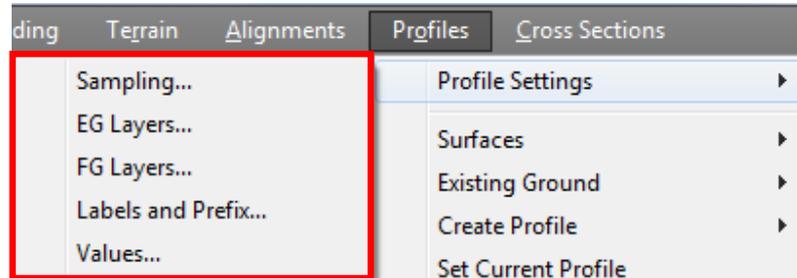


Figura 2.28 Configuración de los parámetros para la alineación proyectada.

Con el comando Sampling, se establece la precisión con la cual se calculará el perfil en el caso que el eje de la cortina tenga una directriz curva, así como la intención de trazar perfiles a la izquierda o a la derecha del eje de la cortina.

Con el comando EG Layers (Capas del terreno), se especifican los nombres de las capas en que se desea que se trace el terreno: (ver Figura 2.29)

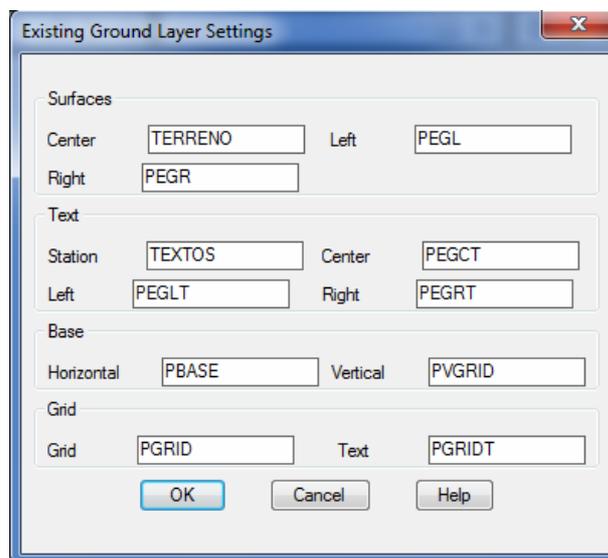


Figura 2.29 Ventana para configuración de los nombres de las capas relacionadas con el terreno.

Con el comando FG Layers (Capas de la rasante), se especifican los nombres de las capas en que se desea que se trace la rasante y la información asociada a ella: ver Figura 2.30)

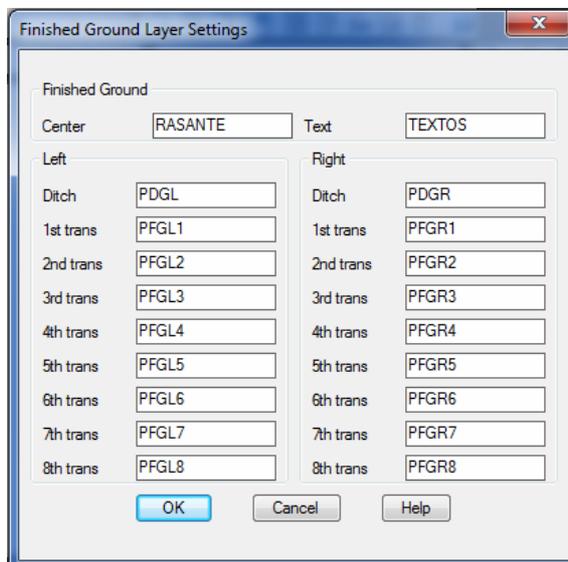


Figura 2.30 Ventana para configuración de los nombres de las capas relacionadas con la rasante.

**2.6.3.2 Creación del fichero de intersección entre el terreno y el eje de la cortina**  
Para la ejecución de este paso es necesario tener vigentes tanto el objeto alineación horizontal como la superficie de terrenos donde se desea representar el perfil. Luego, se ejecuta el comando Sample from surface y se establece el rango de estaciones en que se desea representar el perfil: (ver Figura 2.31)

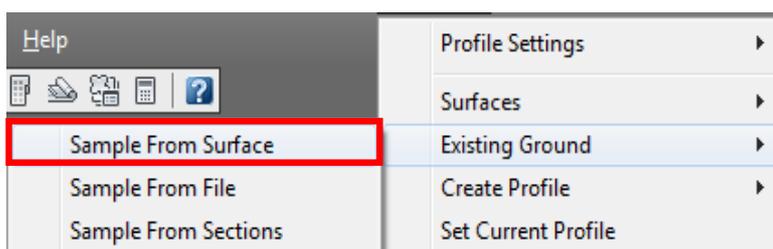


Figura 2.31 Fichero de intersección entre el terreno y la alineación proyectada como el eje de la cortina.

### 2.6.3.3 Dibujo del perfil

Existen varias maneras de representar gráficamente el perfil. Se propone el uso del comando Full profile. En este es necesario especificar la relación de escala que se

utilizará, el rango de estaciones, así como la configuración de la rejilla: (ver Figura 2.32)

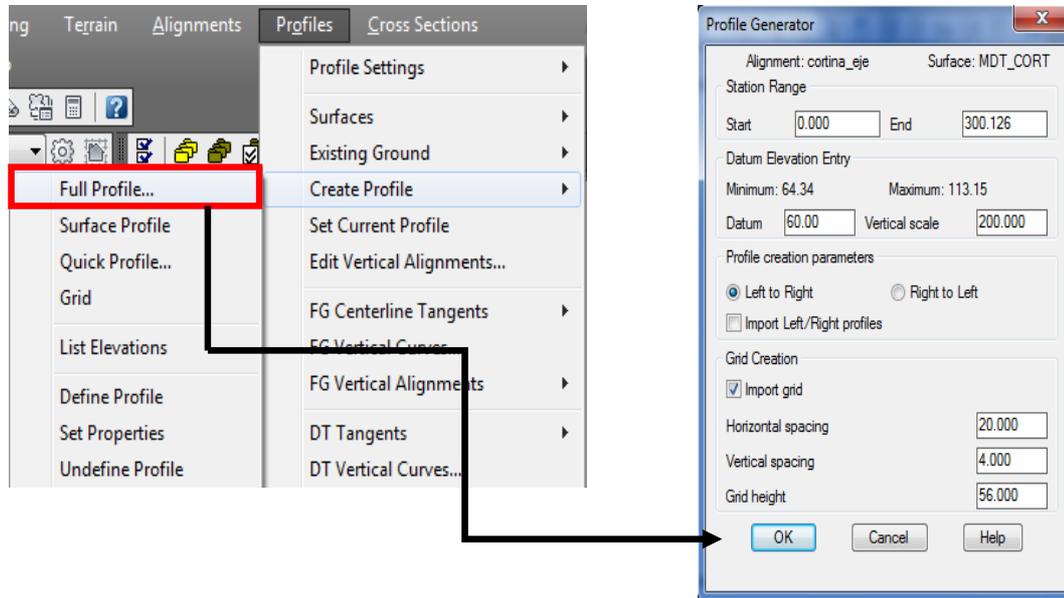


Figura 2.32 Ventana de creación de perfil.

#### 2.6.4 Trazado del perfil de la rasante

Es necesario realizar dos acciones:

- Establecer la capa en la que se trazará la rasante
- Trazar la rasante.

A continuación se detallan estos pasos.

- Establecer la capa en la que se trazará la rasante. (ver Figura 2.33)

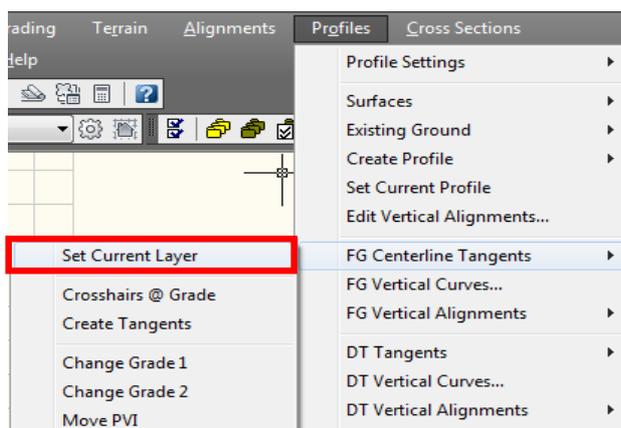


Figura 2.33 Fichero de aplicación de la capa de la rasante.

— Trazar la rasante.

