

ASPECTOS DEL PROYECTO DE CIMENTACIÓN DE PRESAS

Bertha Venancio Cortes

Facultad de Ingeniería Cu-Sur, Chilpancingo Gro. México Te: (747), 2186220 C.P.39087
berthavenancio9@gmail.com

Francisco Javier Vázquez Jiménez

Facultad de Ingeniería Cu-Sur, Chilpancingo Gro. México Te: (747), 1002904
C.P.39087 04118@uagro.mx

José Luis Dionicio Apreza

Facultad de Ingeniería Cu-Sur, Chilpancingo Gro. México Te: (747), 1191590 C.P.39087
02518@uagro.mx

Daniel Delgado de la Torre

Facultad de Ingeniería Cu-Sur, Chilpancingo Gro. México Te: (747), 5290564 C.P.39087
13702@uagro.mx

ABSTRACT

This article deals with the most important aspects of dam foundations. One aspect that guarantees the functionality of a dam is that it does not allow the passage of water, so the selection of the materials that will form the body is one of the most important. The foundation must also be impermeable, as well as the stability of the slopes. The study of soil mechanics and the quality of the terrain must be known with a good degree of certainty to avoid problems during the development of the project. This document presents the general construction process to be carried out and the aspects of the previously conceived project.

RESUMEN

Este artículo trata de los aspectos más importantes de la cimentación de presas. Un aspecto que garantiza la funcionalidad de una presa es que no permita el paso del agua, por lo que la selección de los materiales que formaran el cuerpo es de los más importante. El desplante también debe ser impermeable, así como la estabilidad de los taludes. El estudio de mecánica de suelos y la calidad del terreno deben conocerse con buen grado de certidumbre para evitar problemas durante el desarrollo del proyecto. Se presenta en este documento el proceso constructivo general que hay que realizar y los aspectos del proyecto previamente concebido.

KEYWORDS

Foundation, injection, dams.

Palabras reservadas

Cimentación, inyección, presas.

INTRODUCCIÓN

Una presa es un cuerpo de tierra y rocas o de concreto hidráulico que tiene como objetivo almacenar agua proveniente de un arroyo, un río o producto de las lluvias.

Al cimentar una estructura, generalmente se busca que el terreno de apoyo sea lo suficientemente resistente, para soportar las cargas transmitidas, por el peso de la misma, y otros efectos como el sismo.

Para el caso de una Presa, esto no es suficiente, se requiere que además de lo anterior, sea lo suficientemente impermeable para evitar filtraciones de agua o arrastre interno de partículas de suelo. Por ello, la selección de los suelos que conformará el cuerpo debe cumplir con ciertas características de permeabilidad.

Si la presa se desplanta sobre roca, esta debe ser también impermeable, para ello se deben realizar estudios de mecánica de rocas, para conocer su calidad, grado de alteración, resistencia y estructura y si es necesario realizar trabajos de mejoramiento por medio de inyecciones a presión de lechada de cemento u otros aditivos, aplicada con compresor.

Una presa puede desplantarse también en suelos si el o los espesores son grandes, y aquí también se procede a impermeabilizar el terreno por medio de inyecciones o por medio de un corazón o núcleo impermeable al centro del cuerpo, que algunos llaman pantalla impermeable.

En este trabajo se presentan los aspectos importantes del proyecto de presas de tierra y enumerando y describiendo los pasos del proceso constructivo.

Los trabajos previos al proyecto inician con un recorrido de posibles sitios para construir la presa.

Se hace un recorrido aéreo y actualmente con la herramienta de google es posible encontrar sitios de una forma más fácil. Se buscan lugares donde el ancho sea el menor posible, como primera intención de minimizar costos. El recorrido también busca localizar los materiales adecuados para conformar la presa y de preferencia una zona donde aflore la roca.

1.- MARCO TEÓRICO

Una presa se puede definir como una barrera o estructura que atraviesa un arroyo o río para retener el agua y, por lo tanto, controlar el flujo. Las presas varían en tamaño y pueden ser pequeños terraplenes de tierra, pequeñas presas o presas utilizadas como abrevaderos para el ganado o uso general de agua, otras pueden convertirse en estructuras altas y sólidas de hormigón armado y se utilizan a menudo para el suministro de agua, hidroeléctrica y riego.

