Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Estructuras

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA

Ing. José Leonardo Zet Chet
Asesorado por el Msc. Ing. Víctor Alberto Betancourt Balán

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

ING. JOSÉ LEONARDO ZET CHET

ASESORADO POR EL MSC. ING. VÍCTOR ALBERTO BETANCOURT BALÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 31 de mayo de 2021.

Ing. José Leonardo Zet Chet

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.673.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA,** presentado por: **José Leonardo Zet Chet,** que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Estructuras después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

Guatemala, octubre de 2022

LNG.EEP.OI.673.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA"

presentado por **José Leonardo Zet Chet** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Estructuras** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 8 de noviembre de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que se ha revisado y APROBADO la siguiente TESIS DE GRADUACIÓN titulada: "DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA" del estudiante José Leonardo Zet Chet, quien se identifica con numero de carné 8511933, del programa de Maestría en Estructuras.

Con base en la evaluación realizada, se hace constar que se ha evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.

Por lo anterior, se entrega con la presente, la hoja de evaluación aprobada por el docente del curso y toda la documentación administrativa de respaldo, para su aprobación correspondiente por parte de la Escuela de Estudios de Postgrado.

Sin otro particular

Vo. Bo. Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado, Edificio S-11
Teléfono: 2418-9142 / 24188000 ext. 1382
WhatsApp: 5746-9323
Email: informacion_eep@ing.usac.edu.gt
https://postgrado.ingenieria.usac.edu.gt

Guatemala 8 de noviembre de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como ASESOR, he revisado y aprobado la siguiente **TÉSIS DE GRADUACIÓN** del (la) alumno (a):

Carné:	8511933
Alumno:	José Leonardo Zet Chet
Maestría:	Estructuras
Título de la Investigación:	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE UNA PRESA PARA EMBALSE DE AGUA, A SER UTILIZADA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este sentido, extiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Asimismo, se hace constar que el estudiante cumplió con el pago de los honorarios profesionales de asesoría de dicha tesis de graduación.

Sin otro particular

Msc. Víctor Alberto Betancourth Balan
Asesor

ACTO QUE DEDICO A

Dios	Por su infinito apoyo.
Mis padres	Basilio Zet, (q.e.p.d.), Maria Chet (q.e.p.d.). Por sus cuidados y consejos durante mi vida.
Mi esposa	Florinda Ramirez, por su apoyo incondicional y ser parte importante en este logro.
Mis hijos	Delmy, Eddy y Diana Zet. Por ser tan especiales y ser la razón de nuestra lucha.
Mis hermanos	Rolando, Carlos, Fernando, José y Julia Zet. Por su apoyo constante.
Mis abuelos	Pablo Chet (q.e.p.d.), Modesta Saban (q.e.p.d.), por su amor, ser parte de mi crianza y brindarme los mejores ejemplos de vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Agradecimientos por siempre, mi casa de estudios y ser la fuente que me permitió alcanzar logros académicos de excelencia.
Facultad de Ingeniería	Infinitas gracias por permitirme llegar ahí, conocer y aprender de tan excelentes catedráticos.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por brindar conocimientos de excelencia, ser parte de ella y transmitir el compromiso ético de saberse parte de tan importante centro de enseñanza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES……...V
LISTA DE SÍMBOLOS IX
GLOSARIO XI
RESUMEN XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XV
OBJETIVOS XIX
INTRODUCCIÓN XXI
ANTECEDENTES XXV
JUSTIFICACIÓN XXXIII

1. DEFINICIÓN DE PRESA…… 1
   1.1. Presas en la antigüedad 1
   1.2. Desarrollo y utilidad de las presas 8
      1.2.1. Presas de tierra 8
      1.2.2. Presas de gravedad 11
      1.2.3. Comportamiento de la presa de gravedad 12
         1.2.3.1. Tipología estructural de la presa de gravedad ….. 14
         1.2.3.2. Presas de concreto armado, hormigón de arco.. 15

2. USO DE PRESAS……..21
   2.1. Presas para riego 21
   2.2. Caudales de entrada 21
   2.3. Caudales de salida 25
      2.3.1. Caudales de salida……25
      2.3.2. Caudales de demanda 26

2.3.3. Evaporación 26
2.3.4. Infiltración 27
2.3.5. Regulación de la presa y cálculo de altura optima 27
2.3.5.1. Topografía de cuencas para determinación de altura de cortinas de presa ……..……30
2.3.6. Regulación del embalse 40
2.3.6.1. Demandas de riego…….....….41
2.3.7. Presa para consumo humano 41
2.3.8. Presas para generación de energía eléctrica 45

3. ESTUDIOS PREVIOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS……49
3.1. Selección de área óptima, requisitos a cumplir 49
3.1.1. Área o región proyectada 51
3.1.2. Elevación media de la cuenca 52
3.2. Estudios geológicos 55
3.3. Análisis de estudios geológicos 62
3.4. Estudio de hidrología 63
3.5. Análisis de caudales ecológicos 65
3.6. Topografía de la cuenca 68
3.7. Análisis de áreas laterales para empotramiento de presas, estribos 70