Este paso aporta facilidades para el trazado del perfil de la rasante en el bloque del perfil del terreno previamente creado. Se ejecuta básicamente seleccionando el comando Create Tangents: (ver Figura 2.34)

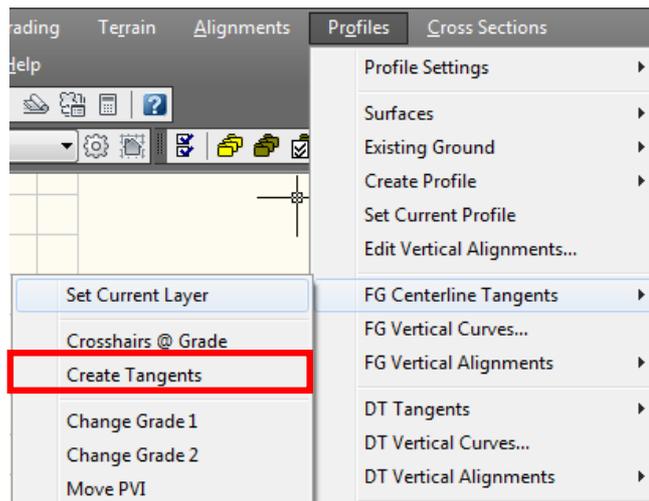


Figura 2.34 Fichero de creación de la rasante.

### 2.6.5 Definición del objeto alineación vertical

— En este paso se parametriza el objeto gráfico creado en el paso anterior, mediante el comando Define FG Centerline. Para ello, se debe seleccionar la rasante cerca de la estación inicial y luego el resto de los segmentos que la componen: (ver Figura 2.35)

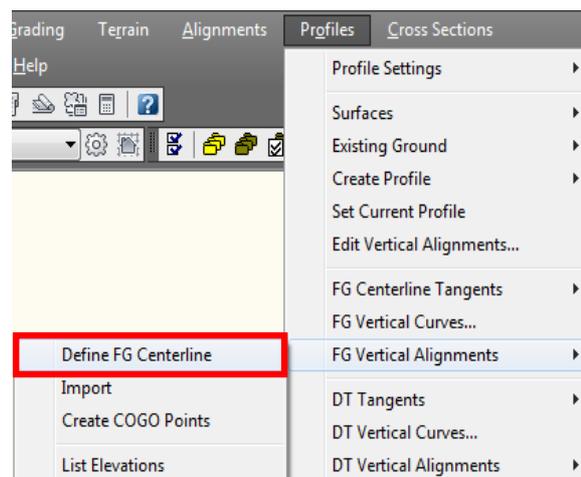


Figura 2.35 Definición del objeto alineación vertical.

## 2.6.6 Dibujo de la plantilla de la sección transversal

Para cumplimentar este paso se propone el uso del comando polyline del **AutoCAD** convencional, definiendo polilíneas cerradas en todos los casos. Es apropiado, antes de comenzar a dibujarla, configurar la misma escala horizontal y vertical en el perfil del dibujo.

## 2.6.7 Definición de la plantilla de la sección transversal

La definición de la plantilla persigue como objetivo parametrizar la sección transversal. Para ello se utiliza el comando Define Template. En él es necesario definir el punto de referencia, normalmente asociado a la posición de la rasante, así como los materiales que componen la plantilla. Es necesario –igualmente- asignar un nombre: (ver Figura 2.36)

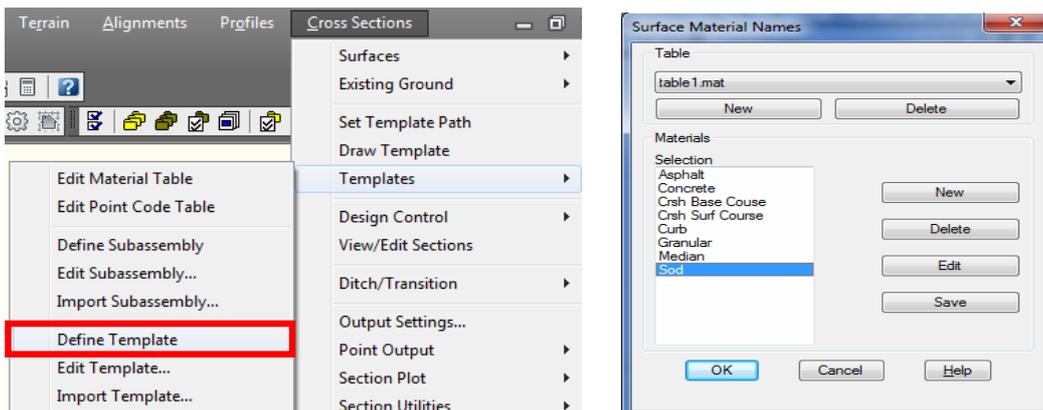


Figura 2.36 Definición de la plantilla que será aplicada a la alineación.

## 2.6.8 Creación del fichero de intersección entre las secciones transversales al eje y el terreno

Para la ejecución de este paso es necesario tener vigente el bloque que representa el perfil del terreno y haber trazado previamente la rasante. Luego, se ejecuta el comando Sample from surface y se establece el rango de estaciones que se desea, así como el ancho de faja, el ritmo entre estaciones entre otros factores: (ver Figura 2.37)

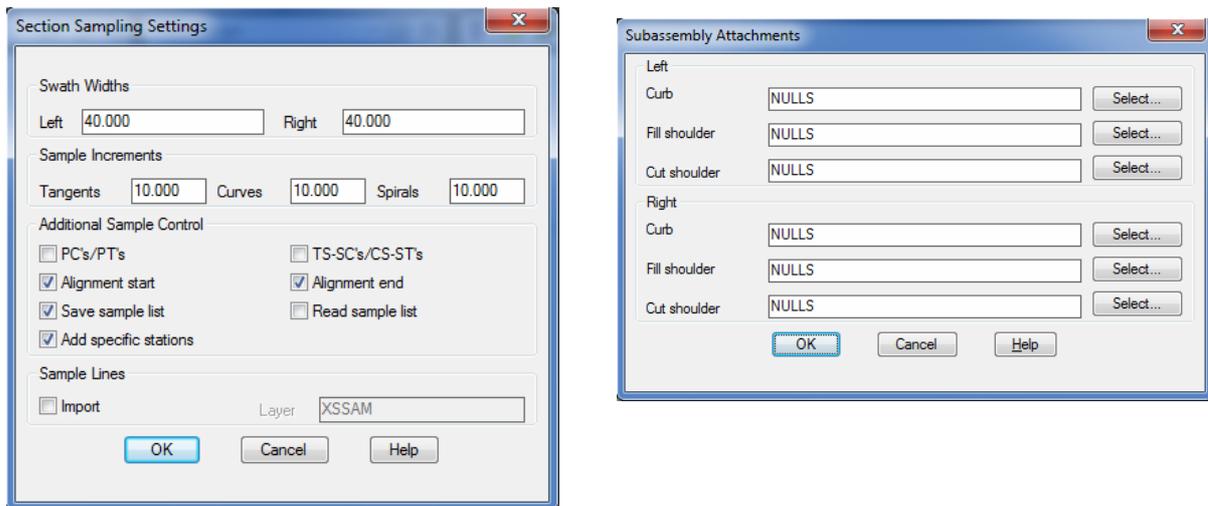


Figura 2.37 Definición de los parámetros del fichero de intersección.

### 2.6.9 Asignación de la plantilla

Dentro del comando Edit Design Control..., se selecciona -oprimiendo el botón Template Control- la plantilla correspondiente en el rango de estaciones especificada, que normalmente coincide con los extremos del trazado: (ver Figura 2.38)

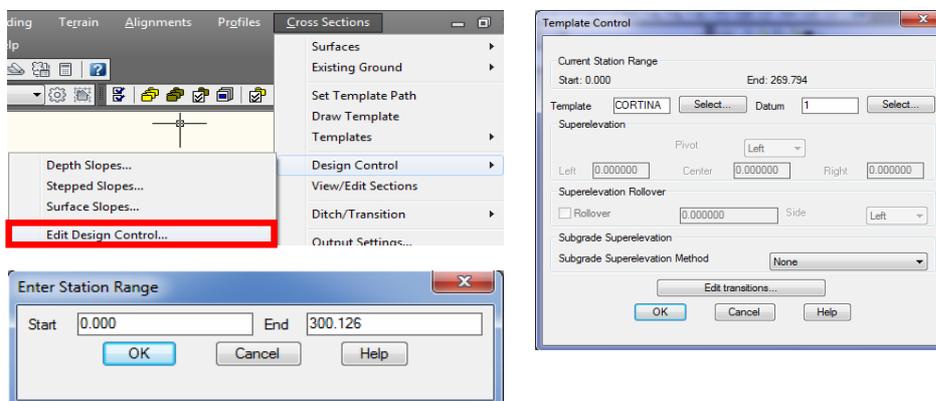


Figura 2.38 Asignación de la plantilla.

### 2.6.10 Asignación de los taludes y bermas

Se define la relación de taludes para los lados izquierdo y derecho. El criterio Simple, suele ser suficiente para estos casos. Se controla mediante el botón Slope del comando Edit Design Control...