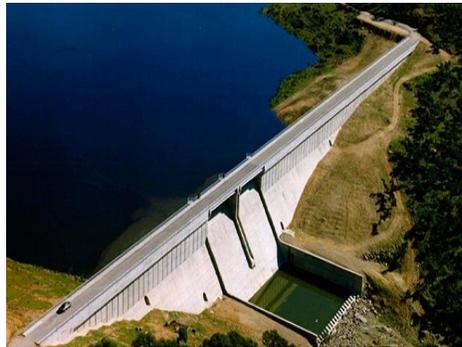


Figura 1. Presa de concreto hidráulico

LAS PRESAS EN MÉXICO

Las presas han representado importantes y grandes proyectos que han desarrollado regiones enteras en el manejo del agua para diferentes usos las más grandes para energía eléctrica y han sido fundamentales para el desarrollo y progreso de nuestro país.

Las presas en México datan de la época prehispánica, la represa Purrón o Maquitongo en Tehuacán, Puebla, es una de las más antiguas (750-600 a. C.) y tiene 900 años de uso, pero también Documentación de ingeniería hidráulica controlada. medidas de protección vial o contra inundaciones.



Figura 2. Presas de materiales sueltos

USOS Y BENEFICIOS DE LAS PRESAS

Actualmente una presa puede ser multipropósitos, debido a que la población recibe beneficios domésticos y económicos de una sola inversión.

- Riego
- Aplicaciones domésticas y municipales
- Usos industriales
- Abastecimiento
- Recreación
- Control de inundaciones
- Producción de energía eléctrica.
- Pesca

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA PRESA

- **Cortina.** También llamada “represa”, es la construcción en su conjunto.
- **Coronación.** La parte superior de la estructura.
- **Caras, parámetros o taludes.** Las dos caras que forman el cuerpo una de ellas puede ser vertical (presa de concreto Hidráulico) y determinan el espacio de la presa.
- **Compuertas.** Las encargadas de regular el caudal de agua que atraviesa la presa.
- **Estribos.** Las estructuras que delimitan los costados del muro o dique.
- **Vertedero.** La parte que elimina los excedentes de agua cuando la presa se encuentra a su nivel máximo, La capacidad de vertido debe ser mayor que el gasto máximo en el cauce original. De otra manera se corre el riesgo de
- **Obras de Toma.** Las estructuras que obtienen el agua de la presa, que después tendrá distintos usos.
- **Vaso de almacenamiento.** Determina el área inundada. El aspecto ambiental aquí es determinante, las especies cubiertas por el agua deben protegerse o reubicarse.

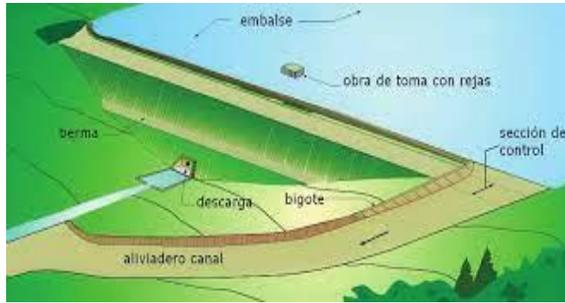


Figura 3. Elementos constitutivos de una presa

TIPOS DE PRESAS

Las presas se clasifican según el material con el que se construyen.

Presas de fábrica: Las presas de concreto hidráulico o de mampostería, Son las denominadas presas de gravedad, presas bóveda o presas de contrafuertes.

- Las presas de gravedad
- Las presas bóveda
- Las presas de contrafuerte

Las presas hechas a partir de suelos y de rocas son las llamadas presas de tierra y enrocamiento.

Las presas de materiales: sueltas se construyen con tierra o una mezcla de tierra y roca. Los ingenieros a menudo optan por construir este tipo de presas en sitios con suelos de alta calidad y abundantes recursos rocosos.



