

2. PRESA

Las obras hidráulicas se construyen con dos objetivos, uno consiste en aprovechar el agua de un río y el otro para defenderse contra los daños que ocasionan los ríos al desbordarse. Dentro de las primeras se tienen las presas de aprovechamiento y derivación y en las segundas las presas contra inundaciones y retenedoras de azolve. Las presas de almacenamiento pueden también ser para control de inundaciones y en caso de que el transporte de sedimentos de la corriente no sea alto, y en ella, adicionalmente, se puede considerar una capacidad de azolve.

Una presa es un conjunto de estructuras que tienen como objeto impedir el paso de una corriente para aprovecharla y/o proteger contra inundaciones y avenidas a poblaciones ubicadas en zonas cercanas a la corriente o para aprovechar el agua para satisfacer cierta demanda de la población e industria.

Algunos autores utilizan el término “Presa” para referirse únicamente a la cortina, aquí, consideraremos como presa a todas las estructuras que conforman la obra.



Figura 2 Aprovechamiento hidráulico, Referencia 6

2.1 Presas de aprovechamiento

Este tipo de presas son proyectadas con la finalidad de obtener algún beneficio de ellas, un tipo de presa de aprovechamiento es la de riego agrícola en la cual su principal función es almacenar agua en época de lluvias para que no falte en época de estiaje, en este tipo de obras el agua es distribuida por medio de canales de riego a sectores, en los cuales se hace una distribución más equitativa del agua.

En el caso de que un río tenga agua con las características optimas para ser bebible, el almacenamiento de esta se realiza con la finalidad de abastecer de agua potable a algunas poblaciones, en este caso en particular el agua es conducida por medio de tuberías ya que el conducirla por un canal abierto implica que pueda llegar a contaminarse antes de llegar a la población.

Otro tipo de aprovechamiento de una presa es generando energía eléctrica para satisfacer la demanda de esta, en estos casos la función de la presa es generar una carga grande de agua, teniendo así energía potencial; mientras más grande sea la carga mayor es la energía potencial que se tiene, al dejar fluir el agua ésta energía se convierte en energía cinética que es utilizada para hacer girar turbinas, en éste punto, la energía cinética queda transformada en energía mecánica; finalmente, las turbinas mandan esta energía a un generador donde la energía queda transformada en energía eléctrica. Este tipo de presas son conocidas como centrales hidroeléctricas y en nuestro país satisfacen únicamente el 22.17% de la demanda total, una gran parte de la demanda restante la satisfacen las centrales termoeléctricas. Sin embargo, es importante destacar que las hidroeléctricas generan poca contaminación por lo que representan una fuente de energía limpia.

Indirectamente, las presas también generan otro tipo de actividades, como la acuicultura, navegación, pesca o recreación que a pesar de no ser el objetivo principal del proyecto son consideradas como actividades de aprovechamiento.

2.2 Presas de defensa

Las presas de defensa protegen en dos casos:

- Contra inundaciones
- Contra azolves

Las presas para el control de inundaciones son proyectadas en lugares que tengan un alto índice de inundaciones o en sitios donde un estudio hidrológico revele esta condición un alto riesgo de inundación ante avenidas y, si es el caso, aprovechar el almacenamiento para contar con una central hidroeléctrica, en esta condición la obra de excedencias tiene una estructura de control, cuya función es regular el agua en exceso y dejarla salir controladamente para disipar daños a poblaciones ubicadas aguas abajo.

Las presas contra azolves, son proyectadas en dos situaciones; la primera es con la finalidad de alargar la vida útil de otras presas, reteniendo los azolves generados, para que éstos no se sedimenten en la cortina aguas abajo. Otro de sus objetivos es construirlas en cauces donde el arrastre de sedimentos es excesivo y puede llegar a inundar o hasta sepultar poblaciones aguas abajo del río.

Las presas de derivación tienen como función elevar el tirante del agua en un cauce para darle una carga al agua que se conduce por gravedad hasta una estructura que la conducirá hasta el sitio donde se va a utilizar.

Los elementos que forman una presa se describen en el subcapítulo 2.3.

2.3 Estudios previos

Dentro de las primeras etapas para la realización del proyecto de una presa se encuentra la planeación, que consiste básicamente en definir dos puntos primordiales, las necesidades o demandas y las alternativas posibles para satisfacerlas.

En los proyectos de presas, las necesidades consisten en definir si la presa será de aprovechamiento o de defensa o derivación, es decir, para una ciudad con problemas de avenidas su necesidad es una presa de defensa, mientras que en una población con poco abastecimiento de agua, donde la economía se basa en la agricultura, la necesidad sería una presa de aprovechamiento o más específicamente una presa para riego agrícola.

Una vez conocidas las necesidades, se realiza el análisis de factibilidad del proyecto, para el cual es necesario conocer las características de la zona con las que es posible plantear las alternativas más favorables para el proyecto. Este análisis permite también conocer los pros y contras que llevarán a la decisión de llevar a cabo o no el proyecto.

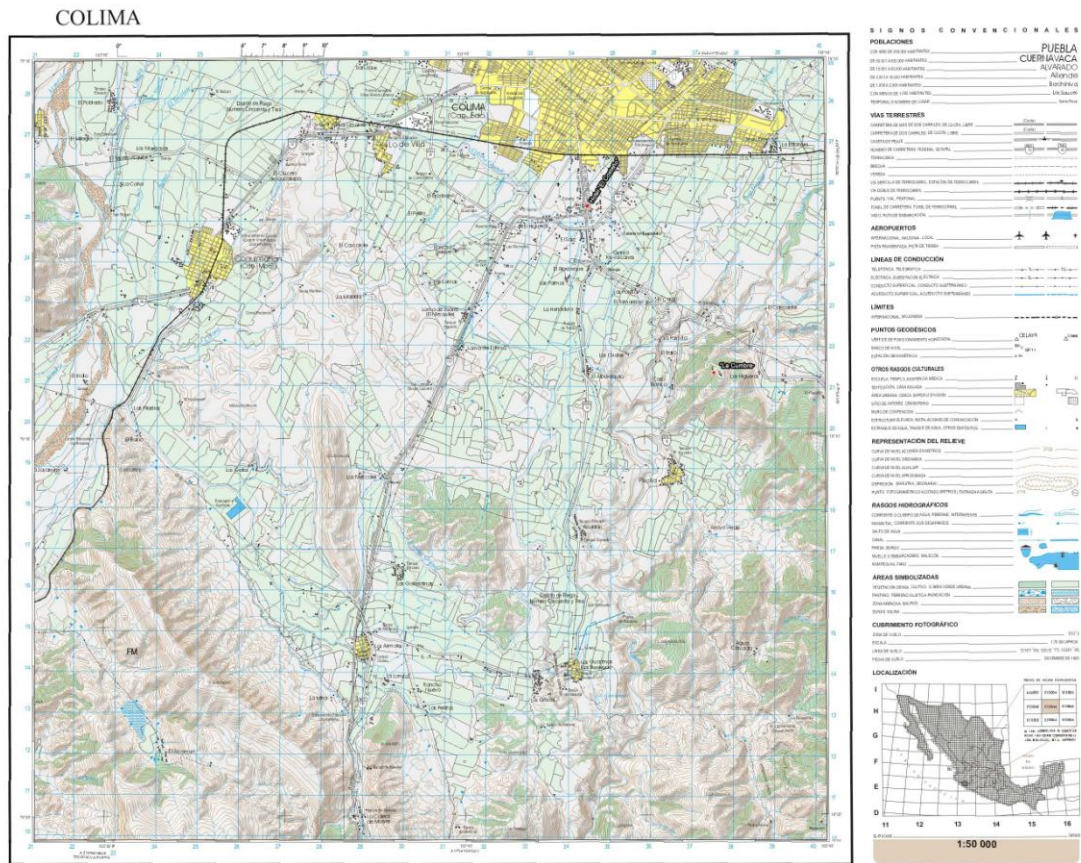
Para conocer las características de la zona es necesario contar con datos topográficos, estudios geológicos, estudios hidrológicos y un análisis beneficio-costos donde además de analizar la factibilidad económica de la obra se analizan posibles afectaciones sociales respecto a los beneficios que una obra de este tipo traería a las poblaciones cercanas.

2.3.1 Topografía

Para comenzar con el análisis de factibilidad del proyecto debe conocerse el sitio en donde se planea construir, la ubicación de éste se hace a través de mapas topográficos. Los mapas topográficos pueden generarse de levantamientos hechos especialmente para el sitio o pueden ser consultados en las publicaciones del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) los cuales están a diversas escalas y en versión digital o impresa. Ver Figura 2.3.1

Los mapas topográficos muestran un sitio en planta con curvas de nivel referidas a su elevación correspondiente, con ellas es posible calcular, por ejemplo, una curva elevaciones-capacidades que muestre el volumen de agua que quedaría almacenado para cada altura de la cortina. Así pueden hacerse propuestas para la localización del eje de la cortina conociendo las diferentes capacidades que se tendrían para cada punto diferente del eje.