La configuración de las bermas se controla mediante el botón Bench. Es necesario especificar el ancho y pendiente transversal de las bermas, así como a la altura en que aparecen por los lados izquierdo y derecho: (ver Figura 2.39)

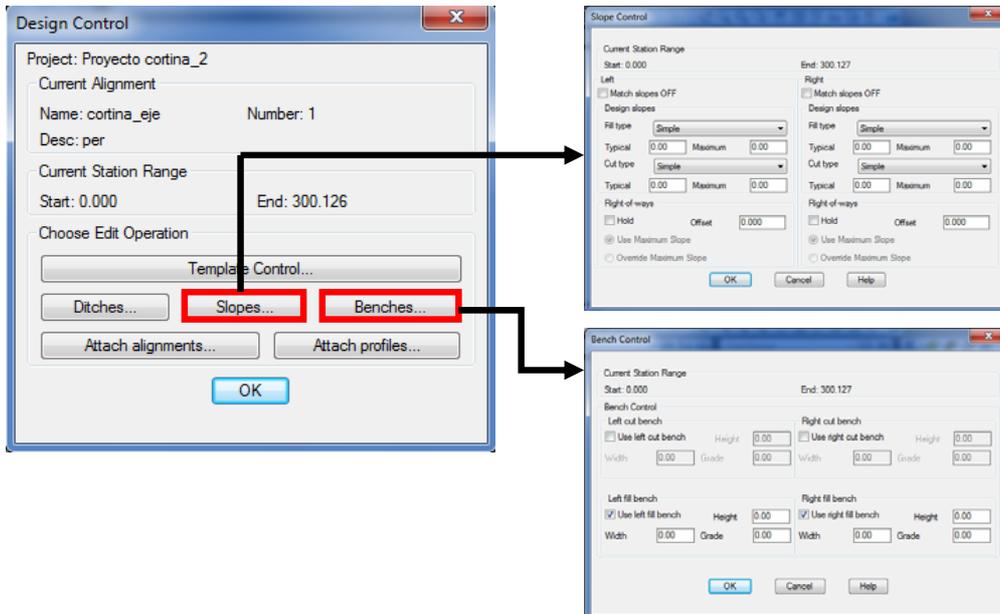


Figura 2.39 Creación de los taludes y las bermas para el diseño de la cortina.

### 2.6.11 Visualización/Edición de las secciones transversales

Para la visualización y modificación de las secciones transversales se ejecuta el comando View/Edit Sections: (ver Figura 2.40)

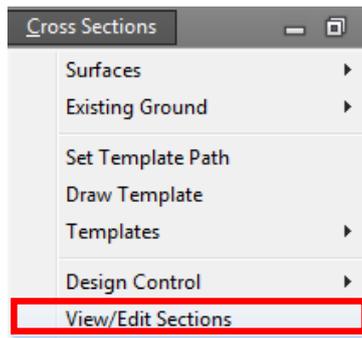


Figura 2.40 Visualización de las secciones transversales de la cortina.

### 2.6.12 Creación de la tabla de volúmenes de movimiento de tierras

Finalmente, los volúmenes se obtienen a través del comando Volume table del submenú Volume output: (ver Figura 2.41)

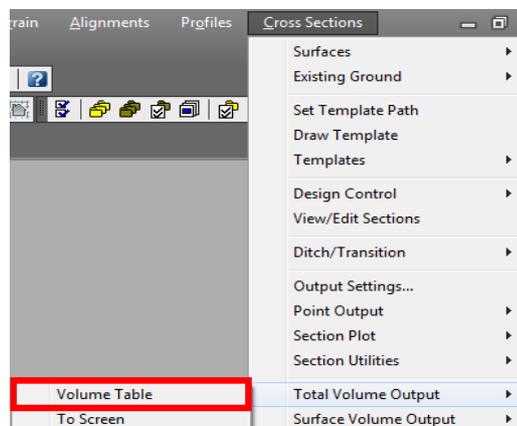


Figura 2.41 Creación de la tabla de los volúmenes de movimiento de tierra en la cortina.

### **Conclusiones parciales**

Tras analizar las potencialidades del AutoCAD Land con vista a su aplicación en los proyectos de presas de tierra se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Se puede aplicar el software en la confección de modelos digitales de terrenos como salida a los estudios topográficos de proyectos de presas de tierra.
2. Es posible la aplicación del AutoCAD Land en la obtención de las curvas de caudales acumulados y áreas inundadas versus elevación de la cortina propuesta.
3. Se demostró que es factible aplicar el AutoCAD Land en el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra de cortinas de presas de tierra.

**Capítulo III. Aplicación de las  
secuencias propuestas en un caso de  
estudio.**

## **Capítulo III. Aplicación de las secuencias propuestas en un caso de estudio.**

### **3.1 Introducción**

Como se manifiesta en el capítulo anterior, el software AutoCAD Land puede ser aplicado en los proyectos de presas de tierra en la resolución de tres tareas fundamentales:

1. Confección del Modelo Digital del terreno.
2. Obtención de las curvas de caudales acumulados y áreas inundadas versus elevación de la cortina de la presa.
3. Cálculo de volúmenes de movimiento de tierra de la cortina de la presa.

Con el objetivo de ejemplificar estas aplicaciones y comparar los resultados con los obtenidos según el esquema general de proyecto de la empresa RAUDAL-Holguín, se trabajó en la resolución de un caso de estudio (presa Levisa) tal como se muestra en los siguientes epígrafes.

### **3.2 Confección del Modelo Digital del Terreno**

#### **3.2.1 Creación y configuración del proyecto Land**

En el programa AutoCAD Land Desktop, se comenzó el trabajo con la creación del proyecto, definiendo su nombre como: **Proyecto Vaso\_2** y basando sus configuraciones en el prototipo Default Meters.

Una vez creado el proyecto, se incorpora a este el fichero de dibujo de AutoCAD con la información topográfica (**Vaso\_2**) y en él se trabajó con las configuraciones establecidas en el perfil: m1000.set. Seguidamente, se cargó el módulo Survey, donde se encuentran disponibles las herramientas necesarias para desarrollar los trabajos topográficos.

#### **3.2.2 Trabajos preparatorios**

Para comenzar el trabajo, se tomó como punto de partida la información topográfica del área donde se emplazará la obra suministrada por el grupo empresarial

GEOCUBA en la etapa de ideas conceptuales del proyecto. La misma contiene la información del relieve mediante piquetes y curvas de nivel.

Para poder procesar estos datos en el software AutoCAD Land fue necesario realizar las siguientes operaciones:

1. Crear y agrupar los puntos COGO a partir de la información de los piquetes (\*.txt). (Ver Figura 3.3.1)
2. Comprobar las alturas de las polilíneas que representan las curvas de nivel. (Ver Figura 3.3.2)
3. Trazar las polilíneas 3D que representan los quiebres del terreno, la hidrografía y la frontera o límite del área. (Ver Figura 3.3.3)

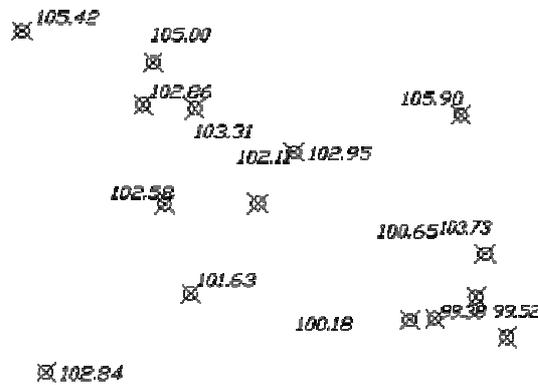


Figura 3.1 Puntos COGO.

Fuente: Elaboración propia.

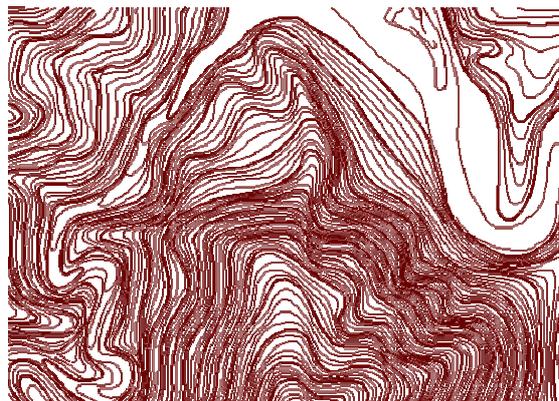


Figura 3.2 Curvas de nivel.

Fuente: Elaboración propia.

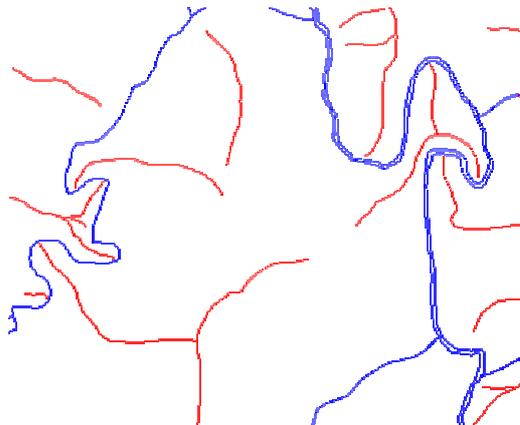


Figura 3.3 Polilíneas 3D trazadas para representar las líneas de quiebres (En azul aparecen las vaguadas y en rojo los partidosres).

