



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA
MOA – HOLGUÍN – CUBA

Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. CP 83329. Tel. (53) (24) 60 6502 ext.33
E-mail: obelete@ismm.edu.cu

TESINA

Título: Contribuciones al Mejoramiento del Proceso de Diseño de Presas de Tierra en la UEBPI RAUDAL - Holguín, utilizando un entorno CAD Integrado.

Autor: Ing. José Ramón Zaldivar Alonso

Tutores: MSc. Antonio Luis Calaña Azcuy

Moa, Septiembre 2014



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiera sido posible sin la ayuda de mis tutores a los cuales les debo mis agradecimientos. A mis profesores que me ayudaron en todo momento incondicionalmente, a mis compañeros de grupo por todo este tiempo que pasamos juntos en especial a Roy Manuel, Reinier y Angel todo el tiempo que tuvieron que aguantarme y a los que de alguna forma me apoyaron para confección de la misma.

DEDICATORIA

Les dedico esta tesis principalmente a mi madre y a mi padre que fueron las personas que más creyeron en mí y me dieron todo su apoyo durante estos 6 años para que este trabajo fuera terminado.

También a mi esposa que de una forma u otra me ayudo en todo momento y cuando más me hacía falta.

RESUMEN

El trabajo tiene como finalidad establecer una metodología para el diseño de presas de tierra en lo relativo al diseño geométrico, determinación de los volúmenes de movimiento de tierras, así como la estimación de la capacidad de embalse, en un entorno informático apropiado que permita realizar las tareas de gabinete de un modo más eficiente en la UEBPIH Raudal-Holguín. Para su realización se utilizaron métodos documentales y entrevistas con personal empresarial para establecer el diagnóstico de la situación. Se aplicó el método sistémico estructural en la concepción de la metodología propuesta. Por último, se hizo uso del método de modelación para la solución de la estimación de los volúmenes de movimiento de tierras y de capacidad de embalse, todo ello en el entorno informático del AutoCAD Land Desktop.

SUMMARY

The research's main goal is to establish a methodology for the design of earth dams related on the geometric design, determination of the volumes of earthworks, as well as the estimate of the reservoir capacity, in a computer appropriate environment that allows to carry out the tasks of projection in a more efficient way in UEBPIH RAUDAL-Holguín. In the work documental methods and interviews were used with managerial personal to establish the diagnosis of the situation. The systemic structural method was applied in the conception of the proposed methodology. Lastly, we use the simulation method for the solution of the estimate of the volumes of earthworks and of reservoir capacity, everything it in the computer environment of AutoCAD Land Desktop.

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y CARACTERIZACIÓN DE LA PROYECCIÓN DE PRESAS DE TIERRA.	8
I.1 Generalidades.	8
I.1.1 Concepto de Presas.	8
I.1.2 Evolución de las presas de tierra.	9
I.1.3 Tipologías de presas de tierra.	9
I.2 Procedimiento General para el diseño de presas de tierra.	12
I.2.1 Procedimiento existente en RAUDAL para el diseño de presas de tierra.	14
I.3 Representación del terreno (Modelos).	18
I.3.1 Introducción.	18
I.3.2 Concepto de modelo digital del terreno.	18
I.4 Estimación de volúmenes de presas.	32
I.4.1 Cálculo del Movimiento de tierra en la cortina.	33
I.5 Conclusiones parciales.	34

INTRODUCCIÓN.

La aparición y desarrollo de la tecnología informática y satelital a mediados del siglo pasado ha revolucionado muchos procesos y técnicas, en el campo de la ingeniería, ello ha implicado cambiar algunos patrones y normas establecidas en las empresas que se dedican a labores de concepción, diseño y proyección de obras de construcción.

Estas empresas cuentan en su mayoría con tecnología informática de primer nivel, ordenadores con buenas prestaciones y programas de última generación en esta temática. Muchas de ellas disponen de equipamiento digital para la realización de los trabajos de campo.

Los software que utilizan, poseen una característica en común, son de amplio espectro y por consiguiente no responden a las particulares propias en función de las normas y patrones de proyección, detalle este que en muchos casos los hacen inoperantes o parcialmente útiles.

El tema que se aborda, pretende en primera instancia reflejar un grupo de aspectos generales sobre el proceso de diseño de presas de tierra, para luego evaluar la situación actual del modo de realización de los trabajos de proyección de estas obras hidrotécnicas en la **UEBI Raudal-Holguín** sobre el ambiente CAD que se trabaja.

Para ello, se hace una breve descripción sobre la temática relacionada con las presas, las mismas son terraplenes artificiales contruidos para permitir la contención de las aguas, su almacenamiento o su regulación. Fue la más utilizada en la antigüedad, en los siglos XIX y XX han tenido uso bastante difundido al rápido desarrollo de la técnica para trabajos con tierra y rocas, por la gran variedad de esquemas constructivos que permite utilizar prácticamente cualquier suelo que se encuentre en la zona, desde materiales de grano finos hasta suelos rocosos previamente fracturados. Además de esto, las presas de materiales sueltos tienen menos exigencias a la deformabilidad de la fundación de cualquier otro tipo de presa.