4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRESAS 73
4.1. Datos para diseño estructural de presa de gravedad, de concreto 73
4.1.1. Subpresión bajo la presa 74
4.2. Tipos de *software* para diseño estructural de presas 83
4.2.1. Proceso constructivo 88
4.2.1.1. Impacto ambiental …… 88

4.2.1.2. Evaluación de riesgos ……88
4.2.1.3. Programa de obra …… 89
4.2.1.4. Vías de acceso preliminares ……..… 89
4.2.1.5. Caminos para construcción de obra ……..... 89
4.2.1.6. Instalación de campamento ……..…. 90
4.2.1.7. Excavación de movimientos de tierras…….. 90
4.2.1.8. Cimentación ……... 91
4.2.1.9. Desvío de río ……..…… 94
4.2.1.10. Cimentación de presa ……... 98
4.2.1.11. Construcción de muro de presa …… 101
4.3. Diseño estructural de presa de concreto de gravedad.....106
4.3.1. Fundición masiva en presas.....114
4.3.2. Ajustes por intensidades sísmicas especiales.....121
4.3.3. Factor de escala.....125

CONCLUSIONES 153
RECOMENDACIONES.....157
REFERENCIAS 161

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Presa Hitita……..... 2
2. Embalse de Proserpina…… 3
3. Presa de los Paganos U Sad El' Kafara……..... 4
4. Dujiangyan sistema de riego más antiguo del mundo…… 5
5. Presa de Purron de Coxcatlan, México……. 6
6. Partes de una presa……. 9
7. Tipos de Presas……. 9
8. Otros tipos de presas…… 10
9. Variaciones de tipos de presas……... 10
10. Presa de graveda…….. 13
11. Presa de arco……..… 16
12. Presa Hoover……..… 17
13. Presa aligeradas o de contafuerte……..… 18
14. Presas de contrafuerte……..… 19
15. Sección de embalse……..… 28
16. Secciones de niveles de embalse…….. 29
17. Cuenca Hidrogáficas……..... 31
18. Curvas de embalse……... 32
19. Curva cota vs volumen acumulado……..….. 40
20. Gráfica de cortinas de embalses……..... 44
21. Gráfica de agua hacia generador……..….. 45
22. Generación de energia eláctrica…….…… 47
23. Transmisión de energía eléctrica a red…….…… 48

24. Presa malpasset…….. 56
25. Presa Vera de Tera……. 57
26. Presa arco gravedad…… 70
27. Macizo rocoso en el estribo de la presa de Tsankov-Kamak…… 72
28. Esquema de Presa……... 75
29. Pérdida de energía potencial…….…. 76
30. Fuerza bajo cimiento…….……... 81
31. Fuerza aplicada a cimiento de presa…….…… 82
32. Cálculo de líneas de flujo y líneas equipotenciales……..…… 84
33. Presa de concreto con líneas de flujo y equipotenciales…….…….. 85
34. Ataguia Montgomery Point Lock and Dam (Estados Unidos)……...….. 97
35. Tunel de desvio de rio Santiago Presa el Cajon, Nayarit México…...… 97
36. Estribo en lateral, presa Mezapa, Honduras…….. 101
37. Cortina de presa Mezapa, Honduras……..…… 102
38. Canal de concreto que capta el caudal hacía la tubería presión…...…. 103
39. Flujo de agua hacia canal de gravedad……..…… 104
40. La corrientee de agua ya se vuelve laminar……..… 104
41. Rebalse para caudal ecológico y captación de caudal para turbinas protegido con rejilla rebalse…….. 105
42. Espectro de respuesta elástico……. 120
43. Espectro calibrado a nivel de diseo elástico……..… 129
44. Sección de presa de gravedad de concreto, para cálculo de supresión…….. 133
45. Subpresión bajo cimiento……..…... 137
46. Sección de presa acotada……..….. 138
47. Centro de gravedad de cortina de presa dee gravedad……..…. 141
48. Distancia a los centroides donde se aplicá la carga W……...……. 142
49. Momentos actuales desde punto A…….. 143
50. Sección de rrecubrimiento de presa……...…. 148

51. Elaboración con el recubrimiento de concreto perimental en cotina y cimiento……..... 148

TABLAS

I. Textura del Suelo……..….. 23
II. Factores para la fórmula de Nadal……. 24
III. Caudal Ecológico……25
IV. Caudales medios mensuales…….……26
V. Evaporación……..... 26
VI. Infiltración……..27
VII. Oferta de agua…….…… 33
VIII. Operaciòn simulada del embalse - Año Promedio…….…….....34
IX. Datos del levamiento topográfico…….……38
X. Demanda de Riego……..……41
XI. Clasificación de las presas deacuerdo a su tamaño……..……44
XII. Características de una cuenta……..……51
XIII. Clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente…….. 54
XIV. Metodología de los estudios geológicos geotécnicos……58
XV. Reconomientos geológicos e Investigaciones *in situ*…….59
XVI. Estudio complementarios-Caudal EcológicoTabla……66
XVII. Pérdidas de energía potencial……...79
XVIII. Ubicación de fuerzas bajo cimiento de presa……. 80
XIX. Ubicación de centro de gravedad……. 81
XX. Nivel de protección sismica y probalidad de sismo de diseño…….. 108
XXI. Valores permisibles de capacidad de carga y presión lateral [1][2][3]……110
XXII. Índice de sismicidad y niveles de protección……..…..114
XXIII. Coeficiente de sitio Fa…….. 118

