



INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALÚRGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

*Tesis de*  
*Topografía Minera*

**Tema:** Aplicación del AutoCAD LAND a proyectos de presas.

**Título:** Aplicación del AutoCAD LAND a proyectos de presas de  
pantalla impermeable

**Autor:** Ing. José Manuel Falcón Pérez

**Tutores:** Dr.C. Orlando Belete Fuentes.

M.Sc. Arnaldo Bárbaro Cabrera Murrel



**Moa, Septiembre 2015**

- *Usted puede convencerme de que estoy equivocado, pero no puede decirme que estoy equivocado sin antes convencerme.*



*Fidel Castro Ruz*

## *Dedicatoria*

- *A mi abuelo porque siempre ha sido mi mayor inspiración.*
- *A mi mamá y a mi papá.*
- *A mi bebé y a mi esposa.*

# *Agradecimientos*

- *A mis padres por su apoyo y confianza en mí durante toda la vida.*
- *A mi esposa por estar siempre a mi lado en las buenas y malas.*
- *La Revolución y a Fidel, por darme la posibilidad de mi preparación como profesional e investigador.*

## **RESUMEN**

El presente reporte de investigación está referido a los resultados de un estudio realizado sobre los procesos de diseño de presas de pantalla impermeable 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 Geocuba Oriente Noerte 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.

## **INDICE**

### **INTRODUCCIÓN**

1. Capítulo I. Estudio del estado del arte.
  - 1.1. Introducción
  - 1.2. Generalidades sobre las presas de materiales sueltos
    - 1.2.1. Evolución de las presas de materiales sueltos
    - 1.2.2. Tipologías de presas de pantalla impermeable
    - 1.2.3. Concepción general de los proyectos de presas de pantalla impermeable
  - 1.3. Antecedentes
  - 1.4. Procedimiento existente en RAUDAL para el diseño de presas de pantalla impermeable
    - 1.4.1. Alcance de la Etapa de Ideas Conceptuales para el diseño de Presas
    - 1.4.2. Alcance de la etapa de Proyecto técnico o ingeniería básica y de detalles
    - 1.4.3. Alcance de la etapa de Proyecto técnico ejecutivo
  - 1.5. Trabajos topográficos para la proyección de presas de pantalla impermeable en la Unidad Tránsito de la empresa Raudal -Holguín
  - 1.6. Generalidades sobre los Modelos Digitales de Terrenos (MDT)
    - 1.6.1. Introducción
    - 1.6.2. Tipos de modelos
    - 1.6.3. Definición y estructura del MDT
  - 1.7. Estimación de volúmenes de presas
    - 1.7.1. Cálculo del Movimiento de tierra en la cortina
2. Conclusiones parciales

## 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 Trasvase Este-Oeste del oriente cubano, entre ellas, las presas de pantalla impermeable , 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 pantalla impermeable , 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 pantalla impermeable.

### **Hipótesis**

La caracterización de los procesos de diseño de presas de pantalla impermeable 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 pantalla impermeable.

### **Campo de acción**

Uso del AutoCAD Land en los procesos de diseño de presas de pantalla impermeable.

### **Objetivo general**

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

### **Objetivos específicos**

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

### **Tareas de investigación**

1. Diseño metodológico de la investigación.
2. Caracterización del modo en que se realiza el proceso de diseño de presas de pantalla impermeable 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 pantalla impermeable.
5. Propuesta de las secuencias de trabajo de las distintas aplicaciones del Land en proyectos de presas de pantalla impermeable .

6. Selección de trabajos representativos de las tareas que se desarrollan en el proceso de diseño de presas de pantalla impermeable 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 pantalla impermeable.

#### Estadísticos:

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

## **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 latipología 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.

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

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 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 importante 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.

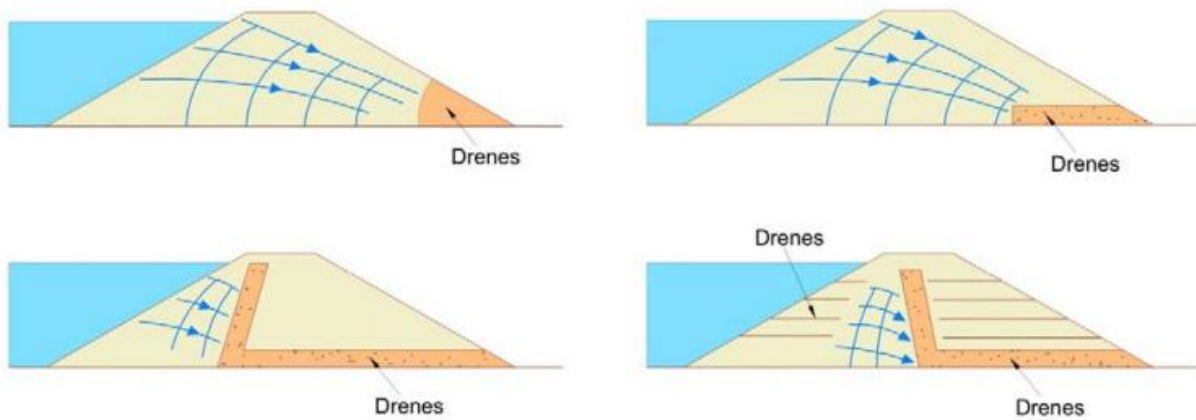


Figura 1a. Presa de sección homogénea.