Las presas de materiales sueltos son presas que están formadas por rocas o tierras sueltas sin cementar. Para conseguir la impermeabilidad de la presa se construyen pantallas impermeables de arcilla, asfalto o algún material sintético. Se usan preferentemente cuando el sitio donde se apoya la presa no resiste las cargas que una

presa de gravedad o arco podrían aplicarle. Se suelen utilizar para aprovechar los materiales disponibles en el sitio.

Cualquier tipo de presa debe ofrecer condiciones de seguridad durante la construcción y en el transcurso de su operación. Para ello, es importante que exista una buena coordinación entre el diseño y la construcción para asegurar que se hagan las correcciones necesarias de manera que las obras se ajusten lo mejor posible a las condiciones reales de campo.

El instituto Nacional de Recursos Hidráulicos INRH trabaja por lograr que las presas alcancen su capacidad máxima de embalse de agua, para ello la Defensa Civil toma las medidas necesarias, con el objetivo de garantizar la seguridad de las mismas. GEOCUBA viene hace unos años brindando al INRH el servicio de control de deformaciones en las presas.

Actualidad.

Las presas de tierra se encuentran distribuidas a lo largo y ancho de nuestro país, las mismas se realizan por los métodos tradicionales desde su diseño hasta la construcción, en algunos territorios se ha estado incursionando en la utilización de tecnologías como Auto CAD Land, Google Earth, GPS, Estaciones Totales , con la combinación del Levantamiento directo, en aras de lograr mayor rapidez en el trabajo y poder dar respuesta a las necesidades cada vez más creciente de construcciones de presas.

Novedad.

La temática que se abordará en la tesis, relacionada con el desarrollo de una metodología para el diseño de la construcción de presas de tierra, por métodos procesamiento digital ya que no existen antecedentes en el país. El aporte radica en la inclusión de un nuevo valor agregado a dicho diseño como son la estimación de volúmenes de agua, diseño geométrico de cortina, movimiento de tierra y otros, logrando la disminución del tiempo de ejecución y de gastos de los trabajos a realizar.

Situación problemática.

En las empresas encargadas del diseño de presas a pesar de contar con software de última generación para la realización de estos trabajos, no tienen la existencia de una

metodología que abarque todo el proceso de diseño de presas de tierra, son razones por la cual se hace necesario acometer a la creación de una metodología que posibiliten la creación de un uso más eficiente de los programas empleados para el desarrollo de estas.

Antecedentes.

A nivel de nuestro país no contamos con la existencia de una metodología para el diseño de presas de tierra con sistemas CAD, hasta ahora los datos encontrados se relacionan con una Tesis de (Aplicaciones Topográficas Asistidas por Software de Dibujo Avanzado, la cual se desarrolló en la Universidad de Concepción Sede Los Ángeles, en Marzo del 2004), la cual dentro de su contenido hace referencia al diseño de presas.

Justificación de la investigación.

Es necesario realizar la investigación debido a que el tema que se va a tratar tiene un valor significativo para la UEBPI Raudal-Holguín, ya que no cuentan con una metodología que abarque todo el proceso de diseño de presas, para así lograr la calidad y eficiencia necesaria para el desarrollo de sus proyectos.

Problema de investigación científica.

En la UEBPI Raudal-Holguín, a pesar de contar tanto con tecnología de avanzada para la realización de los trabajos de campo como con sistemas profesionales de última generación, el proyecto de presas de tierra no utiliza eficientemente las bondades de los mismos y esto repercute negativamente en el desempeño empresarial de la entidad.

Objeto de investigación.

El proyecto de presas de tierra.

Campo de acción.

Volúmenes de movimiento de tierras de cortinas de presas y estimación de la capacidad de embalses

Hipótesis.

La introducción de un conjunto de mejoras en el proceso de diseño de presas de tierra, haciendo énfasis en el uso apropiado y óptimo de los sistemas profesionales de cómputo que se utilizan en dicho proceso en la UEBPI Raudal-Holguín permitirá ganar en eficiencia y mejorar la humanización del trabajo de los especialistas encargados de realizarlas.

Objetivo general.

Establecer una metodología para el diseño de presas de tierra en lo relativo al diseño geométrico, determinación de los volúmenes de movimiento de tierras, así como la estimación de la capacidad de embalse, en un entorno informático apropiado que permita realizar las tareas de gabinete de un modo más eficiente en la UEBPI Raudal-Holguín.

Objetivos específicos.

1. Realizar un estudio que permita establecer el estado del conocimiento acerca de la proyección de presas de tierra tanto en Cuba como a nivel internacional.
 - a. Diagnosticar la situación actual del modo de realización de los trabajos de proyección de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín sobre el ambiente CAD establecido.
2. Proponer un procedimiento de uso apropiado y racional de los sistemas profesionales de cómputo que se utilizan en las tareas de gabinete del proceso de diseño de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín, que permita un empleo más eficiente de los mismos.
3. Ilustrar, mediante la solución de problemas típicos, las ventajas del procedimiento propuesto para la realización del proceso de proyección de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín.

Tareas de investigación.

1. Recopilación bibliográfica preliminar, definición del tema y elaboración del plan de trabajo.
2. Estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática de diseño de presas de tierra.