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Creación de la estructura de la superficie

En el espacio de trabajo Terrain Model Explorer del AutoCAD Land se creó una nueva superficie de terreno y se le asignó como nombre: **Terreno Natural**.

### 3.2.4 Introducción de los datos del terreno a la superficie

Una vez creada la superficie, **-Terreno Natural-**, se procede a introducir los datos del terreno, los cuales podrían tener diversas fuentes de origen, (desde archivos externos de puntos con coordenadas x,y,z hasta archivos con curvas de nivel), tal como se plantea en el epígrafe 2.4.2 del capítulo anterior ; en el caso que corresponde se introdujeron los datos a partir de las curvas de nivel (contours) ,extraídas de las hojas 1:10 000 ,pertenecientes a la zona de estudio y un fichero externo de puntos (point files) ,generado por una estación total con coordenadas x,y,z.

#### Introducción de grupos de puntos

Con el objetivo de manejar y procesar la información por accidentes topográficos o futuros elementos constructivos, se crean los diferentes grupos de puntos a partir de los datos del terreno, especificando en este caso el fichero externo de puntos con extensión (txt) el cual obedece al nombre **Piquetes**,(ver Figura 3.4).

### Introducción de datos a partir de curvas de nivel

La zona en estudio escogida para la ejecución de la Presa Levisa, comprende 4 trapecios a escala 1:10 000, de los cuales se extrajeron las curvas de nivel, quienes en su composición presentaban (curvas índices, principal y complementarias), para adicionarlas a la superficie **Terreno Natural**, fue necesario observar nuevamente la secuencia de pasos mostrada en el epígrafe antes mencionado del anterior capítulo.

### Introducción de las líneas de quiebre

Aunque existen varias formas de definir líneas de quiebre, en este trabajo se hizo a partir de las polilíneas 3D trazadas en los trabajos preparatorios. Como resultado se obtuvieron 8142 quiebres (ver Figura 3.3.4) para un total de 16284 puntos pertenecientes a ellos. (Ver anexo III en soporte digital).

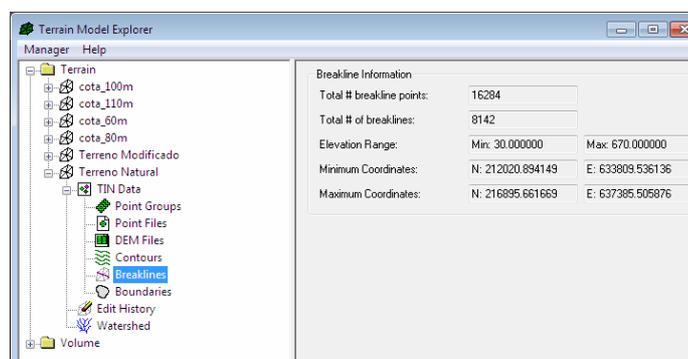


Figura 3.4 Panel estadístico con resultados de la definición de las líneas de quiebre del terreno natural.

### Introducción de las fronteras

La frontera (Boundaries) fue definida a partir de la polilínea 3D dibujada en los trabajos preparatorios con la finalidad de delimitar el área objeto de estudio, por lo que se está en presencia de un límite del tipo Outer que, además, puede establecerse como una línea de quiebre ya que los vértices tienen asignados valores de altura.

#### 3.2.5 Construcción de la superficie

El modelo digital del terreno está concebido a partir de: 135 puntos, 152180 curvas de nivel y los 16284 segmentos de quiebres de accidentes hidrográficos y partidores del terreno. También cuenta con un área aproximada de 20 Km<sup>2</sup> en su totalidad, la mínima elevación es de 30m y la máxima elevación es 670m, la mínima coordenada

por N: 212017.428081, E: 633809.536136 y la máxima coordenada por E: 216897.264558, E: 637387.703278.

Luego de ser creada la superficie original, se procede a la construcción de las curvas de nivel que estarán a intervalos de 5m por la escala del mapa, después de haber realizado este paso se determinó que el modelo no tenía que ser editado ya que coincidían las curvas de nivel generadas por el Auto CAD Land con las tomadas como datos iniciales.

### **3.3 Proceso de obtención de los valores de área de inundación y capacidad del embalse**

Este proceso se realizará siguiendo la metodología descrita en el acápite 2.5 del capítulo II.

**La secuencia de trabajo se describe a continuación:**

1. Trazado de una línea de referencia para el dique de la presa.

Esta línea que representa el eje de la cortina fue extraída del proyecto de diseño de presa de la empresa Raudal- Holguín. Se parte de situar la posición y longitud de la misma. La misma se encuentra en el fichero de extensión (\*.dwg) ubicado en la carpeta anexo D\_III/Cortina de la presa/ BREAKLINES\_CORTINA.

2. Trazado del contorno y el límite del nivel de referencia.

La creación del nivel de sedimentos parte de una curva de nivel que se encontrará a una altura de 60m. Esta curva será cortada por el eje de la cortina propuesta creando así una sola polilínea entre este eje y la curva, que estará ubicada en la capa (Cota 60m), a una altura similar al valor de cota especificado en el nombre de la capa.

Luego se traza una línea desplazada hacia afuera de esta última entidad gráfica a una distancia de 0.01 unidades, la cual representará en el futuro el límite de la superficie –tipo TERRAIN- de nivel de azolves.

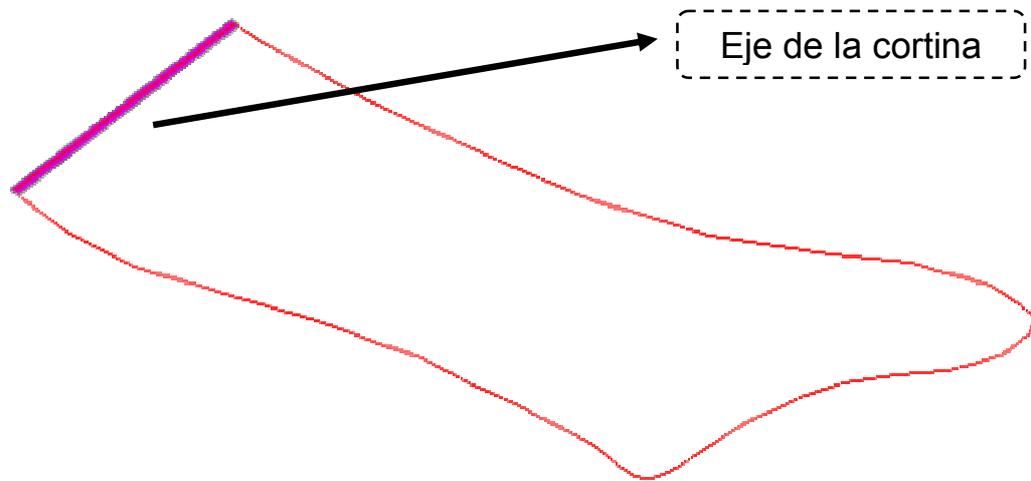


Figura 3.5. Curva que representa el nivel de azolves.

Fuente: Elaboración propia

3. Configuración de los parámetros del perfil.

Se siguen exactamente los mismos pasos que se describen en el capítulo II.

4. Crear el objeto de nivelación que se usará para modelar la superficie de azolves.

Se construye un objeto Grading, partiendo de la polilínea anteriormente definida en la capa Nivel 60m, y seleccionando que los taludes se derramarán hacia el exterior. El nombre asignado a este objeto será ALTURA 60m.

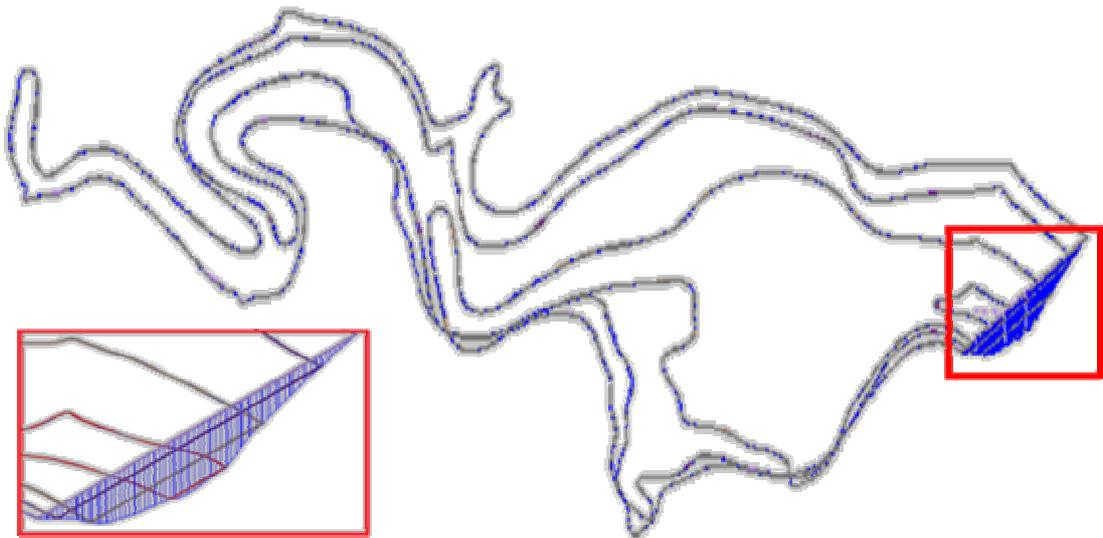


Figura 3.6. Curvas que representan la aplicación del objeto Grading.