Figura 4. Tipos de presas

ESTUDIOS REQUERIDOS PARA EL PROYECTO DE UNA PRESA

Los trabajos previos al proyecto inician con el reconocimiento del sitio, proponiendo generalmente tres sitios probables, buscando por medio de mapas topográficos de la INEGI, los lugares donde el cuerpo de la presa ocupe los menores volúmenes posibles, pero garantizando el volumen de almacenamiento suficiente para cumplir la demanda, sea para zona de riego o para la ganadería, agua potable, recreación, pesca, turismo o generación de energía eléctrica.

Una vez seleccionado el sitio, se procede al levantamiento topográfico de detalle del sitio de la presa y del vaso de almacenamiento con la cuantificación y definición de la zona inundada por el vaso y volumen almacenado. Se continúa con los cálculos hidrológicos de la cuenca, o a los gastos máximos, aportados en caso de una corriente permanente o por las lluvias de mayor intensidad de la zona.

Uno de los aspectos que más influyen en la seguridad de la presa es la calidad de la roca basal o el mejoramiento del terreno de apoyo. Es posible que la presa se desplante sobre capas de suelos que se encuentran descansando sobre la roca.

Estos suelos deben ser caracterizados ampliamente por medio del estudio de Mecánica de Suelos. Esto mismo se debe realizar la roca basal con pruebas especiales.

Son necesarios realizar los siguientes estudios:

- Estudios geológicos: descartar riesgos significativos para la seguridad de represas y embalses (deslizamientos importantes, presencia de fallas activas, cuevas o fisuras y discontinuidades en el lecho rocoso) y determinar tipos de rocas
- Estudios geotécnicos: para poder saber con calidad de las rocas, tipo de suelos con que se cuenta en el embalse y alrededores, puesto que estos materiales serán utilizados en la construcción de la presa (si es de tierra).
- Estudio de Mecánica de Rocas. Generalmente se solicita especialmente conocer las propiedades Mecánicas de la Roca basal con pruebas como el RQD (índice de calidad de la roca), permeabilidad y Resistencia. Se obtienen muestras de la roca y se realizan Pruebas de campo sobre todo de permeabilidad (Prueba Lugeon). De esta información es posible, planear la inyección en rocas, si es que se detectan fisuras o discontinuidades que hay que sellar.
- Estudios hidrológicos: Entender el caudal de demanda disponible en la cuenca, y la escorrentía e infiltración de los suelos del embalse. El volumen máximo de agua por unidad de tiempo será el que rige la dimensión del vertedor el cual debe tener una capacidad de gato mayor para evitar riesgo de desborde de la presa por la corona.
- Estudios topográficos: Comprender la topografía del terreno, ubicar mapas y aspectos geográficos del terreno.
- Estudios económicos: se evaluará las repercusiones económicas que se producirá como consecuencia de la construcción de la presa. Si los costos son altos se analizan otras opciones más económicas, pero cuidado de no afectar el objetivo principal: almacenar el mayor volumen posible.
- Estudios de impacto ambiental: Ser capaz de identificar posibles cambios en el entorno geológico debido a la construcción de presas permite tomar algunas medidas preventivas y predicciones.



Figura 5. Prueba lugeon para determinar la Permeabilidad.

NORMAS PARA CIMENTACIÓN DE LAS PRESAS

El artículo 100 de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establecerá las normas o tomará las medidas necesarias para evitar que la construcción u operación de obras hidráulicas altere las condiciones de los caudales de agua o los ponga en peligro para el medio ambiente. La vida de las personas y la seguridad de su propiedad o la integridad del ecosistema..

2.- PROPIEDADES DE LAS ROCAS

Roca es un agregado natural de uno o más minerales, existente bajo las capas de suelos superficiales. Es un material formado como consecuencia de un proceso geológico como volcanes, sedimentación, transformaciones de otras rocas (Rocas metamórficas).

Los diferentes tipos de rocas son tres: sedimentarias, metamórficas y magmáticas (ígneas).