3. Diseño metodológico de la investigación y alcance de la misma.
4. Realización de un estudio sobre la evolución de la construcción de presas de tierra, tanto localmente como en el contexto internacional.
5. Caracterización del modo en que se realiza el proceso de diseño de presas de tierra en la entidad UEBPIH RAUDAL, Holguín, de manera que se puedan diagnosticar las principales deficiencias que aparecen en dicho proceso.
6. Redactar la primera versión del Capítulo I “Estado del arte y caracterización de la proyección de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín”
7. Estudiar la interacción entre los sistemas profesionales de cómputo, que se utilizan en el proceso de proyección de presas de tierra.
8. Proponer un procedimiento, que garantice el uso racional de los sistemas profesionales de cómputo.
9. Redacción de la primera versión del Capítulo II “Procedimiento de uso de los sistemas profesionales de cómputo que se utilizan en el proceso de diseño de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín.”
10. Seleccionar trabajos representativos de las tareas que se desarrollan en el proceso de diseño de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín.
11. Resolver los trabajos seleccionados con la inclusión del sistema de mejoras propuestas.
12. Redacción de la primera versión del Capítulo III “Aplicación de las mejoras introducidas a casos de estudio”
13. Redacción de la primera versión de las Conclusiones y Recomendaciones del trabajo.
14. Análisis del contexto global del trabajo de diploma y redacción definitiva del mismo.

Métodos de investigación.

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

Teóricos:

- **Histórico - lógico: Permite la revisión de la literatura científica con el objetivo de estudiar el desarrollo histórico del problema.**
- **Inducción - deducción: Con el objetivo de conocer los factores a fortalecer para dar solución al problema propuesto.**
- **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: Permitted conocer las regularidades mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos que intervienen en el proceso de diseño de presas de tierra.**

Estadístico:

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

Estructura de la investigación.

Capítulo I “Estado del arte y caracterización de la proyección de presas de tierra en la UEBPI Raudal-Holguín”.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y CARACTERIZACIÓN DE LA PROYECCIÓN DE PRESAS DE TIERRA.

I.1 Generalidades.

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

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

Las presas pueden clasificarse en función de su material de construcción en dos grupos: presas de materiales sueltos y presas de fábrica.^[1]

I.1.1 Concepto de Presas

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.

I.1.2 Evolución de las presas de tierra.

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

¹ Hoyo Adrián, López Leryana, Romero Marivy. Tesis. Presas. Mérida, Agosto del 2010. (Formato PDF).

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. ^[2]

I.1.3 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 de material permeable como arena y grava y hay que importar material arcilloso, la

² Luis Berga Casafont. Forma y Función en presas y embalses. (Formato PDF).

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.^[3]

Cortinas en presas de tierra.

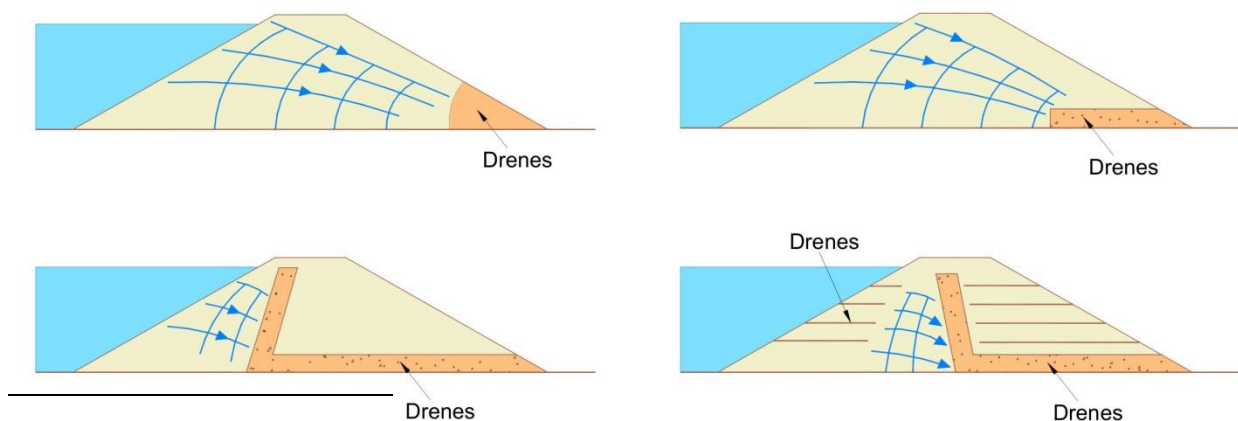
Las cortinas de tierra pueden construirse casi de cualquier altura y sobre cimientos que no son lo bastante fuerte para cortinas de concreto. Las mejoras en el equipo para movimientos de tierras han reducido el costo de la cortina de tierra, mientras crecientes costos de mano de obra han aumentado los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

a) Homogéneas.



³ Colectivo de autores. Ingeniería geológica. Madrid 2002. (Formato PDF).