Fuente: Elaboración propia

5. Crear el modelo digital de elevaciones correspondiente a la superficie de azolves.

Con este objeto se conforma una superficie –tipo TERRAIN- que posee las siguientes características, 656 segmentos de tipo quiebres, 38 segmentos que representa los límites y cuenta con una mínima elevación de 56.16m y como máxima 60m para el nivel de azolves.

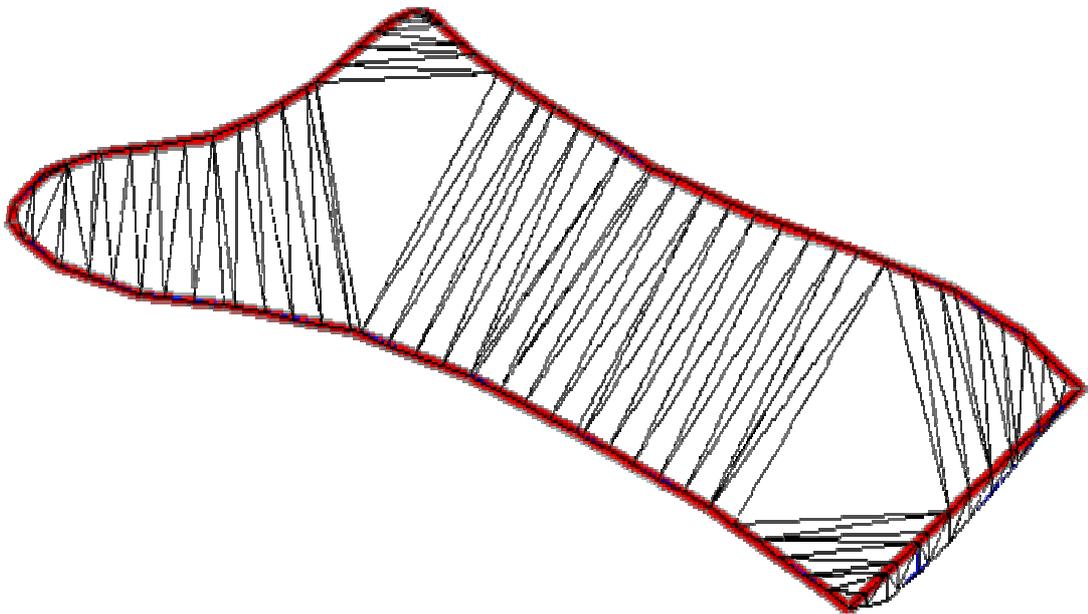


Figura 3.7. Modelo de la superficie de azolves.

Fuente: Elaboración propia.

6. Definir el objeto estrato entre el modelo digital de elevaciones correspondiente a la superficie de azolves y el modelo digital correspondiente al terreno natural.

Se definió un estrato con nombre: **Cota\_60m**, el cual está compuesto por la superficie 1: Terreno Natural (Terrain surface) y la superficie 2: Cota\_60m (Terrain surface)

7. Definir el objeto sitio correspondiente a la zona de análisis.

El sitio –con nombre Sitio N– se definió como un área rectangular sin giro, que contiene el espacio ocupado por el nivel de azolves. Las rejillas se establecieron cada 1m en dirección longitudinal y transversal. Los parámetros

de este sitio se encuentran en el fichero: Anexos D\_III / Cortina de la presa / Sitio N.txt.

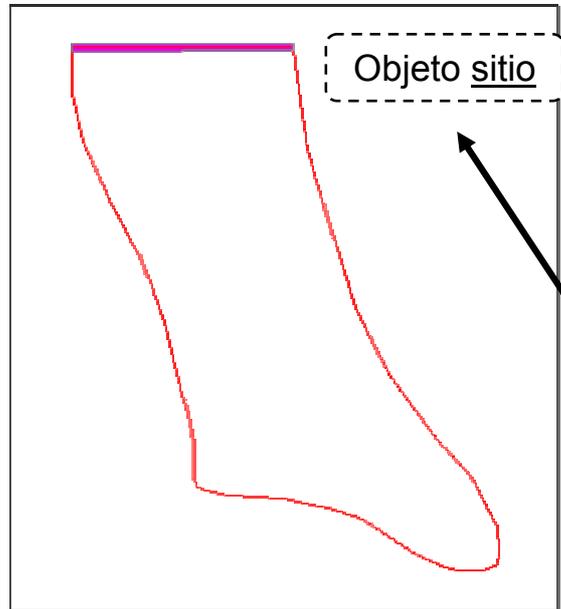


Figura 3.8. Definición del sitio para el cálculo de los volúmenes.

Fuente: Elaboración propia

**8.** Calcular el volumen de azolves.

El volumen de azolves se determinó con el comando de cálculo de volumen total definido por el Sitio N, el estrato: Cota\_60m y los resultados fueron salvados en una superficie volumétrica, nombrada: Cota\_60m. Las características de esta superficie son: cantidad de puntos 7927, la mínima elevación es de 0.00m y la máxima elevación de 3.81m, las coordenadas mínimas por N: 215617.536, E: 635283.183 y la coordenada máxima por N: 215807.536, E: 635426.183.

**9.** Definir el modelo del terreno modificado por la presencia de azolves.

Se parte de realizar copias de las superficies tipo Terrain: Terreno natural y Cota\_60m. El objetivo es preservar los modelos originales. Luego la copia de la superficie del Terreno natural se renombra como Terreno modificado y se pone en estado vigente. A esta superficie se le “pega” el modelo que representa la copia de la superficie Cota\_60m.

El proceso se repite desde el paso número 2 hasta el paso número 8 con las siguientes peculiaridades:

Paso 2: Se trazan curvas de nivel que representen los diferentes niveles de agua que considerarán hasta el nivel de aguas máximas. En este caso se analizaron: 80m, 100m y 110m.

Paso 3: La superficie sobre la que se asentará el nivel de agua especificado cambia ahora a Terreno modificado.

Paso 4: Se definen tres objetos Grading, correspondientes con los niveles especificados en el Paso 2.

Paso 5: Se crean tres superficies de terreno, a partir de los objetos Grading, definidos anteriormente además de los tres límites, que deben haber sido dibujados en el Paso 2. Estas superficies se nombran: Cota\_80m, Cota\_100m, Cota\_110m, con las siguientes características:

- Superficie Cota\_80m: Contiene 1726 puntos, 5252 segmentos de quiebres de accidentes hidrográficos y partidores del terreno y 281 segmentos de límite. La mínima elevación 60m y la máxima elevación 80m.
- Superficie Cota\_100m: Contiene 2667 puntos, 7622 segmentos de quiebres de accidentes hidrográficos y partidores del terreno y 338 segmentos de límite. La mínima elevación 60m y la máxima elevación 100m.
- Superficie Cota\_110m: Contiene 3499 puntos, 10535 segmentos de quiebres de accidentes hidrográficos y partidores del terreno y 526 segmentos de límite. La mínima elevación 60m y la máxima elevación 110m.

Paso 6. Se definen tres estratos con las siguientes características:

- Se definió un estrato con nombre: **Cota\_80m**, el cual está compuesto por la superficie 1: Terreno modificado (Terrain surface) y la superficie 2: Cota\_80m (Terrain surface).
- Se definió un estrato con nombre: **Cota\_100m**, el cual está compuesto por la superficie 1: Terreno modificado (Terrain surface) y la superficie 2: Cota\_100m (Terrain surface).

- Se definió un estrato con nombre: **Cota\_110m**, el cual está compuesto por la superficie 1: Terreno modificado (Terrain surface) y la superficie 2: Cota\_110m (Terrain surface).

Paso 7. Se utilizó el mismo sitio definido anteriormente.

Paso 8. El volumen de agua acumulada se determinó con el comando de cálculo de volumen total definido por el Sitio N, y sucesivamente para los estratos: Cota\_80m, Cota\_100m y Cota\_110m y los resultados fueron salvados en tres superficies volumétricas, nombradas:

- Altura\_80m. Las características de esta superficie son: Volumen en metros cúbicos 66249.156 de relleno y 29939.565 de excavación, 269530 puntos de rejilla.
- Altura\_100m. Las características de esta superficie son: Volumen en metros cúbicos 335612.886 de relleno y 6873.637 de excavación, 533017 puntos de rejilla.
- Altura\_110m. Las características de esta superficie son: Volumen en metros cúbicos 560779.097 de relleno y 2802.479 de excavación, 719302 puntos de rejilla.