XXIV. Espectro de respuesta elástico……...119
XXV. Coeficiente de sitio Fv…….....120
XXVI. Tipo de fuente sísmica……..……122
XXVII. Factor Na para períodos cortos de vibración…….……...123
XXVIII. Factor Na para períodos largos de vibración……..…….123
XXIX. Factor Nv para períodos largos de vibración……..…….....124
XXX. Factores Kd de acuerdo al nivel de sismo…….....125
XXXI. Coeficientes y factores para diseño de sistema sismorresistentes...127
XXXII. Espectro calibrado a nivel de diseño elástico…… 127
XXXIII. Coeficiente de permeabilidad……... 134
XXXIV. Fuerza de líneas equipotenciales bajo cimientos de presa…… 136
XXXV. Cento de gravedad y resultante de fuerza bajo lapresa……. 138
XXXVI. Fuerzas actuales sobre presa…….. 139
XXXVII. Centro de gravedad de presa de concreto …… 141
XXXVIII. Momentos resistentes, desde punta A…… 142
XXXIX. Momentos actuales desde el punto A……. 144
XL. Coeficiente de deslizamiento para las diferentes condiciones de la cimentación ……..….. 145
XLI. Combinación de carga factor de segundo mínimo a la resistencia a compresión……..……..…….. 149

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Φ	Ángulo de Fricción Interna del Terreno
Ć	Cohesión de Terreno
Ct	Costo Total
Cd	Costo Directo
P	Esfuerzo efectivo
Fs	Factor de Seguridad
MW	Megavatios
Uw	Presión intersticial del agua
f'c	Resistencia del concreto en kg/cm^2
Fy	Resistencia del acero en kg/cm^2
Twh	Tera vatio-hora Un billón de vatios-hora
Hm3	Un millón de m^3

GLOSARIO

ASTM Asociación Americana de Ensayo de Materiales, normas por ensayo.

IGN Instituto Geográfico Nacional**.**

LRFD Metodología de diseño mediante el estudio del estado límite LRFD (Diseño de Factor de Carga y Resistencia).

SAP2000 *Software* para cálculo estructural de cortinas de concreto.

RESUMEN

Esta investigación tiene como finalidad realizar una base de información que establezca el procedimiento de construcción sobre las cortinas de concreto en ríos, así como crear una fuente que explique los parámetros a seguir como referencias en obras de este tipo.

El objetivo es diseñar un dique de contención de agua y establecer la utilidad del mismo así como el control de avenidas de agua en invierno, la limitación de las inundaciones y el almacenamiento de agua, que puede utilizarse para el consumo de riego de cultivos y la generación de energía eléctrica. Es importante hacer mención que las necesidades de agua y energía eléctrica limpia producida por los ríos se incrementan y por tal razón deben ser aprovechados estos recursos.

La carencia de energía electica a bajo costo en las diferentes comunidades de escasos recursos, ubicadas en los distintos departamentos de Guatemala, pueden ser a minorizados con el aprovechamiento de los ríos cercanos, ya que permite disminuir estas necesidades.

Así mismo, al existir limitación en el uso y tenencia de agua que tenga buena calidad para riego y para consumo humano. Este puede ser mejorado al existir control sobre las inundaciones provocadas en épocas de lluvias intensas con la construcción de cortinas de concreto o presas y lograr el almacenamiento de agua.

Además, contiene la historia de las presas durante el desarrollo de la humanidad, así como las necesidades que se fueron cubriendo con el almacenamiento simple de agua ocasionado por algún derrumbe hasta lograr hacer ya las retenciones de agua por medios artificiales con materiales disponibles del lugar.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática de no contar con información local sobre procedimientos de diseño y de construcción sobre las cortinas de concreto para almacenamiento de volúmenes de agua; que puedan ser utilizados para riego y consumo humano, ha generado que no existan proyectos de esta índole.

Por lo que, se busca mejorar las necesidades que surjan con el uso del agua; que permitan mejorar la energía eléctrica limpia y el acceso a agua potable para las diferentes comunidades, por medio de la creación de un diseño de cortinas que brinden solución a estos problemas.

Para solventar los problemas de uso de agua, será necesario hacer embalses de retención de aguas, en los diversos usos que se necesiten; teniendo en cuenta las políticas que brinden los lineamientos para que no se contamine el medio ambiente, debiendo considerar la fauna de los ríos, la variedad de peces y la variedad de vida silvestre que habiten alrededor de las cuencas de los ríos.

Para ello se realizará la búsqueda pertinente de información sobre construcción de cortinas de concreto, la cual permitirá la difusión y divulgación de la misma.

- Descripción del problema

La inexistencia de información sobre construcción de cortinas de concreto, tiene como consecuencia una serie de inconvenientes, debido a que no se cuenta con un documento base que brinde los lineamientos para la ejecución de futuros proyectos.

Por ello es importante realizar una minuciosa recopilación en la búsqueda de información en todos los formatos existentes, así adaptar todo el contexto en un documento que proporcione los pasos a seguir para la construcción de una cortina de concreto y como consecuencia dar otra herramienta más para generar energía eléctrica limpia.