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

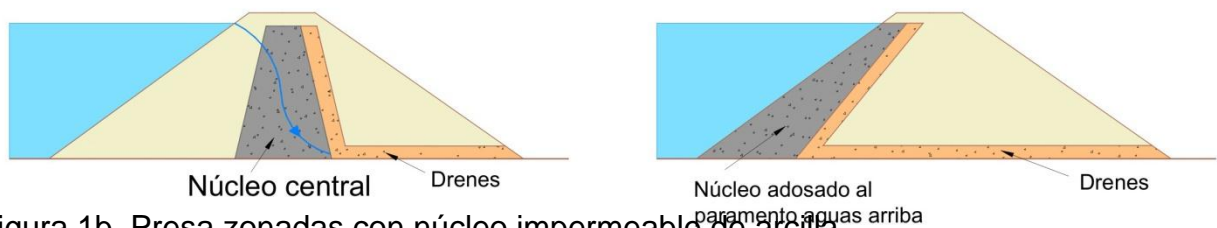


Figura 1b. Presa zonadas con núcleo impermeable de arcilla.

- 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

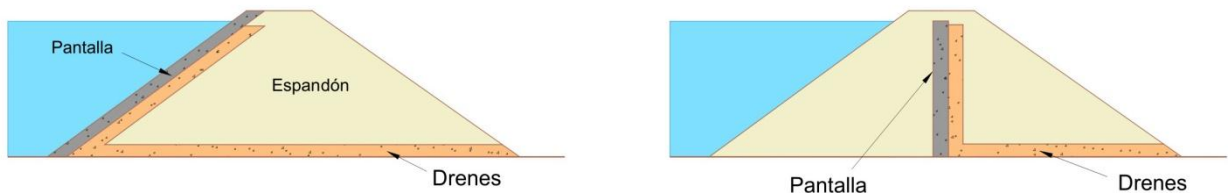


Figura 1c. Presa de pantalla.

I.2 Procedimiento General para el diseño de presas de tierra.

Antes de proyectar una presa, se hace un levantamiento topográfico para determinar si es posible ejecutar el proyecto, el tamaño aproximado del vaso, y la localización y alturas óptimas de la presa. Para obtener datos para el proyecto, se hace un levantamiento del lugar, semejante en muchos aspectos al que se hace para un puente. Se hacen bastantes sondeos y perforaciones, y la topografía se toma con detalle suficiente para definir no solamente el mismo dique sino también las estructuras correspondientes, la planta de construcción necesaria, caminos y quizás

un ramal de ferrocarril. Se hace un levantamiento de las propiedades de la zona que va a quedar inundada, por o directamente afectada por el vaso propuesto.

Antes de empezar la construcción, se construyen de manera permanente varias estaciones de tránsito, puntos de referencia, y bancos de nivel aguas arriba y aguas abajo del dique, en lugares y elevaciones convenientes para visar las diferentes partes de la estructura al avanzar el trabajo. Estos puntos de referencia, generalmente, se establecen por triangulación de una base medida en una de las laderas del valle, y todos los puntos se refieren a un sistema de coordenadas rectangulares, tanto en planta como en elevación. Para marcar la posición horizontal de un punto en la presa, con el objeto de colocar moldes para el concreto, o para comprobar el alineamiento de la presa, se toman visuales simultáneas con dos tránsitos colocados en las estaciones de referencia, cada tránsito alineado en la dirección calculada de las coordenadas de las estaciones de referencia y el punto que se va a fijar. La elevación del punto se determina generalmente, por nivelación directa. Sin embargo, se puede determinar instalando un tránsito (o, como comprobación dos) y utilizar el ángulo vertical calculado, siendo conocida la altura del instrumento. Se traza una poligonal alrededor del vaso, arriba de la línea de inundación propuesta, y se construyen monumentos para utilizarlos en conexión con los levantamientos de linderos y para referencias futuras. Al mismo tiempo, se establecen bancos de nivel arriba de la cola de presa. La línea de nivel del embalse se puede marcar con estacas colocadas a intervalos. La zona que se va a desmontar se define con frecuencia a estas estacas.^[4]

En la etapa de diseño y análisis para la construcción de presas que corresponde a una obra civil, la cual sirve para la retención y almacenamiento del agua, consiste en un muro de contención perpendicular a un río de preferencia en una garganta con una hoya hidrológica la cual servirá para acumular agua. En el diseño se analiza si el muro es flexible se forma con materiales naturales colocados en forma adecuada, para aprovechar eficazmente las características físicas particulares de cada elemento, permitiendo así que estos muros se adapten a las deformaciones naturales plásticas de esos elementos.

Los muros rígidos se construyen con materiales pétreos unidos por algún compuesto cementante, mediante el cual, se produce una masa homogénea.

⁴ Miguel Angel Heredia. República Dominicana. www.arghys.com.

Cuando se inicia el diseño de un muro ya se tiene en mente la clase de materiales usar, y finalmente lo que ayudara a la elección definitiva, será el hecho de actuar con distintos diseños para preparar cada uno de acuerdo a la zona, sus necesidades, elevación y el uso de la misma, además de considerar la seguridad estructural y del funcionamiento hidráulico en todos los casos.

En la elección del material constructivo, fundamentalmente se deben considerar los siguientes factores:

- Materiales del lugar
- Perfil geológico del cauce
- Altura del muro

Los materiales de la región combinados con la geología del cauce, son decisivos para elegir el tipo de cortina, porque influyen en la economía de la misma.