Las propiedades de carácter cualitativo como la porosidad la dureza, color mineralogía, clasificación son para diferenciar una de otra.

Las características que más interesa desde el punto de vista técnico son la Resistencia a la Compresión calidad de la roca basal en el sitio, la Permeabilidad, la estratificación o discontinuidades y la calidad, obtenida del RQD (Índice de calidad de la Roca).



Figura 6. Tipos de roca según su origen

CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

La primera clasificación de los macizos rocosos fue propuesta por Terzaghi en 1946 y es referida por algunos como teoría de carga de roca o (rock load Theory), la cual consistía en un sistema simple aplicable principalmente a túneles para calcular las cargas que debían soportar estructuras de acero en el túnel.

Clasificación	Consideraciones
Roca Intacta	Sin diaclasas, rotura por roca intacta.
Estratificada	Estrato con baja resistencia en los límites
Moderadamente fisurada	Pequeños bloques entre diaclasas. No requiere sostenimiento lateral
Fragmentada y fisurada	Se requiere de sostenimiento en paredes aledañas
Triturada	Fragmentos pequeños
Descompuesta	Porcentaje alto de partículas arcillosas
Roca expansiva	Minerales arcillosos con capacidad de hinchamiento

Tabla 1 – Clasificación Terzaghi

Pero no fue hasta 1964 que se propuso una métrica de clasificación general, y es una de las más utilizadas en la actualidad, denominada índice de calidad de la roca (RQD) o índice de calidad de la roca.

RQD es el cociente de la suma de las longitudes de los segmentos de núcleo con una longitud mayor o igual a 10 cm dividida por la longitud de alimentación del inyector durante la perforación, expresado en porcentaje. La sección del núcleo debe estar delimitada por fracturas inherentes al macizo rocoso, no por fracturas inducidas durante el muestreo o las maniobras a las que son sometidos, las cuales, en caso de ocurrir, serán ignoradas al registrar la longitud del núcleo.

$$RQD(\%) = 100 * \left(\frac{\text{longitud de los núcleos mayores de } 100\text{mm}}{\text{largo de la longitud muestreada}} \right)$$

Está normalmente aceptado que el RQD se establece en núcleos de cuando menos 50 mm de diámetro, recuperados con una perforadora de diamante de doble barril.

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de vista en la ingeniería. Las dimensiones del muestreador son normalmente de 3 o 4 pulgadas de diámetro y 60 cm de largo. Se mide la longitud de los tramos mayores de 10cm y se divide entre la longitud del muestreador y multiplicado por cien queda en porcentaje.

Un RQD de 75% como mínimo se considera característico de una roca de buena calidad, de 50 a 75% se considera regular y aquí ya se hace necesario el mejoramiento de la roca por medio de inyección de lechadas agua cemento o algún otro aditivo fino (materiales más finos que el cemento).

RQD	Calidad de la roca
< 25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy buena

Tabla 2- calidad de la roca de acuerdo al RQD, por Deere.

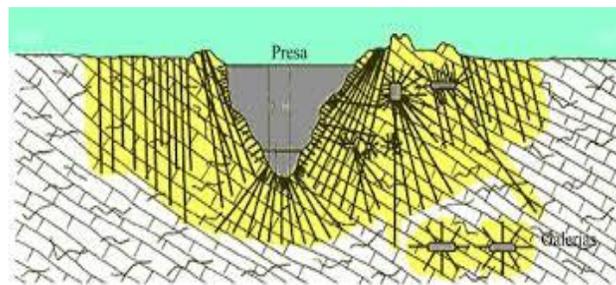


Figura 7.- Inyección en roca fracturada

3. SELECCIÓN DEL TIPO DE CIMENTACIÓN

El proyecto de una cimentación consiste primeramente en la elección de un sistema de transmisión de cargas al terreno que se ajuste a su naturaleza y resistencia.

El tipo de cimentación más adecuada es aquella que se admite una capacidad de carga suficiente, afectada por un factor de seguridad y que no presente asentamientos fuertes. Si la presa es de concreto hidráulico generará mayores cargas en un área menor, a diferencia de la presa de tierra, cuyo peso se distribuye en un área mucho mayor, por su forma trapezoidal.