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

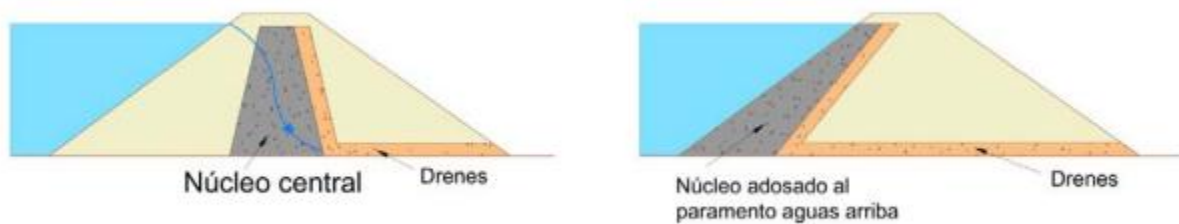


Figura 1b. Presa zonadas con núcleo impermeable de arcilla.

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).

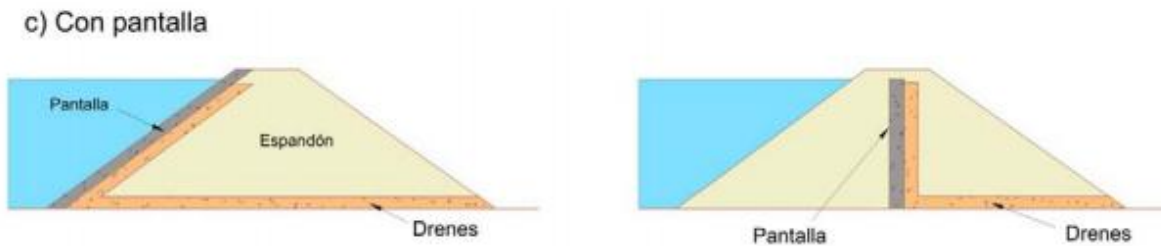


Figura 1c. Presa de pantalla.

### 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).
1. Evaluación de las condiciones naturales de la zona.
2. Objetivos a alcanzar por la obra y datos sobre los consumidores.
3. Parámetros de la regulación del escurrimiento.

- Esguerrimiento medio híper anual ( $W_0$ ).
  - 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.
4. Índices técnico económicos.
  5. Categoría de las obras principales y su argumentación.
  6. Relaciones funcionales entre las distintas obras que componen el Conjunto Hidráulico.
  7. Proposición y Fundamentación de la cortina de acuerdo a la información preliminar.
  8. Volúmenes de trabajo tentativos. Distancia de los posibles préstamos y canteras hasta la cortina. Caminos de acceso a la obra.
  9. Proposición y Fundamentación de la obra de toma e hidromecanismos. Volúmenes de trabajo tentativo.
  10. Proposición y Fundamentación de las obras de desvío. Gasto de diseño. Volúmenes de trabajo tentativos.
  11. Proposición y Fundamentación del tipo de aliviadero. Ubicación y volúmenes de trabajo tentativos.
  12. Análisis de la protección contra inundaciones a objetivos económicos y sociales aguas arriba y aguas abajo de la presa.
  13. Información general sobre afectaciones y obras inducidas.

## 14. 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 ara 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 topográfico 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 Tránsito 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 1.00 metros 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 se utiliza para representary estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.

### **Origen**

El término digital terrain model 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

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



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).

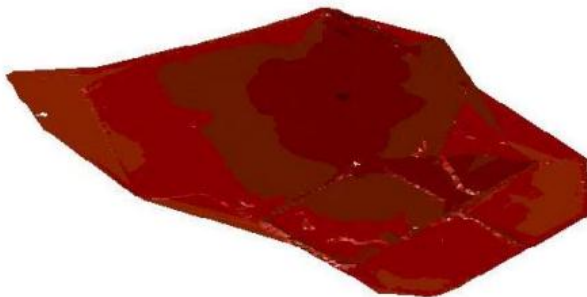


Figura 2. Modelo digital del terreno.

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 está 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  $A \text{ (m}^2\text{) VS } H \text{ (m)}$  como se recoge en la (Figura 3).

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

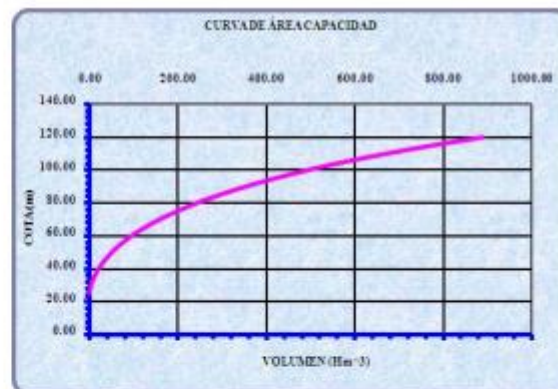


Figura 3. Curva de área capacidad.

### 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 softwareen 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.