Es recomendable realizar un levantamiento topográfico específicamente para la ubicación del sitio de la boquilla y vaso de almacenamiento con el fin de obtener planos topográficos más detallados y con esto una curva de elevaciones-capacidades más confiable; es importante que esta curva sea lo más confiable posible ya que con ella se establecerán los niveles de la cortina; entre ellos el NAME (nivel de aguas máximas extraordinarias).



Una vez conocida la topografía, se selecciona el eje de la cortina más favorable referido a un banco de nivel y se localizan las coordenadas de sus principales apoyos.

2.3.2 Estudio Geológico

La Geología es la ciencia que estudia la composición de la tierra, su origen y los cambios que ha tenido. En la ingeniería civil, la Geología interesa para conocer a detalle el área donde se desea construir y sus características más aprovechables o bien como resolver el problema de encontrar un tratamiento adecuado a la geología del sitio.

2.3.2.1 Tipos de rocas

Las rocas pueden ser clasificadas por su origen, textura y estructura. La textura de una roca revela el acomodo de sus granos, mientras que la estructura indica si ésta contiene cavidades, fisuras o fracturas.

Por su origen; las rocas pueden ser clasificadas como ígneas, metamórficas y sedimentarias. Las rocas ígneas se forman a partir de magma o lava volcánica, éstas en especial pueden ser de dos tipos intrusivas y extrusivas, las intrusivas, son aquellas que se formaron en el interior de la tierra con magma y fueron expulsadas ya como rocas, mientras que las extrusivas se formaron con la lava expulsada del volcán y se consolidaron en la superficie terrestre.

Las rocas sedimentarias, se forman con restos de roca o restos orgánicos que son depositados por el agua, viento o lluvia, pueden ser identificadas fácilmente por contener capas claramente definidas.

Las rocas metamórficas, son rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido cambios por exposición a altas temperaturas o fuerzas de gran magnitud, cambiando la forma de sus cristales y su composición.

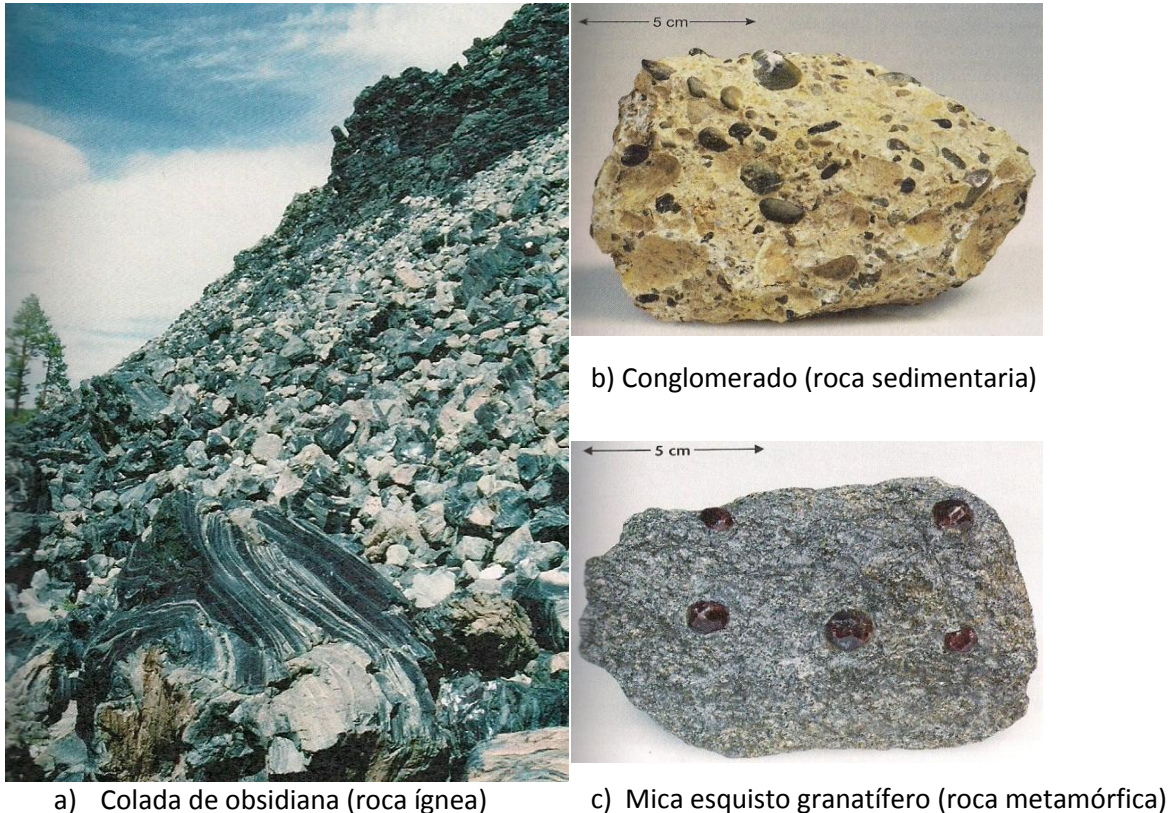


Figura 2.3.2.1 Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, Referencia 5

2.3.2.2 Características del suelo

En las formaciones de roca sedimentaria, se tienen partículas de suelo de diferentes tamaños por lo que es importante realizar un análisis granulométrico y conocer la variación de tamaños de sus partículas. El análisis granulométrico se realiza dejando pasar por medio de mallas una muestra representativa de suelo. Estas mallas varían el tamaño de sus aperturas, desde las más abiertas hasta las más finas, la malla número 200 define el límite entre partículas gruesas y finas, las que quedan retenidas en ella o en mallas por encima de ésta, son partículas gruesas, es decir; gravas y arenas, mientras que las partículas que pasan la malla 200 se consideran partículas finas. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es un método muy utilizado para determinar las características de un suelo e identificarlas por medio de símbolos. Todas estas características se encuentran resumidas en la Tabla 2.3.2.2

La identificación de las características de los materiales de la zona también influye en la selección del tipo de cortina, ya que es muy importante conocer la calidad de los materiales disponibles para la construcción de la cortina o para la fabricación de algún cementante. Además, la existencia de buenos bancos de materiales cerca de la zona de construcción disminuye los costos de transporte.

2.3.2.3 Geomorfología

La Geomorfología se encarga de estudiar las formaciones en la superficie de la tierra y las fuerzas que las provocaron a lo largo del tiempo.

Para fines de ingeniería, la Geomorfología identifica las formaciones montañosas, las llanuras, los valles, etc. y describe detalladamente su composición y relieve. La descripción de cada uno de estos relieves incluye características como la edad, composición topográfica, tipo de pendientes, tipo de drenaje y su orientación. Estas características de forma general son obtenidas, para toda el área de construcción de la obra. Sin embargo, dado el alto riesgo que representa una mala ubicación de la boquilla, para ésta se realiza un estudio más detallado.

2.3.2.4 Tectónica regional

La mayoría de las formaciones o rasgos geológicos de la tierra tales como los continentes, las montañas y cuencas geológicas son producidas por el movimiento de las placas tectónicas, si bien, la formación de los continentes o el conocimiento de las cuencas oceánicas no son del todo relevantes para la construcción de una presa, si es importante conocer a nivel regional las placas que generaron la Geomorfología de la región.

Para la construcción de una presa la descripción de la tectónica regional se basa en la descripción de las estructuras que la conforman, entre ellas, destacan fallas, fracturas de la zona y las manifestaciones volcánicas que presenta. Además de mostrar la ubicación y orientación de estas estructuras se analiza el movimiento tectónico que las provocó y su edad.

2.3.2.5 Estratigrafía

La estratigrafía es un rasgo representativo de las rocas, las capas o lechos que estas representan, se conocen como estratos, y esta característica es una de las más importantes en el análisis de las rocas. En un estudio estratigráfico se describe de manera detallada las capas, láminas o estratos de una roca durante su disposición.