La presión que genera la presa sobre el terreno se calcula con el peso volumétrico del material multiplicado por la altura proyectada. Si la presa tiene 20 metros de altura, la presión mayor corresponde a la parte de la corona será de aproximadamente 40 toneladas por metro cuadrado, esta carga será transmitida al terreno, que como se mencionó con anterioridad puede estar conformado con capas de suelos o ser la roca base.

Dependiendo del análisis económico, lo preferible es desplantar sobre roca que sobre suelos, por las deformaciones que estos últimos pueden presentar con el tiempo. En roca los asentamientos serán mucho menores.

Si existen espesores grandes de suelo sobre la roca basal, resulta un costo muy elevado si se desea eliminar esos suelos. Es necesario prolongar el corazón impermeable a través de esos suelos hasta llegar a la roca sana.

Una vez elegido el tipo de cimentación, se procede a realizar el dimensionamiento tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Determinación de la capacidad de carga de la roca, así como de sus propiedades mecánicas y caracterización de la misma.
- Cálculo de asentamientos que experimentará la roca debida a las cargas de servicio y cargas extraordinarias si las hubiera.
- Determinación de efectos debidos a la presencia de agua.
- Modos y mecanismos de falla, así como las condiciones de esfuerzo.
- Las posibles consideraciones a tomar por la presencia de alguna falla o fractura que debiliten el comportamiento mecánico de la cimentación.

Una vez analizados estos parámetros, finalmente durante la construcción se realizan observaciones y mediciones para corroborar el comportamiento de la cimentación y si es necesario realizar los ajustes pertinentes.

Los tipos de cimentación sobre roca para presas generalmente se trabajan en contacto presa-roca, con o sin mejoramiento. Dependiendo de la calidad y resistencia de la roca comparada con los esfuerzos actuantes producidos por peso propio y sismo generalmente. Las pruebas de permeabilidad de la roca serán las que aporten información de discontinuidades, fisuras y del muestreo de las rocas se obtienen datos de estratificación o echado (orientación, rumbo o inclinación de los estratos) que permitirá definir la dirección de las perforaciones para la inyección.

PROCESO CONSTRUCTIVO

El proyecto definitivo debe detallar el conjunto de actividades de la obra, las actividades más importantes se describen brevemente a continuación.

- Trazo y nivelación
- Delimitación del área de contacto de la presa
- Despalme: quitando capa vegetal (si desplantas sobre suelos). Aquí es importante considerar una pantalla impermeable que se coloca bajo y en contacto del núcleo o corazón impermeable. Si los suelos son puramente arcillosos esta pantalla no es necesaria, porque la arcilla es impermeable, la prueba de permeabilidad aportara el dato.
- Eliminación de las capas de suelos, si se va a desplantar sobre roca (depende del espesor de suelo y de los costos). Si los espesores de suelos son grandes esto puede resultar antieconómico. Esto es viable cuando el espesor del suelo sobre la roca es pequeño, cuatro o cinco metros de espesor.
- Mejoramiento del macizo rocoso por medio de inyección en la roca o el suelo según sea el caso, lo que se busca es evitar filtraciones tanto en el cuerpo de la presa como bajo de ella en el terreno de apoyo.
- Formación del cuerpo de la presa, compactando en capas de no más de 30 cm de espesor y colocando los materiales adecuados según la selección a ambos lados de la ubicación del núcleo formado por arcillas o de suelos mezclado con cemento que garantice la impermeabilidad. Se procede así capa por capa y sección, hasta llegar al nivel de la corona.
- Definir oportunamente los niveles de la obra de toma y los túneles para desalojar el agua, hacia las zonas de riego, o hacia los generadores de energía eléctrica o hacia donde se requiera.
- Definir también a su tiempo, el nivel del vertedor que generalmente se construye de concreto hidráulico o de mampostería de piedra y que descarga en una zona que se protege con un losa o tanque amortiguador, para evitar erosión.