Luego de culminar este proceso, los resultados del área inundada y los volúmenes de agua acumulados se pueden procesar en la herramienta MS Excel, y el resultado se muestra a continuación (ver tabla 3.1):

Tabla 3.1. Volúmenes acumulados versus área inundada.

No	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen(Hm <sup>3</sup> )
1	60	7931,364	396,00	0,000396
2	80	268589,908	66249,16	0,06624916
3	100	532946,140	335612,87	0,33561287
4	110	719317,810	560779,10	0,5607791

Con estos resultados se plotea la gráfica para la determinación de la curva de área (m<sup>2</sup>) Vs capacidad (Hm<sup>3</sup>) (ver figura 3.9).

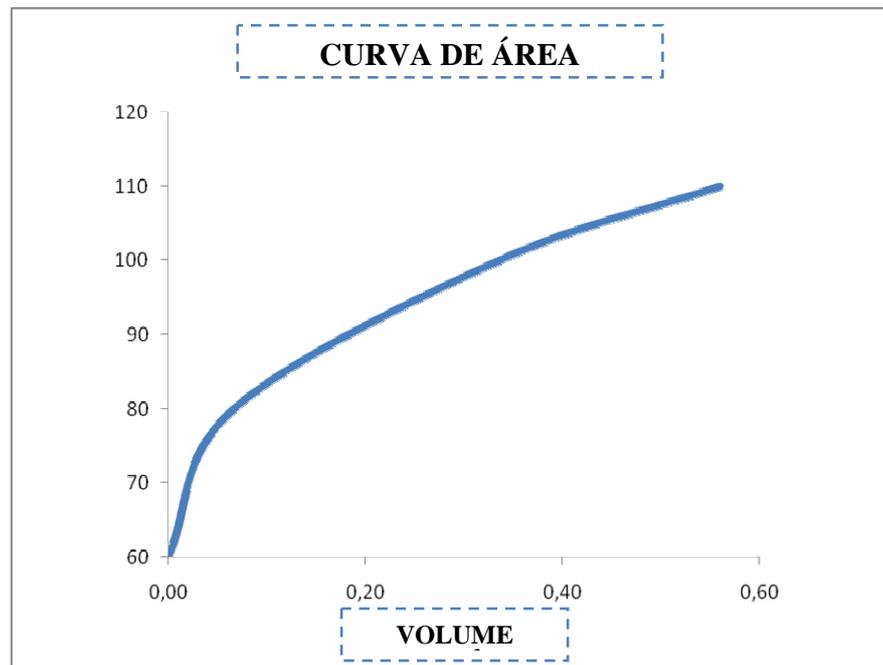


Figura 3.9. Gráfico para la determinación de la curva de área ( $m^2$ ) Vs capacidad ( $Hm^3$ ).

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Determinación de los perfiles y secciones transversales de la cortina de la presa y el cálculo de los volúmenes de tierra

Este proceso se realizará siguiendo la metodología descrita en acápite 2.6 del capítulo II.

#### La secuencia de trabajo:

1. Trazar la polilínea o línea del eje en planta de la cortina

Se trazó una polilínea que representa el eje de la cortina, la misma tendrá una longitud de 269.79m que interceptará la curva de nivel que se encuentra a una altura de 101m siendo esta la misma que la de la corona, que se establece en la capa EJE DE CORTINA, ubicado dentro del proyecto.



Figura 3.10. Polilínea que representa el eje de la cortina.

**Fuente:** Elaboración propia.

**2.** Definir el objeto alineación horizontal

Se siguen exactamente los mismos pasos que se describen en el capítulo II epígrafe 2.6.1. En este punto de definición del objeto, se tuvo en cuenta algunos parámetros como fueron: Nombre de la alineación que fue corona\_2, descripción y la estación de donde se partiría la misma.

**3.** Definir el perfil del terreno

a. Configuración de los parámetros del perfil

En la ventana Profiles / Profiles Settings / EG Layers (Capa del terreno), se incluyen como datos el nombre que tendrá la capa de terreno, los textos y la base del perfil.

La configuración de las capas, queda del modo siguiente:



Figura 3.11. Ventana de configuración de las capas del terreno.

**Fuente:** Elaboración propia.

Utilizando el mismo comando Profiles / Porfiles Settings / FG Layers (Capa de la rasante), se incluyen los datos de capa de la rasante y los textos.

Quedando la configuración de las capas como sigue:

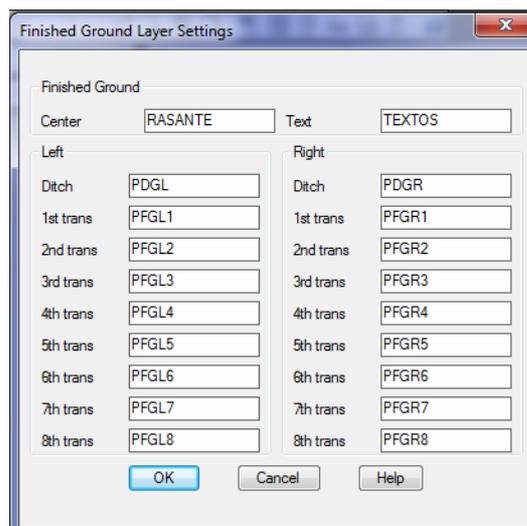


Figura 3.12. Ventana de configuración de las capas de la rasante.

**Fuente:** Elaboración propia.

b. Crear el fichero de intersección entre el terreno y el eje de la cortina

La creación del fichero de intersección se describe exactamente como se encuentra en el capítulo II, epígrafe 2.6.3.2.

c. Dibujar el perfil

El dibujo del perfil se realiza con el comando Create profile/ Full profile, se establece la estación inicial (0+000) hasta la estación final (0+269), la escala horizontal 1:1000 y la vertical 1:200, también se importa la rejilla para mejor visualización del perfil.

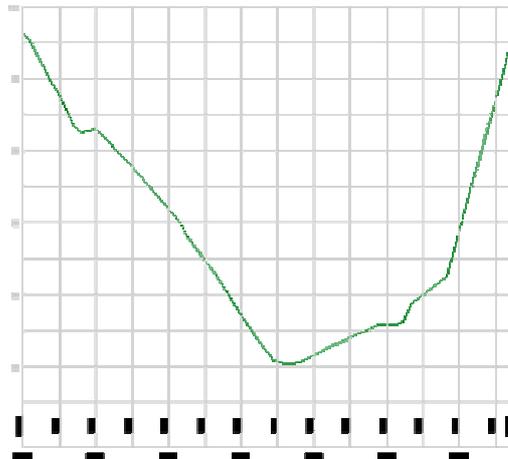


Figura 3.13. Gráfico del perfil Longitudinal del eje de la cortina.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Activar la capa en la que se trazará la rasante

Se activó la capa donde se creará la rasante. Esta lleva el nombre: RASANTE

### 3.5 Trazar el perfil de la rasante

Luego se define la rasante que partirá de la estación (0+000) hasta la estación (0+269), como una línea horizontal, de color rojo en la capa RASANTE.

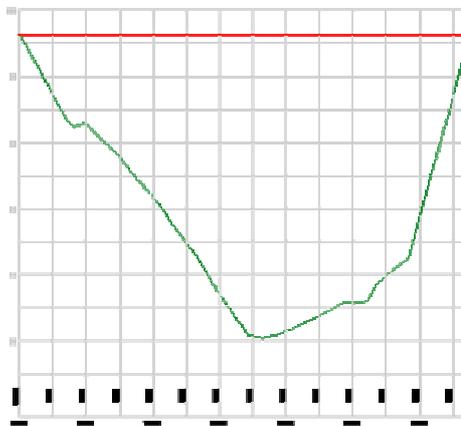


Figura 3.14. Gráfico del perfil Longitudinal del eje de la cortina y la rasante.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Definir el objeto alineación vertical

Se seleccionó la línea de la rasante lo más cercana al inicio, para definir el objeto alineación vertical.



Figura 3.15. Objeto alineación vertical.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Dibujar la plantilla de la sección transversal

Se creó una plantilla que se utilizó para diseñar la corona de la cortina, con un ancho de 10m.



Figura 3.16 Plantilla de la sección transversal.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8 Definir la plantilla

La plantilla se definió con el comando especificado en el capítulo II epígrafe II.4.7 donde se seleccionó el tipo de material utilizado en la corona de la cortina. La plantilla lleva como nombre: Cortina.

### 3.9 Definir los taludes, bermas

Se definió como relación de talud para el lado izquierdo, 1:1.4 y para el lado derecho 1:1.8, el rango de estaciones fue desde (0+000) hasta la estación (0+269). Se utilizó en todos los casos el modo Simple.