Para la descripción de la estratigrafía de una zona se utilizan columnas estratigráficas en las cuales es posible ubicar a una profundidad, el tipo de afloramiento, tipo de roca, su acomodo y edad, ver Figura 2.3.2.5

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)					Símbolo del grupo	Nombres típicos	
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios			GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)			GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)			GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios			SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)			SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)			SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)			
	Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)			
Suelos altamente orgánicos					Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Tabla 2.3.2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, Referencia 16

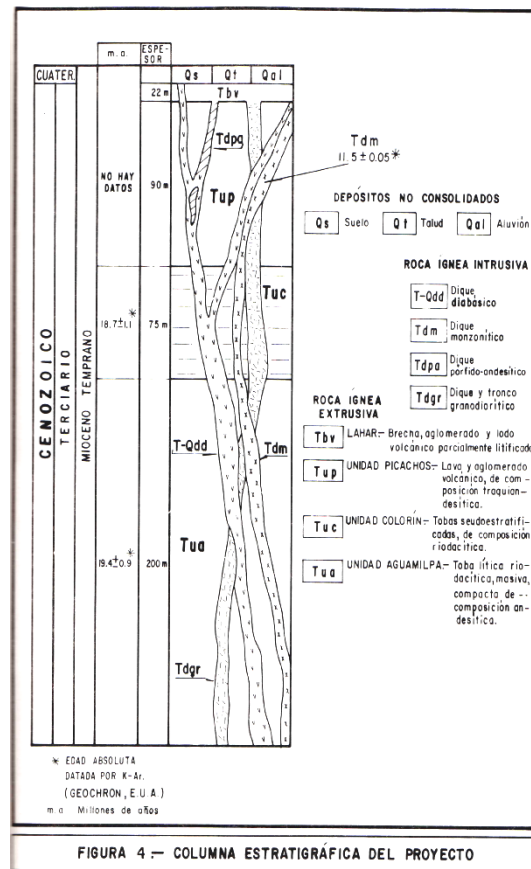


Figura 2.3.2.5 Columna estratigráfica de la central hidroeléctrica Aguamilpa, Nay, Referencia CFE

3.2.2.6 Geología estructural

La principal intención de realizar estudios de Geología estructural es la de conocer las fuerzas y esfuerzos a los que está sometido el suelo, que influyen en su comportamiento y deformaciones y que pueden generar efectos desfavorables en la construcción de algunas estructuras de la presa.

Las fallas y fracturas son las principales estructuras de análisis. Una fractura es una discontinuidad en la masa de una roca, mientras que una falla se presenta cuando la roca ha sufrido un deslizamiento en un plano de fractura.

Las fallas pueden ser de dos tipos, normales e invertidas. Entre una falla se tienen dos masas de roca, cuando una fuerza vertical es aplicada a una de ellas y ésta presenta un descenso a través del plano de falla, produce una falla normal; cuando se aplica una fuerza horizontal a la masa de roca y ésta asciende por la falla, produce una falla inversa, ver Figura 3.3.2.6 a).

Dentro de las fracturas se encuentran los cruceros o juntas que son elementos con una ordenación definida o continua, otro tipo de fracturas son las grietas o fisuras que son consideradas fracturas de pequeñas magnitudes.

La identificación de cruceros se realiza en base a sus planos de estratificación los cuales se distinguen por las características de su disposición localizada a través de una dirección y una pendiente.

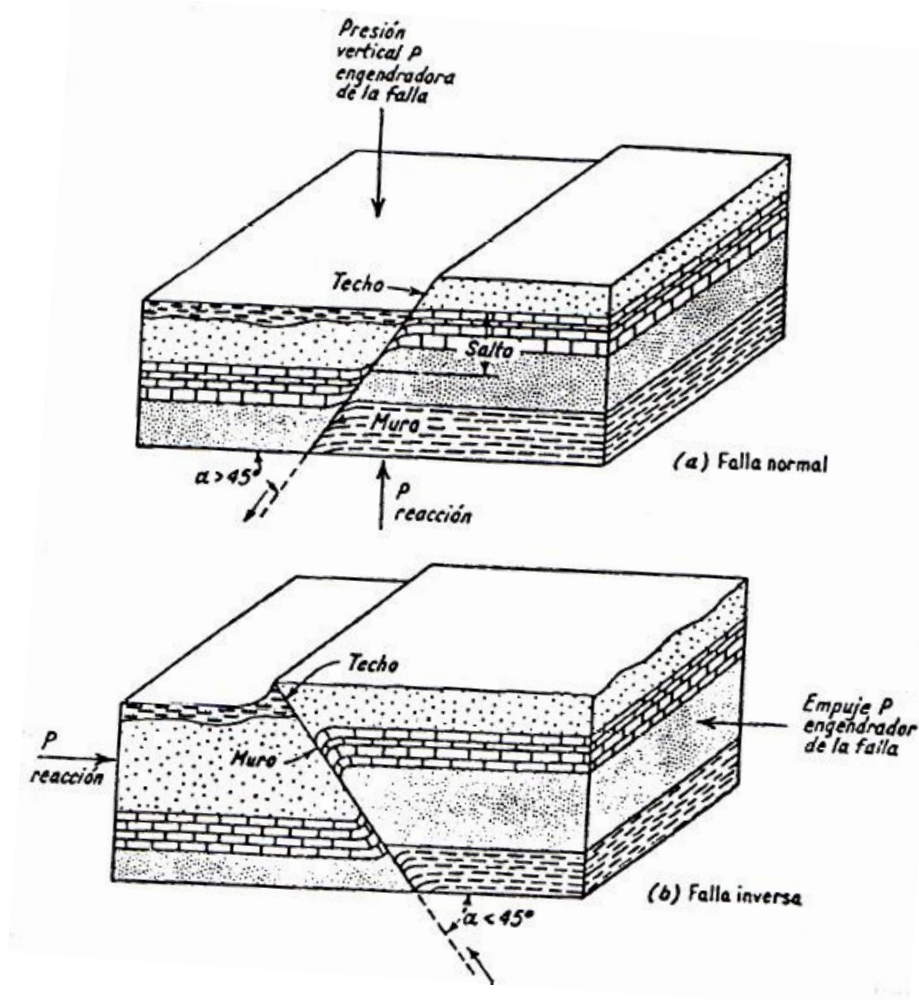


Figura 3.3.2.6 a) Tipos de fallas, Referencia 16

Cuando una zona presenta varias fallas próximas se le conoce como zona de falla o desgarre.

En algunos las rocas se doblan o flexionan provocando pliegues, cuando estos pliegues presentan una convexidad hacia arriba, se llaman anticlinales, cuando esta concavidad es cóncava se conoce como pliegue sinclinal, ver figura 3.3.2.6.b)

Las rocas llegan a presentar pliegues ocasionados por fuerzas de flexión o doblamiento que se generan por efectos volcánicos. Si los esfuerzos son aplicados en los extremos del estrato este tiende a presentar un abombamiento, cuando los esfuerzos se presentan a lo largo de un estrato uniforme tiende a levantarse y produce un pliegue de fluencia, por otra parte si estos esfuerzos son aplicados a un estrato con planos tabulares, éste tiende a deslizar sus planos ocasionando un pliegue por desbalamiento.

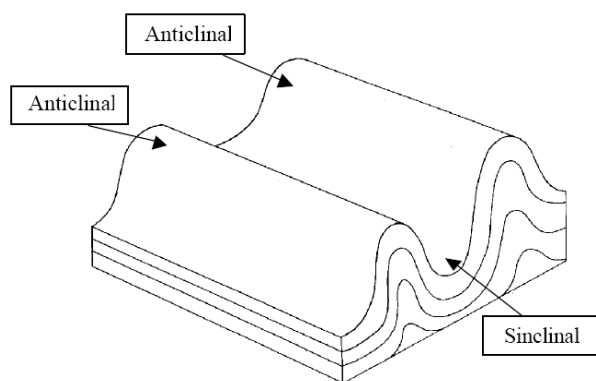


Figura 3.3.2.6 b) Falla anticlinal y sinclinal

En un análisis de geología estructural se identifican fallas, fracturas, pliegues con cada una de las características antes mencionadas, sin embargo las que representan mayor riesgo son las fallas, por lo que se realiza un arduo reconocimiento de las mismas indicando por ejemplo el tipo de material en su contacto, ubicación, rumbo e inclinación. Si éstas coinciden con la ubicación de alguna estructura de la presa se analizan los efectos que tendría y si es viable o no colocar en este sitio dicha estructura.

Este tipo de análisis se realiza a nivel general en la zona de obra de la presa y a detalle en la zona de la boquilla.

3.2.2.7 Riesgos geológicos

Parte del estudio geológico consiste en identificar zonas que podrían presentar falla durante la construcción o en el sitio de construcción de alguna estructura de la presa.

Las zonas se vuelven inestables debido a diferentes factores tales como cortes en sitios de falla, fallas con materiales que favorecen su deslizamiento, material erosionado; entre otras. Es importante, la localización de estos sitios vulnerables ya que un deslizamiento durante la construcción podría ocasionar pérdidas humanas, retraso en el proceso constructivo o la falla de alguna estructura de la presa.

Cada uno de los sitios de riesgo geológico debe estar perfectamente localizado y se calcula el volumen de material que puede ser desprendido o deslizado así como su tendencia de falla.

Algunos de los riesgos se presentan después de alguna alteración debida al proceso constructivo, como extracción de material o formación de túneles sin embargo en ciertas ocasiones es posible reforzar las estructuras para evitar su falla y asegurar su estabilidad.

3.2.2.8 Riesgo sísmico

Este tipo de estudios se realizan para conocer la actividad sísmica de la zona de construcción. Para llevar a cabo este tipo de análisis debe contarse con registros históricos de sismos de los cuales se conozca su magnitud, frecuencia y epicentro. También deben identificarse fallas y el vulcanismo de la zona ya que estos representan la probabilidad de ocurrencia de sismos no registrados.