Para ello es fundamental contar con técnicas y lineamientos que permitan desarrollar una construcción avanzada de cortinas de concreto.

- Delimitación del problema

Este documento servirá como fuente de consulta a los interesados en el desarrollo de este tipo de proyectos, lo que permitirá adaptar la información al ámbito nacional, así mismo no habrá un lugar específico de localización. Será un estudio sobre las condiciones que se deben cumplir para la construcción de una cortina de concreto, que sirva para el almacenamiento de agua y plantear los requisitos mínimos a tomar en cuentan, con ello se pretende que sirva de base para iniciar estudios en cuencas de ríos que tengan la mayor parte de lineamientos y condiciones para iniciar un proyecto de esta magnitud.

- Pregunta central de la investigación

Esta investigación brindará los procedimientos a seguir para la construcción de una cortina de concreto con la descripción de todas las disciplinas técnicas involucradas, incluyendo el diseño estructural de la cortina de concreto.

Se pretende que sea una fuente de consulta para quienes estén interesados en este tema y llenar parte del vacío, nulo e inexistente información sobre las cortinas de concreto, aunque se desarrollan proyectos en Guatemala de este tipo, la información es privada y raramente se comporte en forma general a nivel nacional.

Por lo anterior, se plantea la siguiente interrogante principal:

- ¿Es posible establecer una línea metodológica para el diseño de una cortina de concreto para almacenamiento de agua?

Para dar solución a la interrogante planteada, se deberán investigar y resolver en forma exhaustiva todas las interrogantes secundarias:

- ¿Existe un lineamiento para establecer la mejor ubicación en un río para ubicar una cortina de concreto, que sirva como presa para captación de agua?

- ¿Puede establecerse una metodología para el diseño de una cortina de concreto, que incluya los parámetros técnicos constructivos necesarios para su funcionamiento?

- ¿Se puede proporcionar una guía de construcción de cortinas de concreto, que sea de ayuda en proyectos para generación de energía limpia o retención de agua para otra actividad?

OBJETIVOS

General

Diseñar una cortina de concreto que funcione como presa para embalse de agua, que sirva como multipropósito en diversos proyectos de carácter social.

Específicos

- Proponer una guía para establecer la ubicación idónea para el diseño y construcción de la cortina de concreto.

- Establecer los parámetros técnicos a considerar y los estudios previos para el diseño de una cortina de concreto.

- Proponer una metodología para el diseño y construcción de cortinas de concreto, que se utilice en proyectos de generación de energía limpia o retención de agua para otras actividades.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en el diseño de una cortina de embalse de concreto armado de gravedad, donde se describirán cada uno de los componentes estructurales necesarios para la captación de agua, así como para el funcionamiento de turbina, producción y generación de energía eléctrica. Dando una contribución directa sobre el procedimiento a seguir para su diseño y su cimentación en el lecho de un río.

Es importante tomar en cuenta los factores de estudios geológicos, estudios de suelos, estudios de hidrología y estudios sobre el impacto ambiental, los estudios geológicos y suelos darán los parámetros de estabilidad de la estructura.

La hidrología permitirá saber si los caudales que capta la cuenca serán suficientes para cubrir la demanda de agua que necesitará el proyecto; realizando además un estudio ambiental que permitirá minimizar hasta lo posible la alteración de la fauna de los ríos, fauna de la cuenca y disminuir la desforestación.

Uno de los factores para solucionar el problema de generación de energía limpia, es aprovechar el caudal de los ríos, así mismo contribuir al desarrollo de las comunidades que habitan en las áreas cercanas en donde podría proyectarse el embalse, esto permitirá el desarrollo de actividades agrícolas de la región previniendo y minimizando las inundaciones aplicando estos tipos de proyectos, teniendo el cuidado no alterar el entorno de la cuenca, y plantear la reforestación constante de las áreas circundantes al proyecto.

Los procedimientos y condiciones a tomar en cuenta al momento de crear un proyecto de construcción de cortina de concreto servirán como embalse de agua y estos recursos almacenados servirán para fines, que sean de generación de energía eléctrica limpia; de agua para riego de cultivos y/o para suministro de agua potable a las comunidades que carezcan de agua, permitiendo que su uso pueda ser variado en diversos proyectos.

Se describirá estructuralmente los elementos y factores a tomar en cuenta para el diseño de la estructura, los *softwares* de cálculo, y se hará también una descripción del desarrollo constructivo de estos muros de concreto armado.

Cada capítulo desarrolla lo siguiente:

El capítulo uno, presenta el marco teórico donde se plantea la información documental que tiene relación con la definición y concepto de presa, como funcionaban en la antigüedad, su desarrollo, su utilidad, tipos de presas, descripción de presas de tierra: presas de gravedad y presas de concreto armado y de hormigón de arco.

El capítulo dos, presenta información sobre los usos de presas; presas para riego; presas para consumo humano y presas para generación de energía eléctrica.

El capítulo tres, presenta estudios previos para la construcción de presas; áreas óptimas para la construcción de presas; estudios geológicos; parámetros que se usan; estudios de hidrología; caudal disponible y caudal necesario; caudales mínimos; topografía de la cuenca; como se usan los cálculos hídricos para determinar las gráficas; caudal m3- altitud y área de curvas basados en

topografía, así como el análisis de áreas laterales para empotramiento de presas y estribos.