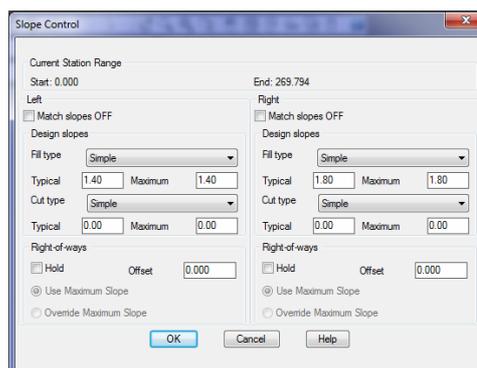


Figura 3.17 Ventana de datos del talud.

Fuente: Elaboración propia.

Para las bermas se tomaron del lado izquierdo los valores de altura 28m y ancho de bermas 5m, para el lado derecho alturas de 17m y ancho de las bermas 6m.

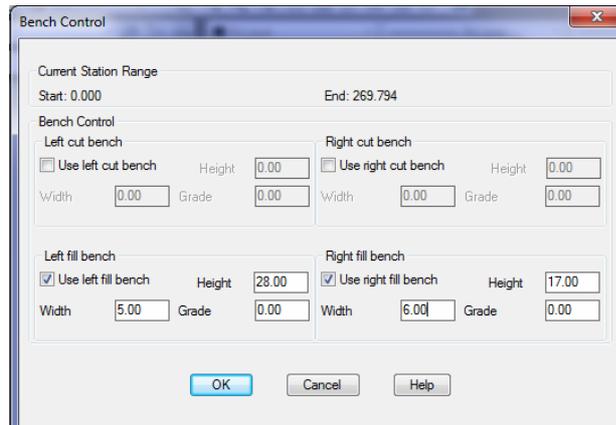


Figura 3.18 Ventana de datos de la berma.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10 Visualización de las secciones

Para la visualización de las secciones transversales en la cortina de la presa, se procedió como mismo está explicado en el capítulo II epígrafe II.4.9.

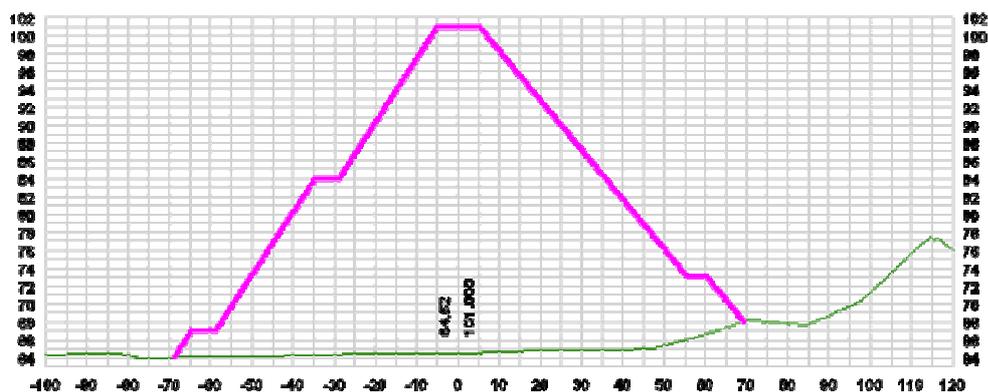


Figura 3.19 Visualización de una sección transversal.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11 Creación de la tabla de Volúmenes

Para la creación de la tabla de volúmenes, se determinó el rango de estaciones en que se calcularían estos. Este rango se estableció entre la estación (0+000) y la estación (0+269.793). El volumen total acumulado es 349543 metros cúbicos.

STACION	ÁREAS		VOLÚMEN		COMPLETOS VOLÚMEN	
	Square Metros		Cubo Metros		Cubo Metros	
	COF	POS	COF	POS	COF	POS
0+000	1.163	1.363	5.013	283.481	5.013	283.481
0+010	5.000	51.328	0.000	1027.717	5.013	1209.178
0+020	5.000	134.214	0.000	2125.220	5.013	3445.398
0+030	5.000	270.880	0.000	2971.394	5.013	6397.192
0+040	5.000	373.448	0.000	3703.988	5.013	10091.988
0+050	5.000	447.384	0.000	4725.890	5.013	14820.008
0+060	5.000	525.436	0.000	5968.177	5.013	20788.786
0+070	5.000	645.210	0.000	7414.881	5.013	28203.470
0+080	5.000	817.728	0.000	9275.584	5.013	37178.060
0+090	5.000	977.988	0.000	11611.867	5.013	48190.028
0+100	5.000	1124.928	0.000	13709.700	5.013	61900.327
0+110	5.000	1267.915	0.000	16818.730	5.013	78717.057
0+120	5.000	1408.331	0.000	20957.768	5.013	98324.837
0+130	5.000	2275.222	0.000	24487.035	5.013	123791.858
0+140	5.000	2818.183	0.000	26363.005	5.013	150154.362
0+150	5.000	2654.415	0.000	25982.953	5.013	176047.026
0+160	5.000	2324.088	0.000	24431.748	5.013	200478.766
0+170	5.000	2262.333	0.000	23912.083	5.013	223490.848
0+180	5.000	2240.083	0.000	21982.615	5.013	245493.484
0+190	5.000	2158.440	0.000	21262.334	5.013	266738.788
0+200	5.000	2092.027	0.000	20382.528	5.013	287183.204
0+210	5.000	1984.476	0.000	18717.881	5.013	306706.258
0+220	5.000	1769.114	0.000	18950.813	5.013	322987.198
0+230	5.000	1681.065	0.000	13503.615	5.013	336511.013
0+240	5.000	1133.894	0.000	8378.431	5.013	344888.444
0+250	5.000	581.983	0.000	3724.881	5.013	348894.325
0+260	5.000	182.887	0.181	829.888	6.104	349543.433
0+268.793	0.039	6.762	0.000	6.090	6.104	349543.433

Figura 3.20. Tabla de volúmenes en metros cúbicos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Resultados

El caso de estudio perteneciente al proyecto de la presa Levisa, se resolvió considerando que la cortina era de un material homogéneo. Se debe de añadir que se tuvieron en cuenta el proceso constructivo de las cuatros bermas (ver figura 3.18) y el diseño geométrico de cada uno de ellas, continuando con la determinación del volumen de movimiento de tierra generado (ver tabla 3.2), y luego, con la definición de la superficie de terreno modificada por cada berma (ver figuras 3.22 a 3.25). Los resultados de este proceso se esquematizan a continuación.

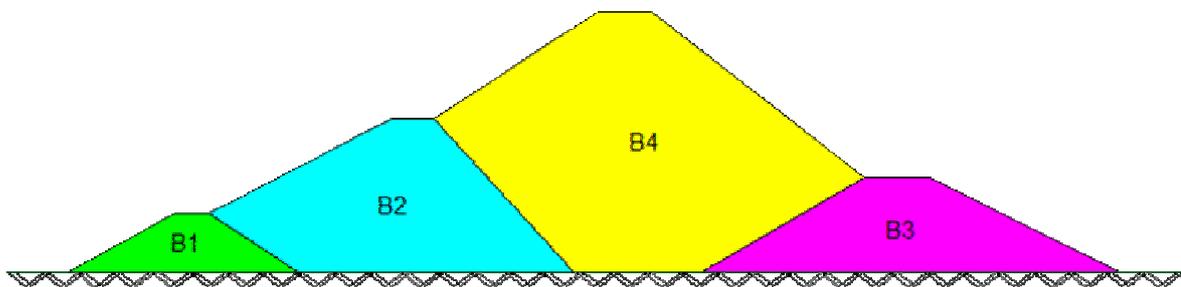


Figura 3.21. Esquema de las Bermas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Volúmenes de movimientos de tierra por bermas.