La república mexicana está dividida en 4 tipos de zona sísmica, los cuales pueden observarse en la Figura 3.3.2.8 de acuerdo a esta regionalización, se identifica el tipo de zona sísmica para el sitio de la obra y conociendo éste y el tipo de suelo que se tenga es posible obtener un coeficiente sísmico para el diseño de las estructuras de la presa.

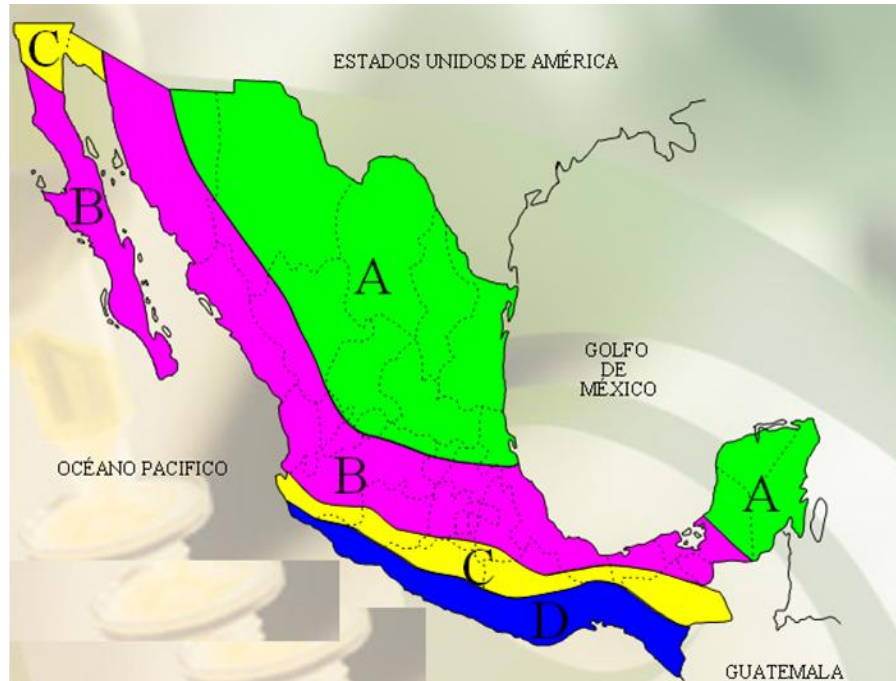


Figura 3.3.2.8 Regionalización sísmica de la república Mexicana, IMSS 2010

El Dr. Luis Esteva, uno de los investigadores más reconocidos en la UNAM; realizó diversos estudios sobre la sismicidad, con los cuales logró obtener para 3 tipos diferentes de suelo, un coeficiente de sismicidad teórico relacionado a cada una de las zonas sísmicas de la república mexicana, ver Tabla 3.3.2.8, recordando que este coeficiente es el cociente de la aceleración del sismo entre la aceleración de la gravedad.

Los tres tipos de suelo se clasifican de la manera siguiente:

- **Suelo Tipo I.** Terreno firme, con presencia de estratos rocosos de suelo muy compacto ubicados a una profundidad menor de 3 metros.
- **Suelo Tipo II.** Terreno de transición, con suelo compacto ubicado a una profundidad entre 3 y 20 metros.
- **Suelo Tipo III.** Terreno compresible con suelo firme a profundidades de más de 20 metros.

En los casos en los que se cuenta con información escasa para la realización del análisis sísmico de algunas regiones, se utilizan datos geológicos y se combinan con datos sismológicos para poder definir regiones con características similares. La magnitud de un sismo se deduce analizando la sismicidad actual de la región en estudio.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ZONA SISMICA DE LA	TIPO DE SUELO	COEFICIENTE DE SIMICIDAD (α)
A	I	0.08
	II	0.12
	III	0.16
B	I	0.16
	II	0.2
	III	0.24
C	I	0.24
	II	0.3
	III	0.36
D	I	0.48
	II	0.56
	III	0.64

Tabla 3.3.2.8 Coeficientes de sismicidad según L. Esteva, Referencia IINGEN

Del estudio geológico, se conocen las fallas, su extensión ubicación y características, también se conoce la época de aparición y su capacidad de deformación; con esta última característica es posible obtener la frecuencia que se tiene para el movimiento de las fallas y su capacidad para disipar energía ya que como bien se sabe, mientras más capacidad de deformación tiene un elemento mayor es su capacidad para disipar energía.

Finalmente, la probabilidad de que un sismo máximo se presente en algún sitio se obtiene de la relación entre la longitud de fallamiento y la magnitud de los eventos sísmicos que han ocurrido en todo el mundo.

3.2.3 Estudio geotécnico

Este tipo de estudios incluye la realización de pruebas de campo que permitan caracterizar los macizos rocosos y determinar parámetros de diseño y ubicación de los sitios y geometría de las excavaciones.

Las pruebas de campo implican la localización de zonas específicas, donde conociendo el tipo de roca que la conforma se elige el tipo de prueba a realizar. En este tipo de pruebas pueden conocerse características tales como la deformabilidad y los desplazamientos producidos por la aplicación de una fuerza. Las propiedades mecánicas e hidráulicas que no son determinadas en pruebas de campo, se obtienen en el laboratorio en donde se definen básicamente la resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad.

Conocidas las características del suelo, se analiza el mecanismo de falla probable por la ocurrencia por ejemplo, en excavaciones; utilizando para ello como herramienta los arcos estereográficos con

las características de las fallas y fracturas del sitio. Estos diagramas incluyen la orientación de taludes y su ángulo de fricción interna, ver Figura 3.2.3.

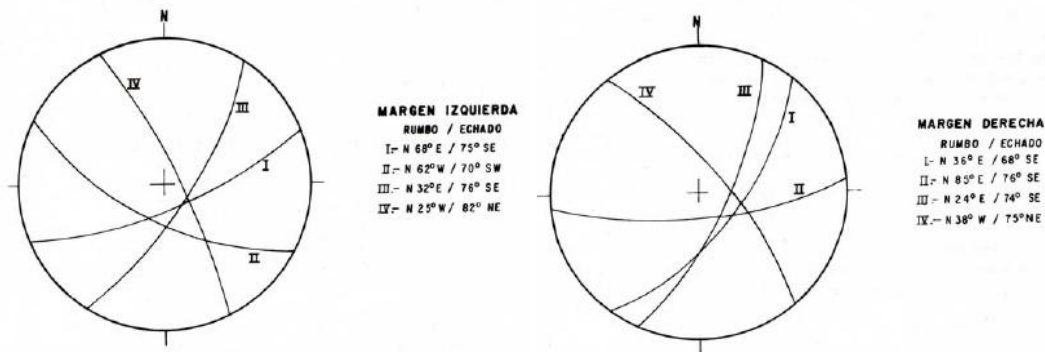


Figura 3.2.3 Estereogramas de los sistemas de fractura para la presa Aguamilpa, Referencia CFE

3.2.4 Estudio hidrológico

En la proyección de presas, un estudio hidrológico es primordial ya que a través de él se conocerán todos los gastos de diseño de las estructuras de la presa y con ellos el diseño para la factibilidad de construcción de la misma.

Un estudio hidrológico básico incluye:

- Reconocimiento de la cuenca a través de sus características fisiográficas
- Análisis de datos de precipitación
- Análisis de datos de evaporación
- Relación lluvia- escurrimiento

Sin embargo, la Hidrología también define las capacidades y elevaciones del vaso de almacenamiento que permiten dimensionar la cortina y obras auxiliares de ésta. Para dimensionar el vaso se utilizan:

- Curvas elevaciones – áreas – capacidades (volúmenes)
- Capacidad de azolves y NAMINO
- Capacidad útil y NAMO
- Avenidas de diseño para la obra desvío y excedencias
- Capacidad de control o regulación, NAME
- Bordo libre

Cada uno de estos parámetros tiene un objetivo específico y van ligados entre sí, por lo que es realmente importante cuidar que todos ellos sean lo suficientemente confiables puesto que un solo error puede arrastrar otros y ocasionar la falla de alguna estructura, causando desastres irreparables.

3.2.4.1 Características fisiográficas

Un estudio hidrológico se inicia con la determinación de las características que experimenta la zona, a ellas se les conoce como características geomorfológicas o fisiográficas y determinan el comportamiento que tiene el escurrimiento a lo largo de la zona en estudio.

La obtención de las características se hace con la ayuda de cartas topográficas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Para un estudio hidrológico las características geomorfológicas de interés, son aquellas que rigen el comportamiento de los escurrimientos, con las cuales es posible, entre otras, identificar su recorrido, tiempo de concentración y la red de distribución de la corriente.

El estudio hidrológico tiene como principal unidad característica a la cuenca que es una región que recibe la lluvia en diferentes formas, desde granizo hasta gotas de agua, y la transporta hacia una corriente principal llevando el agua hacia un punto de salida o descarga.