Figura 8.- trazo y nivelación.



Figura 9.- compactando capa por capa.

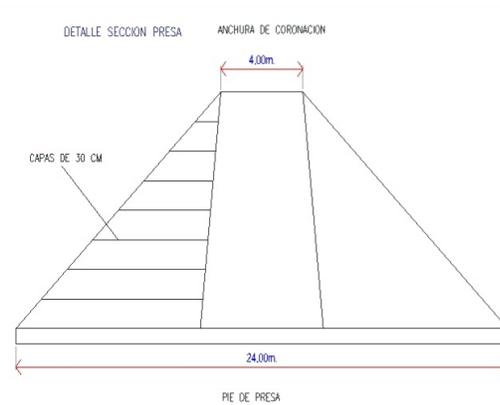


Figura 10.- formación de la presa.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Mejorar la calidad del suelo si se requiere. Este concepto se desarrolla en aquellas zonas donde el terreno de desplante, sea más débil que el resto, generalmente suelos arcillosos son eliminados y sustituidos por materiales más resistentes (suelo. Cemento.) La arcilla pura es ideal para colocar en el corazón impermeable.

MAQUINARIA Y EQUIPO NECESARIO.

El número de unidades para desarrollar la construcción depende el tamaño de la obra, solo se mencionan los equipos que tradicionalmente se utilizan en este tipo de obras:

- Tractor D6, operador y ayudante.
- Tractor D8, Operador y ayudante.
- Motoconformadora y operador
- Cargador frontal y operador.
- Camiones 14 y 36 ton, chofer y auxiliar.
- Compactador y operador.
- Equipo de perforación en roca para inyección.
- Compresor mangueras y aditamentos.
- Equipo topográfico e Ingeniero Topógrafo.

4.- CONCLUSIONES

La cimentación de una presa requiere de estudios suficientes y completos para proyectar con un grado alto de confianza.

La geología es importante porque permite visualizar discontinuidades y caracterizar el tipo de roca basal, si el sitio se encuentra sobre alguna falla activa este se debe desechar y buscar el que se considere totalmente seguro. Los estudios de mecánica de suelos permiten conocer las propiedades mecánicas de los suelos existentes en la zona y poder prever su uso en la conformación del cuerpo de la presa.

Lo ideal siempre será desplantar en roca sana, cuya calidad debe ser evaluada durante la etapa de exploración. Sin embargo, si el espesor de suelos existentes sobre la roca es grande entonces puede resultar muy costoso eliminarlos y entonces, tendrá que colocarse una pantalla impermeable que a traviese esos suelos hasta la roca o terreno impermeable.

La mecánica de rocas permite conocer las propiedades de las rocas basales obtenidas durante la etapa de muestreo, para saber si requiere o no tratamiento previo a la construcción, para mejorar el macizo rocoso. Uno de los parámetros es la permeabilidad pues la roca debe ser impermeable para evitar filtraciones hacia el fondo e interior del cuerpo rocoso.

El tema de la sismicidad debe ser considerado al momento de proyectar en el análisis de la estabilidad del cuerpo de la presa y en el ángulo de inclinación del talud.

El Estudio de impacto ambiental es determinante para conservar las condiciones originales restituyendo la flora y la fauna existente en el vaso de almacenamiento.

El proyecto de una empresa también implica el proyecto y construcción de vías de comunicación para el acceso al sitio y las vías que conecten con los bancos de material necesarios.

REFERENCIAS

https://spancold.org/wp-content/uploads/2018/01/Las_presas_y_el_agua_en_el_mundo.pdf

<file:///C:/Users/carre/Pictures/tfm-mar-pro,%20presas.pdf>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/8400/1/Tesis.pdf.pdf>

<file:///C:/Users/carre/Documents/Tesis.pdf>

file:///C:/Users/carre/Documents/XXI_2_MXD_E39_NMX-AA-175-3-SCFI-2017_R0_1FEB2018.pdf

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Libro: Mecánica de suelos tomo 2

Autor: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

Editorial: Limusa