La altura de los muros en ocasiones es una limitante para el empleo de presas de tierra debido a que los taludes que se obtienen con las cargas hidráulicas grandes dan por resultado volúmenes de materiales considerables que hacen preferir a los muros rígidos y además se obtienen pasos de filtración largos y la posibilidad de filtraciones ya no tolerables. Para los muros rígidos no hay alturas límites recomendadas y su sección será la que resulte del cálculo de su estabilidad

I.2.1 Procedimiento existente en RAUDAL para el diseño de presas de tierra.

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 (C_v).
 - Volumen y gastos de las avenidas para las distintas probabilidades de diseño.
 - Grado de regulación (α)
 - 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.

Modo de realización de los trabajos topográficos para la proyección de presas en la UEBPI Raudal-Holguín.

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

1. Etapa de Ingeniería conceptual: Se estudia que permita definir el esquema integral del área de aprovechamiento de las cuencas.
2. Se desarrollan los planos generales de cada una de las obras que pueden ser a escala 1:50 000 o 1:25 000 que integran el proyecto con alcances suficientes para efectuar las bases para la licitación.

Ya partiendo de estas dos etapas se procede a los trabajos de levantamiento topográficos de la zona donde estará emplazada la cortina de presa y el aliviadero.

Una de las primeras tareas que se deben acometer es levantamiento topográfico de la zona donde se pretende proyectar la presa, con el objetivo de conocer las características propias del lugar. La **UEBPI Raudal-Holguín** dentro de su contenido tiene la tarea expedir una tarea técnica para el estudio topográfico del área de la presa. Siendo está proyectada por uno de sus departamentos o por otra de la empresas que se dediquen a los trabajos topográficos.

En esta tarea técnica la empresa pide ciertas características como son la localización geográfica del área a proyectar, límite de la zona de estudio, características técnicas

generales de la obra y también se solicita 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 planta perfil cada 20.0 metros y puntos característicos por 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 cuatro orden para la altimetría.

Toda la documentación extraída en el levantamiento será procesada y se entregara de forma gráfica y digital georreferenciada, con los ficheros (*.txt) para su procesamiento en **Auto Cad Land**.

I.3 Representación del terreno (Modelos).

I.3.1 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.

I.3.2 Concepto de modelo digital del terreno.

Los modelos digitales del terreno son una parte importante de la información integrante de los sistemas de información geográfica. En la revisión de la literatura sobre ellos destaca, sin embargo, la escasa atención que se ha dedicado a los aspectos formales y conceptuales. Esta circunstancia ha conducido a que los libros clásicos sobre **SIG** traten muy superficialmente el tema de los **MDT** que, frecuentemente, se muestra llamativamente ausentes. Asimismo, pueden encontrarse ocasionalmente definiciones confusas, cuando no claramente erróneas. Este apartado tiene por objeto fijar la base conceptual de los **MDT** con el fin de abordar posteriormente los aspectos relativos a su construcción y manejo con mayor claridad.

[5]

Que es un modelo.

"un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que 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

⁵ Angel Manuel Felicísimo. Conceptos básicos, modelos y simulación . www.etsimo.uniovi.es

Fotogrametría del Instituto de Tecnología de **Massachusetts** 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"

Puede observarse el uso del término **MDT** como sinónimo de **MDE**, así como el escaso énfasis en el aspecto de la referenciación geográfica aunque en el trabajo, unas líneas más adelante, se indica la conveniencia de establecer una relación entre el sistema de coordenadas y un sistema de proyección geográfica.

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.

Las aplicaciones informáticas de uso menos aplicado tuvieron que esperar algunos años más y, habitualmente, surgieron en un "contexto SIG" que incorporaba la información topográfica para el manejo de cartografía digital en términos más generales. El **Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis** marcó un hito cuando presentó **SYMAP** en 1967. **SYMAP** era una aplicación formada por un conjunto de programas de manejo de cartografía digital que incluía algoritmos de interpolación para generar mapas de isopletas a partir de puntos acotados distribuidos irregularmente.

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.

Tipos de modelos.

Existen numerosas clasificaciones de los modelos, ninguna de las cuales permite establecer realmente unas categorías estrictamente excluyentes. A continuación se comentan dos clasificaciones relevantes para el tema de los **MDT** ya que contribuyen a aclarar el concepto básico.

a. Modelos icónicos, análogos y simbólicos (figura 2).

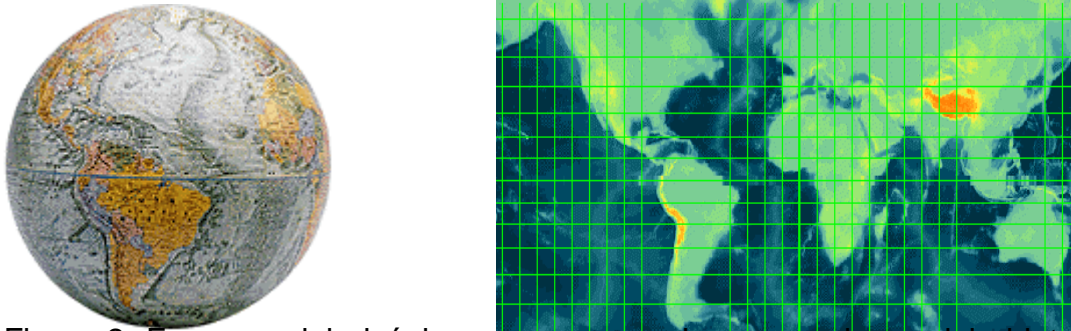


Figura 2. En un modelo icónico se conservan las proporciones del objeto real mediante una reducción de escala y una selección de las propiedades representadas.

b. Modelos analógicos y modelos digitales.