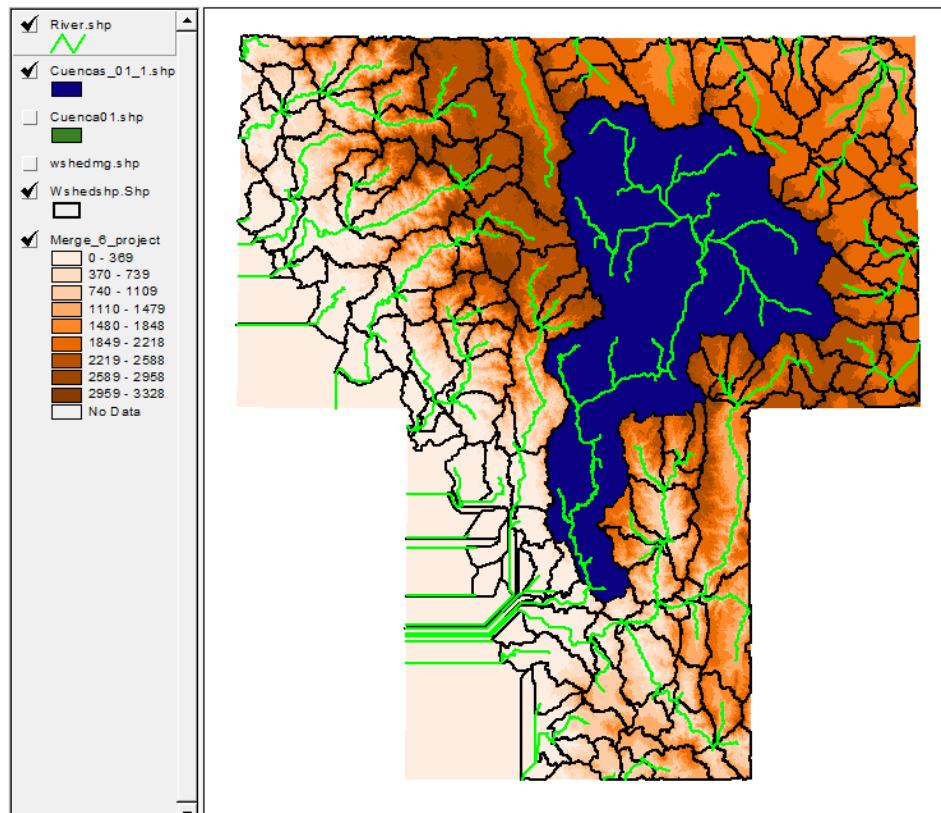


Figura 3.2.4.1 Trazado una cuenca con el programa ArcView

Las características fisiográficas de mayor interés son las siguientes:

Características de la cuenca

- Área
- Forma
- Elevación media

- Pendiente media

Características de la red de drenaje

- Tipos de corrientes
- Orden de corrientes y colector principal
- Densidad de drenaje
- Densidad de corrientes
- Longitud del cauce principal
- Pendiente del cauce principal

Actualmente, son utilizados los sistemas de información geográfica para hacer la modelación de cuencas y obtener sus características geomorfológicas, el más conocido es el ArcView GIS, ver Figura 3.2.4.1

La descripción de estas características incluye la localización de la cuenca, región hidrológica a la que pertenece, colindancias, nombres de las corrientes que contiene y su desembocadura, así como la localización de presas vecinas, si es que estas existen.

3.2.4.2 Manejo de la información

Los tres aspectos de mayor interés en el estudio hidrológico, es la determinación de los gastos de diseño, más específicamente el generado por la corriente donde se ubicará la presa.

Para la obtención de un gasto medio anual de la corriente, deben tenerse registros de aforo de la corriente; con ellos será posible determinar los valores de las avenidas máximas, gastos máximos instantáneos y gastos mínimos para la determinación de gastos de diseño.

Debe contarse con información de muestreos de acarreo superficiales que permitan determinar la capacidad de transporte de sedimentos de la corriente y el volumen medio anual de sólidos en suspensión. Éstos son utilizados para conocer el volumen de azolves que se generará durante la vida útil de la obra.

Los datos climatológicos, es decir precipitación, evaporación y temperatura; son utilizados para conocer las pérdidas de la cuenca producidas por evaporación.

3.2.4.3 Dimensionamiento del embalse

Con cada gasto asociado a una obra es posible dimensionar el embalse y obtener las elevaciones del NAMIN, NAMINO, NAMO Y NAME, así como el volumen muerto.

Un embalse está constituido por 4 niveles principales:

- NAMÍN (Nivel de Aguas Mínimo). Es el nivel considerado para recibir los azolves durante la vida útil de la obra. Se obtiene en base al volumen de sedimentos esperado para la vida útil de la obra.

- **NAMINO** (Nivel de Aguas Mínimo de Operación). Es el mínimo nivel que se puede tener para el funcionamiento de la obra de toma y queda determinado con el gasto de demanda.
- **NAMO** (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias). Es el nivel máximo con el que opera la presa. Determinado con el volumen útil que a su vez se obtiene ya sea de un análisis de la curva masa o con el método del algoritmo de pico secuente.
- **NAME** (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias). Es el nivel máximo que es capaz de resistir la cortina calculado para un valor máximo esperado de una avenida.

Con las elevaciones de cada uno de estos niveles es posible dimensionar la altura de la cortina. Sin embargo, se debe dar una elevación extra, llamado **bordo libre**, que toma en cuenta el movimiento del agua por oleaje y con ello se define la elevación de la corona que corresponde a la parte superior de la cortina.

- **CORONA**. Es la altura máxima de la cortina, cuya elevación corresponde a la elevación del NAME mas el bordo libre.

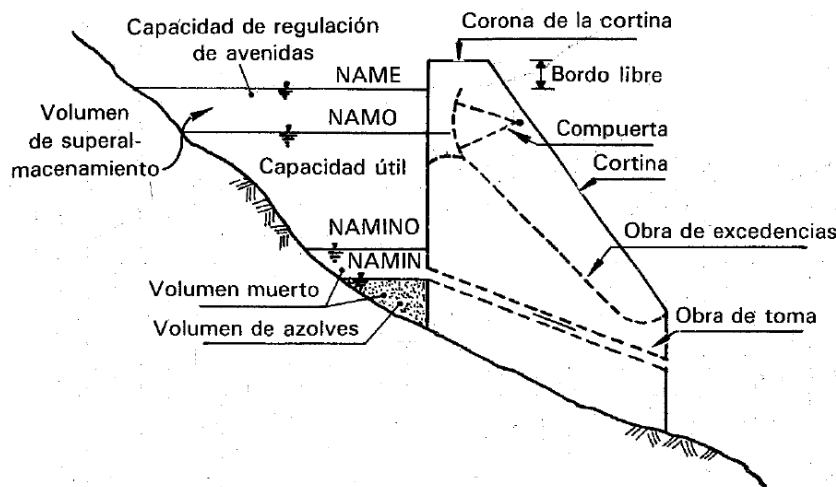


Figura 3.2.4.3 Principales componentes de un embalse, Referencia 4

3.2.4.4 Curvas elevaciones-áreas y elevaciones-capacidades

Para el dimensionamiento de la cortina se utilizan las curvas elevaciones-áreas y elevaciones capacidades. Para conocerlas es necesario contar con las curvas de nivel de la zona de la cortina que pueden ser obtenidas de las cartas topográficas proporcionadas por el INEGI, ya sea en planos o en versión digital manipulable con computadora.

Las áreas pueden ser medidas directamente de un plano con un planímetro o determinadas a través de programas que manejan sistemas de información geográfica (SIG o GIS en inglés). Otra herramienta muy poderosa para la ingeniería civil es el programa AutoCAD que permite el manejo de imágenes, de tal suerte, que al cargar en él un plano digital, es posible obtener las áreas entre cada curva de nivel muy fácilmente.

Con la diferencia de áreas entre curvas de nivel asociada a su elevación media, se obtiene la gráfica elevaciones-áreas. Conocida la diferencia de elevaciones entre curvas de nivel contiguas se obtiene el volumen entre ellas que corresponde a la capacidad de almacenaje del vaso, dibujando estos valores respecto a su elevación media se obtiene la curva elevaciones-capacidades. Es común, representar ambas curvas en una sola gráfica, sin embargo como los valores de volumen son mucho mayores que el de áreas, en la gráfica se requieren diferentes escalas.

Con la ayuda de las curvas elevaciones-áreas-capacidades, se localizará de acuerdo al volumen necesario para cada tipo de obra la elevación mínima que deben tener, de tal forma que conocidos los gastos de diseño de cada una de las obras se puede conocer el volumen que generarán y con este se leerá el valor de la elevación a la que se localizará. Con cada gasto asociado a una obra es posible dimensionar el embalse y obtener las elevaciones del NAMIN, NAMINO, NAMO Y NAME, así como el volumen muerto que a su vez entre todos ayudan a definir la altura de la cortina.