El capítulo cuatro, presenta el diseño estructural de una cortina de hormigo; concreto de gravedad descripción de las diversas estructuras y su uso; funcionamiento de una hidroeléctrica; proceso constructivo; procedimiento para desviación de ríos; diseño de componentes de estructura de concreto para cortina; factores a tomar en cuenta en la cimentación y proceso constructivo en lecho de río; diseño estructural de muro de concreto de gravedad para embalse; utilizando todos los factores sísmicos de aceleración máximo del suelo en un lugar específico de Guatemala.

ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, el ser humano ha tenido la necesidad de contar con elementos que le permitan cubrir sus necesidades hídricas, por tal razón se idearon obras que permitieran la retención de agua en grandes cantidades, en puntos específicos de las cuencas de los ríos, es así que se han encontrado presas construidas en tiempos muy lejanos como la presa Marib, actualmente Yemen.

Según Llorente (2020) en su documento de embalses más antiguos de España y el mundo hace referencia a lo siguiente:

> Es probable que el primer dique trate del año 2,000 A.C y en la actualidad se considera que su tamaño se aumentó en la reconstrucción del siglo V, cuando alcanzó una altura de 7 metros y una longitud de 580 m. Fue considerada una de las maravillas de ingeniería del mundo antiguo y gracias al agua almacenada y a la red de canales de riego permitió al reino de Saba enriquecerse con el cultivo y el comercio de especias y perfumes. (párrafo 7)

De esta forma el ingenio humano desde tiempos antiguos ha tratado de manejar los recursos que la naturaleza ha creado. Posteriormente en el transcurso del tiempo se fue desarrollando y mejorando las presas y el agua almacenada que ha tenido y tiene diversos usos, no solo para consumo humano sino también para el control de inundaciones. En la actualidad permite generar energía eléctrica limpia.

Las presas han evolucionado desde que se crearon de tierra compactada de las creadas con taludes de tierra a piedra y mampostería, hasta las modernas que se han hecho de concreto armado.

Hay una gran referencia histórica sobre las presas en épocas antiguas y modernas, ya que la construcción de cortinas para presas seguirá en evolución con el transcurrir de los años, según proyecciones dadas.

La energía producida por hidroeléctricas es por mucho la primera fuente renovable que existe en el mundo, actualmente la potencia sobrepasa los 1,000 gigavatios GW y su producción llego en 1,014 a 1,437 Teravatio-hora TWh, es decir; que la Agencia Internacional de Energía AIE, ha establecido que existe un 14 % de la producción mundial de electricidad.

También la AIE pronóstica que la energía hidroeléctrica continuará su crecimiento escalonado superando los 2,000 GW de potencia para el 2050. (Roca, 2021)

Existen organismos internacionales que han proyectado las necesidades que surgirán en el futuro sobre energía eléctrica, existiendo un crecimiento del 14 % anual en la actualidad, y que podría llegar a un nivel más alto, por la creciente explosión demográfica.

Por otra parte, referente a los recursos hídricos de Centroamérica, se puede establecer que Costa Rica es el país que tiene la mayor cantidad de hidroeléctricas en funcionamiento, que han sido construidas algunas de gran magnitud como el Arenal en Costa Rica.

La hidroeléctrica de Cajón en Honduras y Chixoy en Guatemala, han tendido a privatizar la energía eléctrica, desde los años noventa y seguirá en aumento debido al incremento de la población. Centroamérica por su escasa producción de combustible fósil, dependerá más en el futuro de la energía producida por los ríos, donde su topografía es adecuada para la instalación de presas con el sumo cuidado de no alterar el hábitat que la rodea.

> En Centroamérica los proyectos hidroeléctricos exhiben diversos tamaños, modos y tipos de operaciones. En el mercado existen diferentes sistemas de clasificación de presas, pero con estas características hay dos tipos de proyectos en la región, embalses de gran capacidad, en el cauce estás son presas con más de 5 metros de altura, pero también incluye proyectos a menor escala a filo de agua, con derivación menor a los 15 metros de altura, embalses fuera del cauce o sin capacidad de almacenaje de agua. (Anderson, 2013, p. 6)

Las presas más grandes generan mayor cantidad de energía por el volumen de agua y la energía potencial que está genera, esto permite mover grandes turbinas que generan la electricidad, las presas menores son la que generan energía < 50 MW (Mega Watt, un millón de vatios).

Diversas entidades e instituciones han emitido su opinión y recomendación sobre la construcción de presas y según (Anderson, 2013), indica lo siguiente:

> Las más de 48,000 presas grandes y las más de 800,000 presas más pequeñas que se estima existen en el mundo ofrecen una oportunidad para mejorar nuestro conocimiento de los factores que pueden agravar o mitigar las consecuencias ambientales y sociales negativas de las presas hidroeléctricas. (p. 14)

Se recomienda el uso de caudales ecológicos en las que no se interrumpe una parte del río; el porcentaje de circulación del caudal depende de la diversidad de las especies, puede interrumpir el ciclo migratorio de las especies, que provocaría inevitablemente su extinción, este efecto puede ser de igual manera en las especies que habitan alrededor de los ríos.