Otra clasificación de los modelos que nos interesa para nuestro tema los divide en modelos digitales y modelos analógicos. La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos reside en 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 3).

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

No ambigüedad: cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos

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

Repetitividad: los resultados no están sometidos, a menos que de diseño 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.

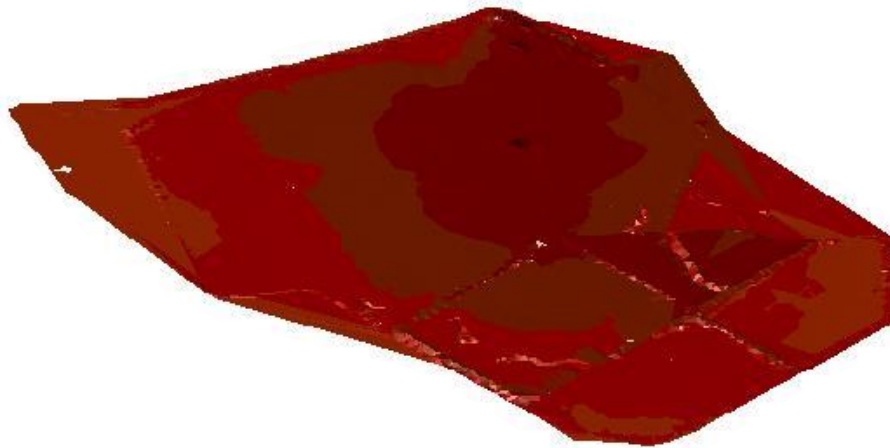


Figura 3. Modelo digital del terreno.

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 ζ 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**—:

1. Estructuras vectoriales, basadas en entidades/objetos.
2. Contornos: poli líneas de altitud constante.
3. **TIN**: red de triángulos irregulares adosados.
4. Estructuras raster, basadas en localizaciones.
5. Matrices regulares: malla de celda cuadrada.
6. **Quadrees**: matrices imbricadas en una estructura jerárquica.

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 en la parte final de este capítulo.

Modelo Raster.

Matrices regulares:

La estructura matricial tiene antecedentes relativamente remotos: **Chapman** (1952) propone ya métodos de análisis topográficos basados en matrices regulares. Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda. La retícula adopta normalmente la forma de una red regular de malla cuadrada. En esta estructura, la localización espacial de cada dato está determinada de forma implícita por su situación en la matriz, una vez definidos el origen y el valor del intervalo entre filas y columnas.

Modelo Raster.

Matrices jerárquicas —**quadtrees**:

El mayor interés de las matrices jerárquicas está en que permiten solucionar el principal problema de las matrices regulares: su resolución espacial constante. En este tipo de matrices los elementos pueden ser, bien datos elementales, como en las matrices regulares, o bien, a su vez, matrices de 2×2 con una distancia entre filas y columnas mitad de la del nivel anterior. La estructura final es un árbol jerárquico de matrices elementales de 2×2 con una profundidad en principio arbitraria y cuya resolución espacial se duplica en cada nivel. Esta estructura, denominada originalmente **quadtree**, se ha utilizado ocasionalmente en el tratamiento de variables nominales (**Samet et al., 1984**) con el fin de reducir el tamaño de almacenamiento.

Este tipo de estructura no ha sido apenas desarrollada ni utilizada, según puede deducirse de la bibliografía, aunque tiene una relación directa con el método fotogramétrico de muestreo progresivo (**Makarovic, 1973**). En el tratamiento de los **MDT**, los trabajos pioneros parecen corresponder a **Ebner y Reinhardt** (1984, 1988), que utilizan un modelo mixto de matrices jerárquicas y estructuras **TIN**.

Metodología aplicada en GEOCUBA para la creación del modelo digital del terreno.

En los trabajos de modelación digital del terreno en nuestro país una de las empresas que más ha revolucionado en la aplicación ha sido Geocuba teniendo aplicado una metodología para la confección de modelos a partir de las bases cartográficas digitales.

La empresa ha establecido los procesos y medios técnicos a utilizar para la creación y rasterización del modelo digital del terreno a partir del mapa topográfico. Este modelo resulta de gran aplicación en determinación de Perfiles, en cálculos de roturas de presa, movimiento de tierra, determinación de pendiente, análisis hidrológicos y Orto rectificación de imágenes Aeroespaciales.

En este análisis se trata el esquema de confección para llevar a cabo la creación del **MDT**:

1. Trabajos preparatorios
2. Edición de la base cartográfica
3. Validación del relieve
4. Asignación de cotas (Z) a los elementos de la hidrografía trazado de intersecciones
5. Validación de las características de los elementos de la topografía del terreno.
Exportación a DXF y a TXT
6. Exportación a TXT final

Procedimiento utilizado para la confección del modelo digital del terreno en la empresa GEOCUBA.