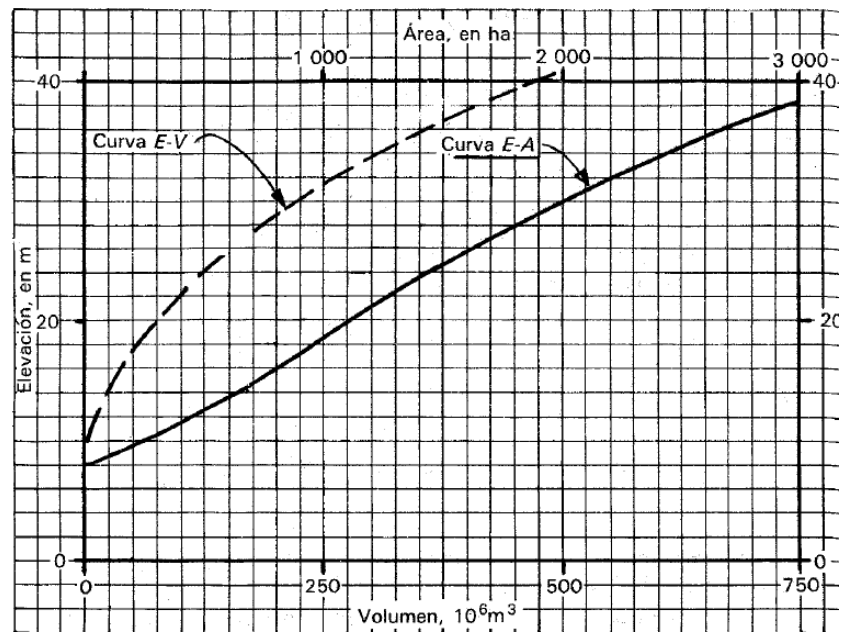


Figura 3.2.4.4 Ejemplo de Curvas Elevaciones-áreas-capacidades, Referencia 4

3.2.4.5 Volumen de azolves, NAMIN y nivel del NAMINO

Para el cálculo del arrastre de sedimentos existen muchos métodos, tanto empíricos como analíticos.

El transporte de una corriente esta dado por su cantidad de transportes en suspensión y por su transporte de fondo. El transporte se calcula como:

$$gt = gs + gb$$

donde

gt transporte total

gs transporte en suspensión

gb transporte de fondo

La determinación de los valores tanto del transporte en suspensión y el transporte de fondo se realiza en base a los aforos realizados en estaciones hidrométricas.

El promedio de los trasportes totales calculados, se multiplica por la vida útil del proyecto y el resultado es el volumen de sólidos esperado; en las curvas elevaciones capacidades se identifica éste valor y se obtiene la elevación correspondiente al NAMIN.

El Nivel de Aguas Mínimo de Operación (NAMINO), se obtiene en base al análisis beneficio-costos, en donde se analiza el costo que representa la obra y sus estructuras, la retribución económica que tendría y el beneficio social que representa. El NAMINO, sólo se tiene en presas de aprovechamiento que requieren una obra de toma que para utilizar el agua almacenada.

3.2.4.6 Capacidad útil y nivel del NAMO

La función primordial de una obra de excedencias es permitir que a través de ella pasen los excedentes de agua de demasías, o sobrantes de agua que ya no caben en el vaso y evitar que estos causen daños en la presa. El nivel de aguas máximo de operación, NAMO indica el nivel a partir del cual comienza a funcionar la obra de excedencias.

Para conocer la elevación del NAMO, se realiza un análisis del volumen de agua del cual se puede disponer para su aprovechamiento. Dependiendo el tipo de presa que se quiera proyectar, se realiza un tipo de análisis para conocer su volumen útil y su nivel de aguas máximo de operación. Un método para obtener el volumen útil es a partir de la generación de una curva masa comparada con la demanda; otro es el algoritmo de pico secuente que calculando la diferencia de los valores máximos de volúmenes almacenados se conoce el volumen útil.

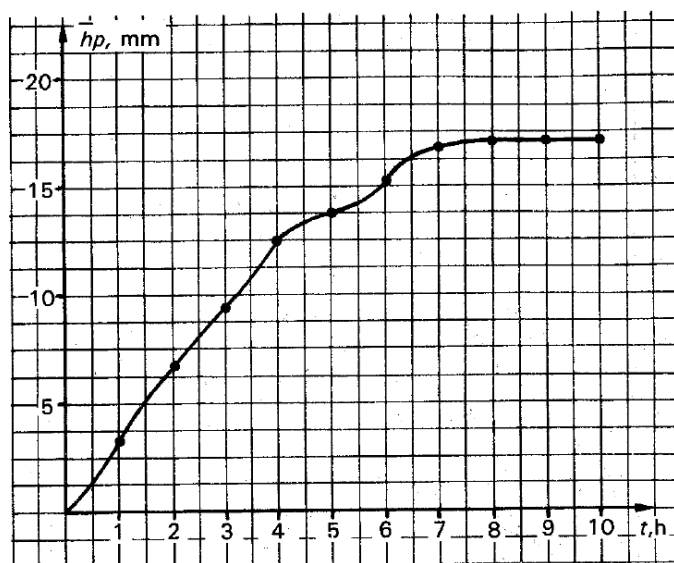


Figura 3.2.4.6 Curva masa media para datos de precipitación, Referencia 4

En casos como los de presas para riego y generación, el NAMO y su correspondiente capacidad útil es obtenido mediante un análisis técnico económico en el que se optimiza el aprovechamiento del agua donde los factores principales de análisis son:

- Generación de energía eléctrica y/o demanda de agua
- Políticas de operación
- Análisis económico de la construcción de la cortina en función de su altura
- Beneficios sociales

Conocido este volumen, se lee directamente el valor de la elevación en las curvas elevaciones-capacidades, la elevación obtenida corresponde a la elevación del NAMO.

3.2.4.7 Avenidas de diseño y nivel del NAME

La carga de diseño para un vertedor, se obtiene haciendo el tránsito de la avenida de diseño por la obra de excedencias.

La diferencia de elevaciones entre el NAMO y NAME corresponde a la carga de diseño del vertedor, valor con el cual es diseñada la obra de excedencias y la estructura de control (vertedor) con o sin compuertas. Una obra de control, como su nombre lo indica; controla los escurrimientos debidos a avenidas, para poder proteger de éstas a las poblaciones localizadas aguas abajo.

El riesgo que representaría la falla de una obra de estas magnitudes es muy grande, implica no solamente la pérdida de la estructura y de su inversión sino también la pérdida de vidas humanas, por lo que es de vital importancia hacer su diseño de acuerdo al riesgo que se desee correr.

El gasto de diseño del vertedor puede ser calculado por medio de 2 métodos; el método numérico, que requiere de programación computacional y el semigráfico, con él resultado obtenido determina un hidrograma de salida que comparado respecto al hidrograma de entrada indica el máximo volumen que se podría presentar, este volumen indica el NAME, Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias.

3.2.4.8 Bordo Libre

El bordo libre es la capacidad extra de almacenamiento que se deja sobre la elevación del NAME. Evita que el agua sobrepase la corona de la cortina en caso de oleaje producido por vientos que pudieran actuar sobre la superficie del agua del vaso. El cálculo de él se calcula por varios métodos, sin embargo el más sencillo de ellos se describe a continuación. Éste método se realiza utilizando la longitud más grande medida desde el punto más alejado del vaso de almacenamiento del embalse hasta la cortina; a esta longitud se le conoce como Fetch.

El Fetch, se puede conocer por medio de la curva de nivel, en la cual se ubica la elevación del agua al NAME y con ello se localiza directamente el punto más alejado hasta el eje de la cortina. Conociendo el Fetch se recurre a una tabla proporcionada por el USBR, que se muestran a continuación el bordo libre normal y el mínimo, ver Tabla 2.2.4.8.

Para valores del fetch, que estén fuera de los mencionados, se dibujan los datos propuestos y con ello se puede interpolar para conocer el otro dato.

FETCH (Km)	BORDO LIBRE NORMAL (m)	BORDO LIBRE MÍNIMO (m)
menor de 1.609344	1.2192	0.9144
1.609344	1.5240	1.2192
4.02336	1.8288	1.5240
8.04672	2.4384	1.8288
16.09344	3.0480	2.1336

Tabla 3.2.4.8 Bordos libres recomendados por el USBR, Referencia 1

3.2.5 Análisis beneficio – costo

Uno de los estudios previos más importantes que se realizan antes de la construcción de una presa es el análisis beneficio-costos, con él es posible determinar las ventajas, desventajas, aportaciones y afectaciones que una obra de este tipo puede traer con su construcción.

Muy satanizado está el hecho de que las presas producen grandes afectaciones al entorno natural y a nivel social. El análisis beneficio-costos toma en cuenta todos los factores que influirían en la construcción de una presa.