Bermas	Volúmenes Totales (m3)
B1	840
B2	61331
B3	8351
B4	278438
V_Total	348960

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.22. Vista en Isométrico de la berma 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.23. Vista en Isométrico de la berma 1 y 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

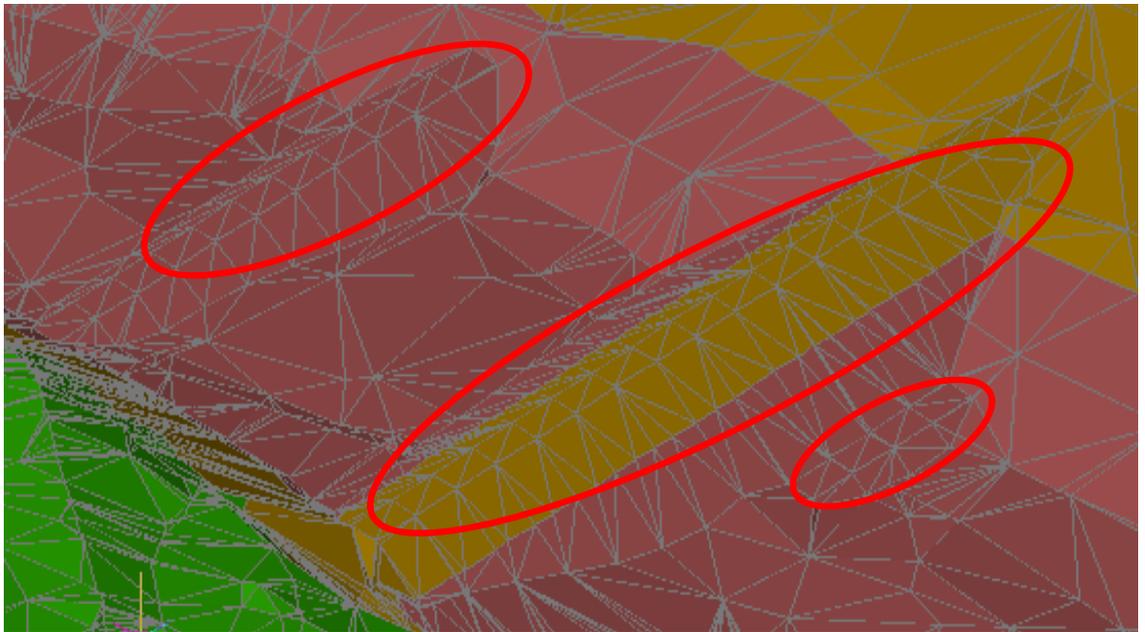


Figura 3.24. Vista en Isométrico de la berma 1,2 y 3.

**Fuente:** Elaboración propia.

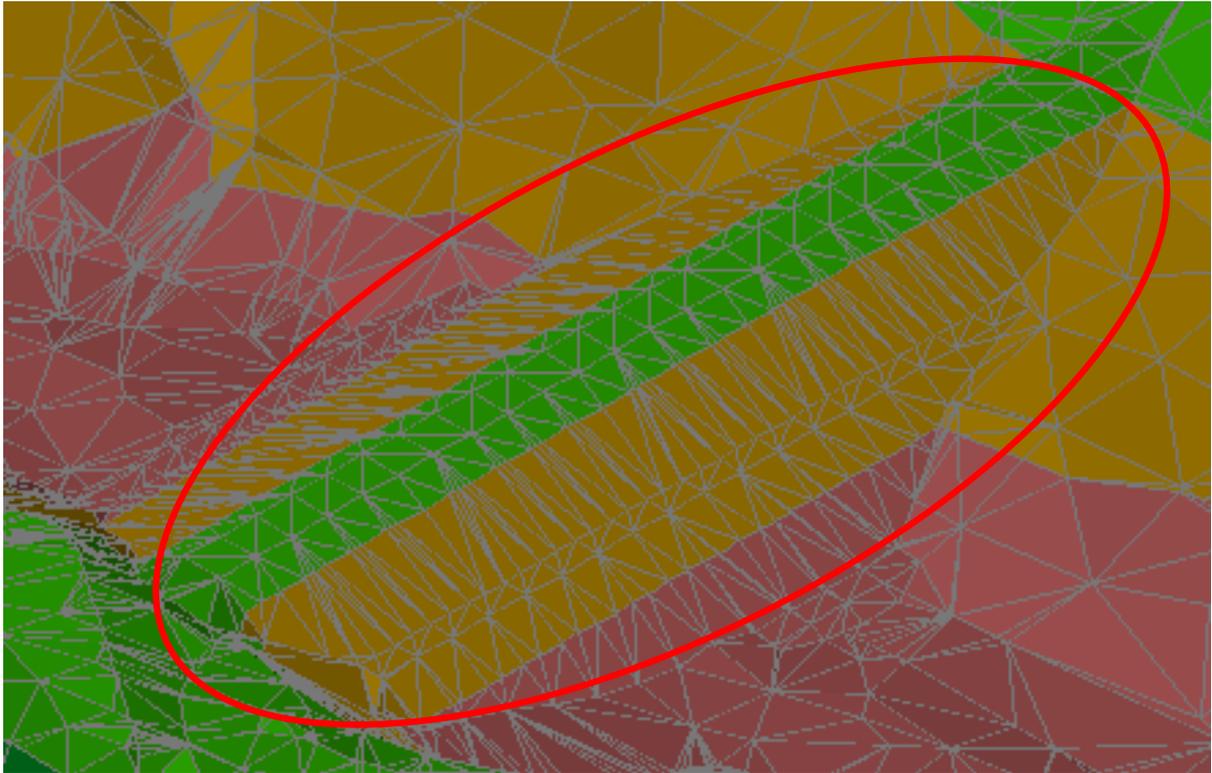


Figura 3.25. Vista en Isométrico del diseño total de la cortina con cada una de las bermas.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.6 Impacto Económico Social**

Con la aplicación del software Acad Land Development Desktop a proyectos de presas de tierra en la empresa Raudal, se pone de manifiesto el exitoso avance en la gestión de la innovación tecnológica alcanzado por la entidad, al constituir un aporte importante y una herramienta de amplia aplicación para las empresas de esta rama, a la vez que permite aprovechar de forma racional los recursos intelectuales y computacionales, logrando un producto con mayor calidad y precisión, además de repercutir sensiblemente en ahorro de tiempo por sintetizarse en una sola herramienta módulos de diseño y modelos digitales del terreno, siendo necesario destacar la reducción del tiempo en las actividades como sigue:

- Elaboración de la curva A (m<sup>2</sup>) vs H (m),-niveles de agua-, aproximadamente 10 días.
- Diseño geométrico de la cortina, aproximadamente 5 días.
- Determinación de los volúmenes de movimiento de tierra, aproximadamente 5 días.

### **Conclusiones parciales**

Se ilustraron las bondades de la aplicación del AutoCAD Land en proyectos de presas de tierra mediante la obtención del modelo digital del terreno natural, los niveles de azolves, el diseño geométrico de la cortina y los volúmenes de movimientos de tierra de la presa Levisa.

## **CONCLUSIONES**

1. Se logró analizar el estado del arte mediante una basta revisión bibliográfica, el estudio de los antecedentes y la caracterización de los procesos de diseño en la empresa Raudal-Holguín, arrojando como resultado la identificación de las limitaciones del esquema de proyecto que podían ser mejoradas con la aplicación del AutoCAD Land.
2. Se proponen secuencias de trabajo para la aplicación del AutoCAD Land en proyectos de presas de tierra mediante la obtención del modelo digital del terreno, los niveles de azolves, el diseño geométrico de la cortina y los volúmenes de movimientos de tierra.
3. Se ilustraron las secuencias propuestas mediante la proyección de la presa “Levisa” con el AutoCAD Land.

## **RECOMENDACIONES**

1. Implementar los resultados de esta investigación en los proyectos de presas de tierra.
2. Continuar con el estudio para su aplicación en otras tipologías de cortinas y presas.
3. Extender la investigación a otras aplicaciones del software afines con la ingeniería hidráulica como son el cálculo de cuencas y el análisis del escurrimiento superficial.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

1. Álvarez González, Aniel. "Modelación de la rotura de la presa Melones", Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Raudal .2008. pdf.
2. BRUNNER, G. W. 2002. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Versión 3.1,
3. .Felicísimo, Angel M. Modelos Digitales de Terrenos. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. pdf. Asentado en la Biblioteca digital de la carrera de ingeniería civil de la UHo.
4. Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. Ideas conceptuales para una presa.2007. pdf.
5. Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. Ingeniería Básica para una presa.2007. pdf.
6. Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. Ingeniería de Detalles para una presa.2007. pdf.
7. Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. Proyecto Técnico Ejecutivo para una presa.2007. pdf.
8. Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. Proyecto Técnico Ejecutivo para una presa.2007.pdf.
9. Hoyo Adrián, López Leryana, Romero Marivy. Tesis. Presas. Mérida, 2010. pdf. Asentado en la Biblioteca digital de la carrera de ingeniería civil de la UHo.
10. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Davis, California U.S.A. 2002.
11. USACE, Hydrologic Engineering Center, 1997 UNET, "One Dimensional Unsteady flow through a full network of open channels", User's Manual, Davis, Ca., Technical Reference Manual, march 2000. [www.usace.army.mil](http://www.usace.army.mil) USACE, Hydrologic Engineering Center, 2000, "Hydrologic Modeling System HEC-HMS".

### Recursos Documentales on line:

1. Autodesk Survey.

Disponible en <http://www.puntocad.com/descripcion/landesktop.htm>

Consultado Marzo 25,2011

2. Autodesk Land desktop Tutorial The Basics of Creating Terrain Models.

Disponible en [http://www.caddigest.com/subject/adsk land/select/081004 morse terrain models.htm](http://www.caddigest.com/subject/adsk%20land/select/081004%20morse%20terrain%20models.htm)

Consultado Mayo 13,2011

3. Manual de AutoCAD Land.

Disponible en <http://www.manualespdf.es/manual-autodesk-land-desktop-2/>

Consultado Febrero 22,2011

4. Manual Land Developer R3.

Disponible en <http://www.manualespdf.es>

Consultado Junio 16,2011