Partiendo de una base cartográfica digital a escala 1:10 000 con cotas y curvas de nivel se procede a la creación MDT el primer paso es la incorporación de la elevación a las cotas del terreno o en otras bibliografías se refiere a los piquetes siendo esto ejecutado por una aplicación que se le integra al programa **Auto Cad Map**, con esta herramienta llamada **MDT 4** le se da valores a las cotas logrando mayor rapidez en el proceso. Luego se exportan las cotas a formato TXT, esta información estará

guardada hasta haber convertido las curvas de nivel en fichero TXT para así combinarla, la conversión de las curvas de nivel se crea de forma automática con el programa **POLYLINE** que trabaja con ficheros DXF. En el próximo paso se combinan los dos ficheros extraídos para luego ser utilizados en el programa **SURFER 8.0** que valida la precisión con que se ejecutara el modelo, este proceso se repetirá cuantas veces sea necesaria hasta que cumpla con los parámetros de precisión que son 5.0 metros en la planimetría y 1.6 metros en la altimetría.

Una de las ventajas con que cuenta esta metodología es la precisión de sus modelos, para la orto rectificación de las imágenes aeroespaciales, así logrando cálculos más exactos, la aplicación también sirve en los estudios geológicos, ambientales, catastrales y urbanísticos.

En este procedimiento también hay que analizar el excesivo volumen de software que se utiliza para la modelación del terreno siendo esto unos de los puntos a tratar en la elaboración del capítulo. Para así lograr una mayor rapidez y precisión de los trabajos pudiendo ampliar en otros programas que apliquen la confección de modelos de elevación, para mayor información sobre la metodología dirigirse al (Anexo 2).

Qué estructura debe usarse para la construcción de un modelo digital del terreno.

Para tomar la decisión de la estructura de datos idónea es necesario tener en cuenta alguna de sus implicaciones; entre ellas están las siguientes:

- a. Adoptar una estructura de datos concreta supone decidir el método de construcción del modelo e, indirectamente, sobre qué tipo de información va a ser representada y cuál descartada
- b. Implica decidirse por un esquema concreto de almacenamiento y gestión informática de los datos, con sus ventajas e inconvenientes
- c. Implica la necesidad de traducir los algoritmos a formas concretas compatibles con la estructura de datos elegida.
- d. Supone aceptar las limitaciones de las aplicaciones informáticas para gestionar la información en el formato elegido.

Es decir, la elección de la estructura de datos es importante porque condiciona el

futuro manejo de la información.

Algunos autores han opinado que las diferencias teóricas son reducidas si la resolución es similar (**Berry, 1988**) ya que se trata en todos los casos de una distribución de puntos acotados. Sin embargo, esto es fijar la atención sólo en los elementos primarios del modelo cuando la diferencia fundamental estriba, lógicamente, en la forma de estructurar los datos, en la complejidad de la referenciación espacial interna o topología aplicada a la información y en los procesos de tratamiento que estas circunstancias permiten o exigen.

Los sistemas de información geográfica y algunas aplicaciones dedicadas expresamente al tratamiento de los **MDT** usan, en la práctica, sólo dos de las alternativas anteriores: las matrices regulares y los **TIN**.

El papel del modelo de contornos ha quedado reducido a ser una etapa intermedia en la captura de información: la de digitalización del mapa topográfico. El diseño de algoritmos para el manejo posterior de la información se ha mostrado tan dificultoso que no se considera una alternativa viable para el tratamiento de los datos topográficos (**Mark, 1979:34**).

Los **quadtrees** han despertado un mayor interés y existen aplicaciones comerciales que los usan como estructura básica (por ejemplo, **SPANS**); sin embargo, a pesar de tratarse de una estructura teóricamente adecuada para el tratamiento de la topografía, también presentan serios problemas en el diseño de algoritmos.

Puede resumirse que, entre las dos alternativas restantes y para realizar operaciones de análisis espacial, en los **SIG** se ha optado por usar matrices regulares en el tratamiento de los **MDT**. El motivo de esta decisión ha sido que los **TIN**, aunque capaces de representar con fidelidad la topografía por su capacidad de adaptarse al terreno con un nivel de resolución variable, no permiten efectuar cálculos ni desarrollar modelos con la facilidad y rapidez de las matrices. Éstas se han mostrado como estructuras mucho más simples conceptualmente y más adaptadas al tratamiento informático.

La alternativa adoptada en algunos **SIG** ha sido usar las matrices regulares divididas en elementos denominados tiles —"losas" o "baldosas"— cuyo conjunto cubre el territorio. La división en tiles permite una gestión más eficaz de la información ya que

no exige el manejo global de una matriz de grandes dimensiones. La resolución de las unidades elementales sigue siendo, sin embargo, fija, y la gestión se complica algo más ya que es necesario mantener y manejar una estructura más compleja que la simple matriz regular.

Construcción del Modelo Digital Terreno.

La captura de la información hipsométrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del **MDT**, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos. Se trata de una fase de gran trascendencia porque la calidad de los datos es el principal factor limitante para los tratamientos que se realicen posteriormente. Tras obtener los datos, éstos deben ser estructurados para formar el **MDT** de alguna de las formas presentadas en el apartado anterior.