Los problemas principales que se llegan a presentar son los siguientes:

- Desplazamiento de personas
- Alteración del flujo de agua afectando actividades económicas de otras regiones.
- Daños arqueológicos
- Afectaciones al medio ambiente

Con la inundación del vaso de almacenamiento en algunas ocasiones es necesario reubicar de lugares donde existían asentamientos humanos, sin embargo no se deja desprotegidas a estas personas ya que se les cambia y construyen nuevas viviendas; además, la construcción de la obra genera fuentes de trabajo y crea medios de comunicación que favorecen el desarrollo de estas nuevas comunidades.

En cuanto a efectos hidrológicos desfavorables, se tienen la retención de sedimentos, erosión del fondo del río, cambio en las secciones transversales de ríos y desequilibrio de las descargas de los ríos al mar, considerando a esto como una alteración del entorno. La afectación al medio ambiente es una de las más cuidadas en la actualidad, esto se debe a que existe cada vez más información al respecto, producidas por el desarrollo e investigaciones ambientales. Las afectaciones más reconocidas ante estas obras son la reducción de la calidad de agua dulce y nutrientes del mar; la salinización de los distritos de riego, pérdidas de bosques y fauna, así como la emisión de gases de efecto invernadero producidas por la descomposición de materia orgánica inundada por el vaso.

Hay que tomar en consideración que el ser humano requiere de la explotación de ciertos recursos naturales para su desarrollo y su sobrevivencia y el ingeniero civil está al tanto de la problemática que una sobre explotación de éstos puede ocasionar, es por ello que esta clase de obras incluyen dentro de su planeación una manifestación de impacto ambiental en la cual se desarrollan y proponen medidas de prevención, mitigación y saneamiento a esta clase de afectaciones. Sin

embargo, sigue existiendo una gran desaprobación ante la construcción de presas, por algunos sectores de nuestro país.

Económicamente la mayoría de las presas de aprovechamiento no cumplen con sus expectativas de explotación planeada, sin embargo si cumplen con aprovechamientos a nivel social, durante su vida útil y después de esta.

Como se ha mencionado con anterioridad, la construcción de una presa tiene básicamente 2 propósitos: Aprovechamiento y defensa o bien derivación.

Una presa de aprovechamiento; analizada a nivel social, trae consigo mejores calidades de vida a las poblaciones que se benefician de ésta, favoreciendo actividades económicas como la agricultura, proveen de agua a regiones donde no se dispone del vital líquido, la energía eléctrica que es uno de los mayores descubrimientos que tiene el hombre y que han contribuido al desarrollo de innumerables avances tecnológicos es generada en centrales hidroeléctricas que contaminan en menor proporción que otros tipos de plantas de generación. Por otro lado, las presas construidas para defensa, disminuyen o evitan los daños que podría ocasionar una avenida que no se tuviera controlada.

En términos generales, las presas ayudan a satisfacer las necesidades humanas mejorando su calidad de vida y protegiéndolas ante desastres naturales. Como se conoce, el ingeniero civil tiene como misión, utilizar sus conocimientos a favor y beneficio de la sociedad por lo que la construcción de este tipo de obras no tendría por qué ser la excepción.

3.3 Componentes de una presa

Una presa la constituyen varios componentes, ya sean naturales o hechos por el hombre, entre los principales se encuentran:

- **Cuenca:** Área de captación de la lluvia.
- **Parte aguas:** Es el límite de la cuenca y como su nombre lo indica separa el agua entre cuencas vecinas.
- **Vaso de almacenamiento:** Se forma por la presencia de la cortina.
- **Boquilla:** sitio donde se localiza la cortina.
- **Vaso:** es el área en dónde queda almacenada el agua formando un lago artificial.
- **Cortina:** obstáculo que se interpone a la corriente para formar un vaso de almacenamiento.
- **Obra de desvío:** Permite desviar la corriente del río para permitir la colocación de la cortina.
- **Obra de excedencias:** Su objetivo es descargar el agua que está en exceso dentro del vaso de almacenamiento.
- **Obra de toma:** Su función es extraer el agua del vaso de almacenamiento en forma controlada para satisfacer una o varias demandas.
- **Obra de control:** Se dice que es de control ya que permite regular el agua que es desalojada por la obra de excedencias y poder dosificarla para garantizar la seguridad de las poblaciones aguas abajo.

Después de la obra de toma, existen otros elementos que son los siguientes

- **Obra de conducción:** Conduce el agua que sale por la obra de toma y lo hace por medio de tuberías y/o canales.
- **Obra de distribución:** Como su nombre lo indica distribuye el agua.
- **Obra de utilización:** Por medio de ella se utiliza el agua para satisfacer la demanda.
- **Obra de eliminación:** Su objetivo es desalojar el agua una vez que es utilizada.

DEMANDA	CONDUCCIÓN	REGULACIÓN	DISTRIBUCIÓN	UTILIZACIÓN	ELIMINACIÓN
AGUA POTABLE	Tubería y planta potabilizadora	Tanques	Red primaria y secundaria	Toma domiciliaria	Drenaje sanitario
RIEGO	Canal principal	Compuertas	Canal secundario	Parcela (tipo de riego)	Drenaje agrícola
GENERACIÓN DE ENERGÍA	Tuberías	Válvula	Tubería	Tuberías	Desfogue

Tabla 3.3 Estructuras secundarias de una presa

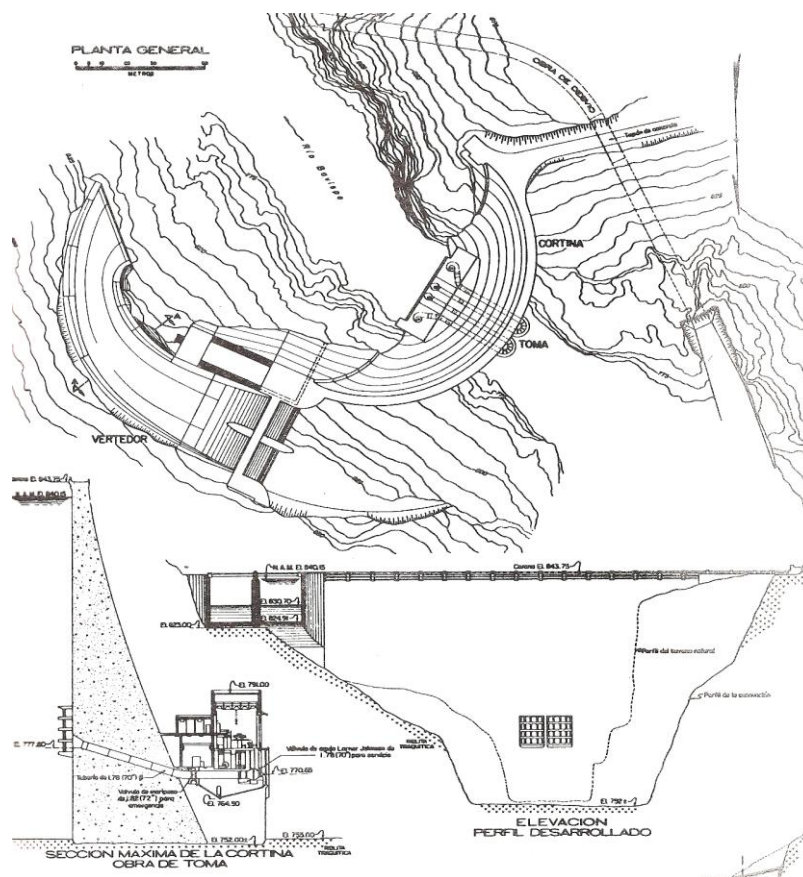


Figura 3.3 Plano general de una presa y sección transversal de una cortina en arco, Fuente CONAGUA

3.4 Clasificación de las cortinas

Las cortinas pueden ser clasificadas de acuerdo a tres características básicas:

- Altura estructural
- Función
- Materiales

De acuerdo a su altura estructural las cortinas se clasifican con los parámetros siguientes:

- Las cortinas se consideran altas si su altura es mayor a 100 metros
- Son cortinas de altura media aquellas entre 30 y 100 metros de altura
- Las cortinas bajas miden menos de treinta metros de altura.

La altura estructural se mide desde la corona hasta la cimentación y la altura hidráulica desde el NAME hasta la cimentación.

Considerando su función las presas se clasifican como de aprovechamiento o de defensa, su descripción se mencionó en los subcapítulos 2.1 y 2.2.

Una clasificación más detallada de las cortinas es de acuerdo a su material de construcción, en ella se tienen:

- Rígidas
- Flexibles
- Materiales mixtos.

A su vez las cortinas rígidas pueden ser de tres tipos:

- De gravedad
- De arco
- De contrafuertes

Las cortinas flexibles pueden ser clasificadas como:

- Homogéneas de tierra o enrocamiento
- Materiales graduados

Las cortinas de materiales mixtos, son las que se construyen en su mayoría por materiales sueltos y en su paramento mojado se coloca una cara o pantalla de concreto reforzado. A pesar de que su material de construcción incluye concreto, éstas son consideradas flexibles ya que sufren pequeñas deformaciones durante el llenado del vaso.