En cuanto a las presas y tipo de estructuras que se usan, se encuentran las presas de gravedad, que según Flórez (2017), lo define como: “presas de gravedad, cuando el empuje se contrarresta con el peso propio de la estructura y su disposición, teniendo en cuenta la capacidad portante del terreno”. (párrafo 5)

Una de las ventajas de construir presas de gravedad es que, si los estudios geológicos lo aprueban, se puede usar el material del lugar, esto facilita su ejecución y disminuye costos al reducir el transporte de material hacía la obra.

Referente a las presas de otro tipo, según Flórez (2017), hace referencia a las presas en arco indicando lo siguiente: “utilizando una forma curva para la presa, al objeto de transmitir el empuje al terreno en dirección e intensidad adecuadas”. (párrafo 8)

El diseño de las presas de arco radica en transmitir los esfuerzos de empuje hidráulico hacia los laterales de la cortina vertical, así mismo se traslada las fuerzas a las paredes de la cuenca donde se empotra el muro de concreto y las paredes de la cuenca deben ser de roca sana sin fracturas, esto lo determina la geología.

También, referente a su estabilidad y fuerzas transmitidas hacia sus extremos, nos indica Pérez (1994) en su documento lo siguiente:

Las presiones internas hidrostáticas que se ejercen desde el interior del hormigón disminuyendo su fuerza de resistencia a esfuerzos constantes, es más preocupante en presas de gravedad, su estabilidad depende de su resistencia a esfuerzos cortantes, mientras que las presas de arco resisten la carga, las transmiten a los estribos (p. 22).

Las presas de concreto se definen a continuación:

- Presas de gravedad: son las que resisten el empuje del agua. Pueden ser macizas como las de materiales sueltos o aligeradas, como las del contrafuerte conformada por elementos verticales independientes, sosteniendo el muro de aguas arriba.

- Presas de hormigón: son aquellas construidas con hormigón que vienen determinado por la durabilidad, la impermeabilidad y la economía. Pueden ser de hormigón convencional o hormigón de consistencia seca.

- Presa de arco: son aquellas cuya estructura tiene forma tridimensional predomina la parte horizontal más que la vertical, al contrario que las presas de gravedad que son iguales o prevalece la verticalidad. Son presas más seguras, sin embargo, están limitados por las condiciones topográficas y geológicas del terreno" (Valdivielso, 2021, párrafo. 1-3).

Existe una derivación conocida como arco-bóveda, es una combinación de presas arco con presas de gravedad, ya que su eje curvo y sección menor a las de gravedad corresponden a un ahorro de materia; la cual tiene seguridad e integridad estructural radica en la estabilidad de los estribos.

Cada diseño será factible dependiendo de las condiciones económicas y necesidades a cubrir por cada clase de presa, si su altura es superior a 15 m será adecuada hacerla de concreto en forma de arco, puede hacerse si su altura fuese menos y los materiales fueran los adecuados y disponibles, aunque las presas de gravedad de concreto pueden sobrepasar los 15 m de altura.

En cuanto a presas para generación eléctrica en Guatemala, la más grande es Chixoy, es por ello que el Instituto Nacional de Electrificación (2020) hace mención al proyecto hidroeléctrico más grande e Guatemala indicando lo siguiente:

> La hidroeléctrica Chixoy actualmente representa un 60 % de la totalidad de energía eléctrica generada y a nivel nacional representa un 15 %.
>
> La edificación comenzó a finales de los años 70 como una brecha que serviría para arreglar la crisis petrolera que existía a nivel mundial, ya que esta elevo notablemente los precios de los derivados del petróleo dañando la economía de Guatemala, en este tiempo la generación térmica a base del petróleo se mantenía en un 70 % en el país. (párrafo 1-2)

La hidroeléctrica de Chixoy se ubica en las montañas rocosas donde finaliza los ríos Salamá, Carchela y Chixoy, tiene una altura de 105 metros, se encuentra formada por roca y arcilla, todo este material es del lugar y rodea la presa, cuenta con un volumen de 300 millones de m^3 de agua. (Instituto Nacional de Electricidad, 2020) Inicialmente este embalse genero 1 mil 700 millones de kilovatios hora al año, esto significa más del doble de la energía que se consumían los guatemaltecos en el año 1982. (Instituto Nacional de Electricidad, 2020)

El premio mundial de ingeniería Ingersoll Rand fue otorgado en 1985 debido a su monumental infraestructura y todo lo que conllevo su construcción. (Instituto Nacional de Electricidad, 2020).

La obra de la Hidroeléctrica de Chixoy, es un proyecto realizado con la más alta técnica de ingeniería; programas que en ese momento no existían o que estaban en sus comienzos, sin embargo, hasta la fecha no ha existido problemas graves de fallas estructurales o fallas geológicas de gran magnitud, el ahorro en combustibles fósiles desde que se inauguró a esta fecha es notable.

La Hidroeléctrica de Chixoy fue construida específicamente para la generación de energía eléctrica, pero también las presas se pueden usar para almacenamiento de agua.

Las aguas no son repartidas a lo largo del año uniformemente, por lo tanto, el ser humano no puede prescindir del agua para sus actividades diarias, el almacenaje nace de esta necesidad para disponer de ella en épocas de escasez.