Captura de datos:

Los métodos básicos para la conseguir los datos de altitudes pueden dividirse en dos grupos:

Directos —**primary data**— cuando las medidas se realizan directamente sobre el terreno real, e indirectos —**secondary data**— cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente. La jerarquía de los métodos más usuales es la siguiente:

1. **Métodos directos:** medida directa de la altitud sobre el terreno (fuentes primarias)
 1. Altimetría: altímetros radar o laser transportados por plataformas aéreas o satélites
 2. **GPS: global positioning system**, sistema de localización por triangulación
 3. Levantamiento topográfico: estaciones topográficas con salida digital
2. **Métodos indirectos:** medida estimada a partir de documentos previos (fuentes secundarias)
 1. Restitución a partir de pares de imágenes
 1. Estéreo-imágenes digitales: imágenes tomadas por satélites
 2. Estéreo-imágenes analógicas: imágenes fotográficas convencionales

3. Interferometría radar: imágenes de interferencia de sensores radar
2. Digitalización de mapas topográficos
 1. Automática: mediante escáner y Vectorización
 2. Manual: mediante tablero digitalizador

Métodos directos: Altimetros, GPS y estaciones topográficas:

Altimetros radar y láser

Algunos satélites han incorporado altímetros entre sus instrumentos, con lo que se hace posible, al menos teóricamente, el registro directo de los datos de altitud en formato digital. Estos altímetros son aparatos extremadamente precisos: el transportado por el satélite **ERS-1 — European Remote-Sensing Satellite—** es un radar de 13.8 GHz con un error nominal de apenas unos centímetros.

Los altímetros radares se sustentan en principios físicos esencialmente diferentes de la teledetección convencional. Los sensores ópticos reciben la fracción de luz reflejada por el suelo ante la radiación electromagnética del Sol; son sensores pasivos (no emiten energía) y la energía que reciben depende del albedo del suelo para el rango de longitudes de onda con el que se trabaje.

El radar es activo: emite una radiación desde una antena emisora y, además, esta radiación es coherente, es decir, se trata de una luz de longitud de onda pura en la que crestas y valles de la onda electromagnética son absolutamente regulares. Debido a esta característica, el sensor puede distinguir el punto exacto en el que se encuentra la oscilación de la onda reflejada: la fase.

La medida de la fase es útil debido a la elevada frecuencia de trabajo: si un radar transportado por un satélite funciona a 6 GHz, la señal recorrerá sólo 5 cm en el tiempo de una oscilación completa. Si el suelo está exactamente a 800 km de distancia, los 1600 km de ida y vuelta corresponden a un número entero de ciclos y la onda recibida llegará en fase con la onda de salida. Si la distancia es de 800 km y 1 cm, la onda llegará con un desfase del 40%: un 20% corresponde al cm del viaje de ida y el otro 20% al del viaje de vuelta. Este desfase se detecta en equipo receptor. La medida de la fase permite, por tanto, estimar las distancias con precisiones cent métricas.

El problema con el que se encuentra esta metodología es que la unidad mínima de medida puede ser un área relativamente amplia de suelo; si este área es heterogénea generará reflexiones múltiples que se combinarán de forma que la fase resultante parece aleatoria e inutilizable. Por estos motivos el uso directo de altímetros ha tenido especial éxito sobre superficies homogéneas como en la medida de la topografía de la superficie marina y en el seguimiento de los hielos polares.

Veremos posteriormente como esta información ya puede ser aprovechada mediante técnicas algo más sofisticadas.

I.4 Estimación de volúmenes de presas.

Este proceso se realiza de forma semi automática, 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 (m²) VS H (m) como se recoge en la (Figura 2a).

CÁLCULOS CURVA DE ÁREA CAPACIDAD										
No.	COTA (m)	ÁREA (m ²)	ÁREA (km ²)	ÁREA PROMEDIO (km ²)	ÁREA ACUMULADA (km ²)	ΔH (m)	VOLUMEN (m ³)	VOLUMEN (Hm ³)	VOLUMEN PROMEDIO (Hm ³)	VOLUMEN ACUMULADO (Hm ³)
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 ²)	VOLUMEN (Hm ³)	AJUSTE VOLUMEN (Hm ³)
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

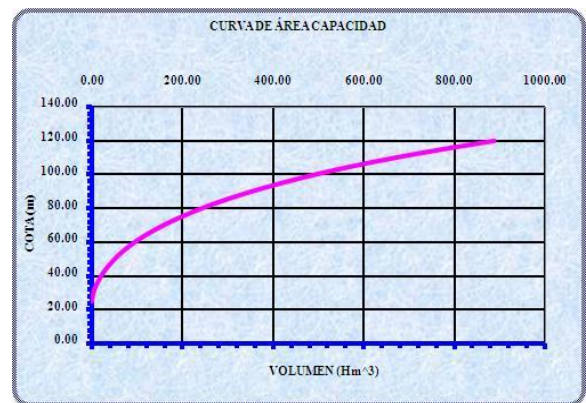


Figura 2a. Curva de área capacidad.

I.4.1 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 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.

I.5 Conclusiones

Las principales deficiencias que acusa el proceso de diseño de presa en la **UEBPIH-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.

A pesar de utilizar sistemas profesionales de última generación, las cubicaciones no son lo suficientemente precisas.