Otro tipo de cortinas mixtas son aquellas en donde se combinan diferentes tipos de cortinas como es el caso de la presa Huites (Luis Donaldo Colosio), una cortina rígida compuesta por una cortina de arco y otra de tipo gravedad, ver figura 2.4 o bien el caso de la presa Don Martín que consta de una sección de tierra y otra de machones de cabeza redonda.

NOCIONES DE ESTABILIDAD DE CORTINAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

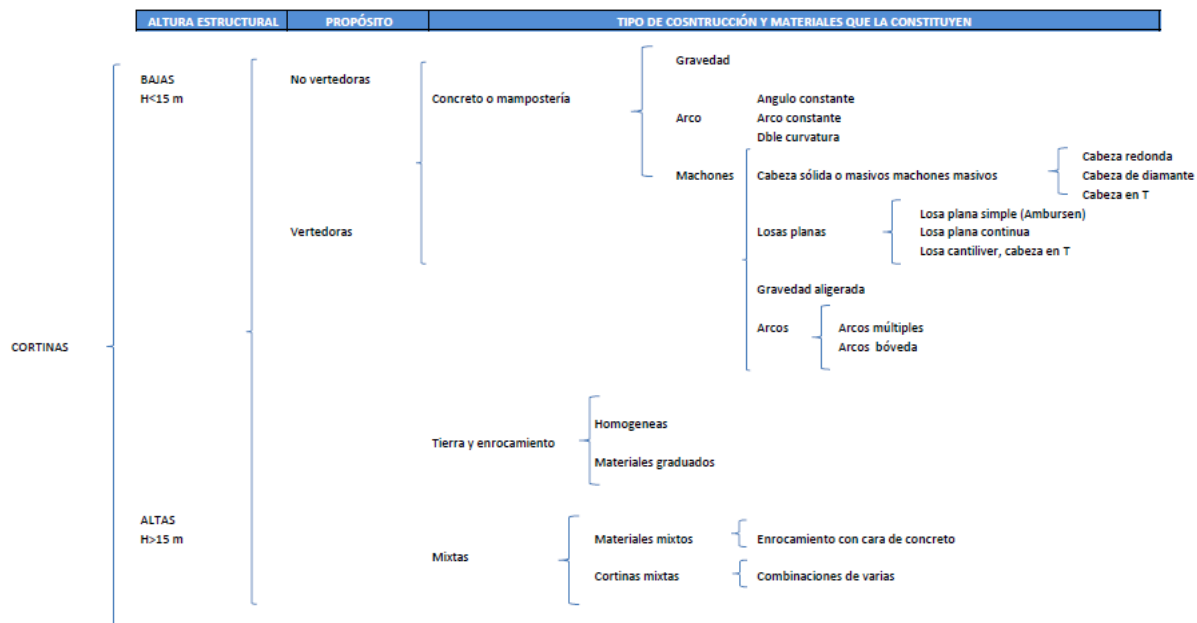


Figura 3.4 a) clasificación de las cortinas, Referencia 6



Figura 3.4 b) Huites, cortina tipo gravedad en combinación con la cortina de arco

3.4.1 Cortinas rígidas

Este tipo de cortinas presentan deformaciones pequeñas, son construidas con materiales cementados que resisten las fuerzas actuantes, ya sea por su peso propio o transmitiéndolas a su cimentación por medio de su arreglo estructural.

Se consideran cortinas rígidas:

- Cortinas de contrafuertes y arcos múltiples
- Cortinas de gravedad (Concreto, Concreto rodillado, mampostería)
- Arco o arco bóveda

3.4.2 Cortinas flexibles

Las cortinas flexibles son aquellas que presentan deformaciones altas durante el llenado del vaso y durante sus procesos constructivos. Los principales materiales con los que se construyen son: arcillas, arenas, mezclas de arena, grava y limo, rocas y rezaga producto de excavaciones, de acuerdo al tipo de material que se utilice y su acomodo estas cortinas pueden ser:

- Cortinas homogéneas de tierra
- Cortinas de materiales graduados
- Cortinas de tierra y enrocamiento
- Cortinas de enrocamiento con pantalla impermeable

3.5 Selección del tipo de cortina

Cada uno de los estudios previos influye en la selección del tipo de cortina.

Con la topografía es posible identificar los sitios angostos de una corriente que representan los lugares más favorables para la ubicación del eje de la cortina.

Con los estudios geológicos y geotécnicos se define los tipos y calidad de rocas de que se disponen, si se tienen bancos de materiales con suficiente cantidad de arcillas, lo mas recomendable es realizar una cortina homogénea de tierra, si se disponen de variedad de materiales, entre ellos arcillas, arenas y gravas, puede pensarse en proyectar una cortina de materiales graduados o con filtros; para un sitio donde se tienen grandes cantidades de roca, es viable construir una cortina de enrocamiento o de mampostería; si el estudio revela gran cantidad de rocas cuyas características son óptimas para la fabricación de agregados entonces se pensaría en una cortina rígida.

Las características del suelo de cimentación también es un factor determinante en la selección del tipo de cortina puesto que si se tiene una roca sólida con gran capacidad de carga y poca infiltración soportaría cualquier tipo de cortina sin problema alguno. Sin embargo, si la zona de cimentación está compuesta en su mayoría por gravas bien compactadas, su capacidad de carga reduce y se limitaría a construir presas de tierra o rígidas pero de altura media, mientras que no existiría mayor problema para construir cortinas de enrocamiento o de materiales graduados.

Si el sitio de cimentación de la cortina se conforma por materiales finos, como limos o arenas la zona quedaría limitada a construir cortinas de gravedad de baja altura. Las cortinas de enrocamiento en estos casos no son una buena opción, ya que ello implicaría colocar un gran peso sobre el suelo provocando asentamientos fuertes.

El sitio donde se cuente con material arcilloso para el desplante de la cortina, no se recomiendan las cortinas de gravedad y para la construcción de cortinas de materiales naturales se requiere aplicar un tratamiento especial de acuerdo a las características de consolidación y capacidad de carga de la arcilla todo ello para evitar asentamientos excesivos del cuerpo de la cortina.

Sin embargo, la ubicación de los bancos de materiales disponibles también influye en la selección de el tipo de cortina, ya que si los bancos de materiales no se encuentran en una zona cercana al sitio de construcción, se generarían gastos de transporte para el material; de manera semejante sucede al tener material disponible para la fabricación de concreto en donde debe evaluarse el costo que implicaría la maquinaria, extracción de material de los bancos y tiempo de fabricación.

La ubicación de la obra de excedencias en algunos casos es determinante. En las cortinas de machones y de tipo gravedad es posible ubicar los vertedores detrás del cuerpo de la cortina, lo que implica que no se necesitaría elegir un lugar topográficamente adecuado para la ubicación de los vertedores, como sucede para las cortinas flexibles. El incluir la obra de excedencias en cortinas rígidas implica reducir los costos de una obra de excedencias independiente. Sin embargo, la fabricación de concreto y los procesos para su colocación pueden resultar ser más costosos que utilizar los materiales naturales sueltos con alguna técnica de compactación.

Tanto en cortinas de arco como de contrafuertes, la boquilla debe presentar una buena resistencia a la compresión ya que la función de estas cortinas consiste en recibir las fuerzas actuantes por medio de sus elementos estructurales y transmitirlos a su cimentación.

Los sismos son otro factor al que quedan expuestas las cortinas, si la zona de construcción se encuentra en una zona de alta sismicidad es preferible construir cortinas que tengan la capacidad suficiente para disipar la energía producida por un sismo, como son las cortinas de tipo gravedad y las de tierra; por el contrario construir una cortina de arco en una zona de alta sismicidad no es recomendable puesto que las estructuras que la conforman no admiten desplazamientos en su cimentación. Las cortinas de contrafuertes, resisten mejor el efecto sísmico en sus elementos, sin embargo como en el eje longitudinal de la cortina su estabilidad es menor, por lo que si se decide construir una cortina de este tipo en una zona sísmica, deben considerarse en su diseño refuerzo rigidizante (atiezadores).

La forma de la boquilla en una presa también es un factor determinante en la selección del tipo de cortina; en sitios donde la altura de la cortina es menor o proporcional al ancho de su cauce, se toman en consideración, las cortinas de tipo gravedad, las de contrafuertes y cualquier cortina de materiales naturales sueltos. Cuando la forma de la boquilla tiene una gran altura respecto al ancho del cauce, en forma de V, las cortinas de arco representan una buena opción.

Sin embargo en la selección del tipo de cortina también interviene el aspecto social y económico de la zona donde se construirá la presa, es decir hay que tomar en cuenta también la derrama económica que se genera en la región.