Existen embalses creados naturalmente donde reposa el agua cuando llueve, tales como lagos, acuíferos entre otros. Estos se llenan a cierta altura y se rebalsan por manantiales y fuentes que suelen verter bajo la superficie al mar, es por esto que el agua que llega de los ríos que provienen de la caída natural de acuíferos y agua recolectada en épocas de lluvia. El almacenamiento de agua es importante, ya que se aprovecha el agua de la lluvia, la cual permite que una gran parte del agua captada en la cuenca no se pierda, permitiendo que este volumen de agua puede ser utilizado en épocas de sequía, además que también ayuda a controlar posibles inundaciones que podrían ocurrir si el agua se descarga libremente.

Según la Academia Nacional de Ciencias (2007), hace énfasis en los embalses indicando lo siguiente:

> Se conforman de dos tercios del agua superficial dulce y atmosférica de la tierra, está administración de agua puede ayudar a mitigar en las comunidades la variabilidad estacional y anual en la precipitación pluvial y en el agua de escorrentía". (párrafo 1)

En resumen, al año 2050 las necesidades de energía eléctrica y las necesidades de agua para consumo humano serán de extrema necesidad y se debe estar preparado para cuando ocurran estos eventos.

Sobre la escasez de agua en el presente y en el futuro, varias organizaciones internacionales han expresado la preocupación y advertencia sobre esta situación.

Hacia 2015, casi la población mundial, más de tres mil millones de personas, vivirán en países con tensiones por causa del agua. Para 2025, se prevé que el promedio mundial de abastecimiento de agua por habitante disminuirá en un tercio, significado que dos tercios de los habitantes del planeta habrán de enfrentar escasez de agua. En 2050 con tres mil millones más de seres humanos, necesitaremos 80 por ciento más de agua solo para alimentarnos. Nadie sabe de dónde sacaremos esa cantidad de agua, sabiendo que el planeta para ese año habrá perdido 18,000 kilómetros cúbicos de agua dulce, una cantidad nueve veces mayor que la que se utiliza cada año para el riego. (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2010).

JUSTIFICACIÓN

Este estudio se enfoca en tener una base más de construcción de cortinas de concreto de gravedad que sea fuente de consulta para utilizarse en el presente y en el futuro en obras de este tipo; a la vez formar parte de la información actual sobre los muros de concreto para retención de agua, con la finalidad de usar el volumen de agua en la generación de energía eléctrica o utilización de este almacenamiento de agua para riego y que sea agua potable. En los siguientes años habrá más necesidad de fuentes de energía y agua y por ello, las cortinas de concreto o presas son de las fuentes que nos ayudarán a solucionar las carencias que puedan surgir en el presente y en el futuro.

Según el Sistema de la Integración Centroamericana SICA, (s.f.) indica que:

> A pesar de que la mayoría de los países centroamericanos han mejorado los procesos para la utilización de energías renovables, siguen existiendo barreras, que van desde la falta de capital y la falta de experiencia humana hasta la incertidumbre de la inversión y costosos procesos administrativos. Se estima que en la región siete millones de personas todavía tienen acceso limitado o nulo a los servicios de electricidad, “las energías renovables son una solución asequible para proporcionar a las comunidades marginadas acceso a servicios de energía sostenible y de bajo costo”. (párrafo. 4)

La carencia de energía a bajo costo para las comunidades de Guatemala y de la Región centroamericana, puede mejorar al usar menores recursos que permiten el aprovechamiento de ríos, y a su vez disminuyan estas necesidades.

El uso y tenencia de agua de buena calidad para riego y para el consumo humano ha sido una limitante para esta región, por lo que, para el control de inundaciones en épocas de lluvias intensas, se puede lograr con la construcción de estas cortinas de concreto o presas.

En la región centroamericana, únicamente Costa Rica cuenta ya con el 99 % de su energía proveniente de fuentes renovables de energía limpia, está a la par de Uruguay y Paraguay a nivel latinoamericano, en Centroamérica, los demás países tienen el 67.8 % de generación de energía de este tipo de fuente. (Murillo, 2016)

En cuanto al agua nos indica la Agencia EFE (2019), que: “Centroamérica cuenta en general con una elevada disponibilidad hídrica, pero el agua no llega a la población o lo hace sin ser de calidad, lo que evidencia que la gestión del recurso en la región es apenas incipiente” (párrafo 1).

El almacenamiento de volúmenes de agua de calidad, por parte de presas ayudaría a proporcionar el vital líquido a estas comunidades.

1. DEFINICIÓN DE PRESA

En este capítulo se describe la presa y sus estructuras hidráulicas de grandes dimensiones, realizadas en la antigüedad, y los tipos de presa actuales; realizadas con material del lugar, tierra, hasta las de grandes dimensiones con hormigón de arco. Las cuales permiten almacenar o retener agua para aprovecharlas en actividades como el riego, el consumo humano, la generación de energía eléctrica entre otras actividades. Así como sus tipos de estructuras, sus partes y variaciones que nos permitirá tener una idea concreta de la funcionalidad de las presas.

1.1. Presas en la antigüedad

Durante gran parte de la historia de la humanidad, existen registros desde hace más de 3,250 años sobre la presencia de embalses de agua que estaban en búsqueda de contar con el elemento vital para la vida. Hay registros en diversas culturas en las que se han fabricado presas con los elementos que la naturaleza proporciona al ser humano un ejemplo de ello es la Presa Hitita. (Castro, 2012)

Figura 1. **Presa Hitita**

Fuente: Castro (2012). *Presa Hitita*. Consultado el 15 de junio de 2021. Recuperada de https://cutt.ly/GEIbLkD.

Puede observarse que ya había noción de que la estructura tiene mayor resistencia cuando van las hiladas de roca haciendo discontinuas las uniones verticales.

Según Castro (2012) en su documento describe que:

> La presa Hitita descubierta durante las excavaciones en Anatolia, ha revelado que su técnica de construcción es muy similar a las que se utilizan en la actualidad, explicaron los arqueólogos que trabajan en la región, admitiendo que la presa es la más antigua que se ha encontrado en la zona.
>
> Hemos excavado la zona, pero no hemos podido descubrir la presa por completo. Ésta fue construida hace 3250 años, pero con la misma técnica utilizada en la actualidad, sólo que utilizaron arcilla en lugar de cemento (párrafo 1-2)

El ingenio humano ha estado presente en todos los continentes del mundo dejando un registro sobre los diversos tipos de estructura de las presas. Estas han sido fundamentales en tener a disposición el vital líquido para cubrir las necesidades más básicas de una comunidad, y se ha llegado a entender que era necesario para almacenar el agua, debía ser captada de las corrientes ubicadas en montañas, laderas y valles, así en épocas secas tener se podía poseer a disposición el agua necesaria. También en Europa se construyeron presas durante el florecimiento del Imperio Romano como la presa o embalse de Proserpina.

Figura 2. **Embalse de Proserpina**

Fuente: García (2016). *Aqualia.* Consultado el día 15 de junio de 2021. Recuperada de https://cutt.ly/eEIWFxA.

Según García (2016), indica que la presa romana de Proserpina está situada a unos cinco kilómetros de Mérida, al pie de la sierra de Carija y formaun

pequeño embalse en el arroyo de Las Pardillas. Se comenzó a construir en el siglo I a. C. (párrafo 1).

El área y volumen de estás presas han sido considerables, como esta presa Proserpina, con un área de 8.52 km2 y un volumen de 6.5 hm3, su superficie cubre 70 ha.

Toda civilización avanzada se nota cuando logra dominar el agua y hacer crecer sus recursos con base a desarrollar la técnica de contención de agua, la civilización egipcia es un ejemplo de ello, construyeron la Presa Sad El' Kafara.

Figura 3. **Presa de los Paganos U Sad El' Kafara**

Fuente: Locken (2017). *Aguas residuales.* Consultada el día 16 de junio de 2021. Recuperada de https://cutt.ly/3EIYI2v.

Locken (2017), en su documento titulado el agua en la historia de la civilización del hombre hace énfasis en lo siguiente:

> Los antiguos egipcios, alrededor del año 2770 a. C., construyeron la primera presa de la que se tiene constancia histórica. Fue llamada Sad El-Kafara que en árabe significa “presa de los paganos”. Ubicada a 30 kilómetros al sur del Cairo, medía 14 metros de altura y tenía una longitud de entre 80 y 100 metros. Se utilizaron más de 10.000 toneladas de piedra y gravilla para su núcleo y las paredes se revistieron de mampostería. El grosor del muro era de 98 m en la base y 56 m en la coronación. Los trabajos duraron entre 10 y 12 años, pero una crecida provocó su destrucción parcial antes de que fuera terminada. Se cree esto porque no existía un aliviadero, tampoco parece haber un desvío del río que evitara a la presa durante la construcción. Además, no hay restos de sedimentos acumulados en la parte interna de la presa. (párrafo 4-6).

Las funciones principales de las presas en la antigüedad eran para el control de inundaciones, consumo humano y regadíos, siendo esta una de sus principales fuentes de riqueza. El hecho de contar con agua todo el año era un impulso enorme a su economía.

Figura 4. **Dujiangyan sistema de riego más antiguo del mundo**

Fuente: Locken (2017). *Aguas residuales.* Consultado el día 16 de junio de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/3EIYI2v.

La Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (2018), indica que:

> El Sistema de irrigación de Dujiangyan, fue construido alrededor del año 256 a.C., su propósito era doble, en primer lugar, evitar las inundaciones provocadas por el Río Min (o Min Jian, en chino: *Mínjiāng*), e irrigar la planicie de Chengdu.
>
> Funciona sin interrupción desde su creación (más de 2.000 años) y se ha ido modernizando hasta la actualidad, al día de hoy se usa para irrigar 5.300 kilómetros cuadrados de tierras, convirtiendo a la región en una de las más fértiles de China. (párrafo 3-4).

También en América, durante la colonización se dio un impulso a la construcción de presas ya que se adjuntaron herramientas que en ese tiempo eran desconocidos en el continente, pero aun anteriormente ya se tenía el conocimiento y técnica para realizar estos proyectos como por ejemplo la presa del Purron de Coxcatlan Puebla, México.

Figura 5. **Presa de Purron de Coxcatlan, México**

Fuente: Diario El Uno (2019). *Más que ingeniería.* Consultado el día 18 de junio de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/2EIOQjT.

El diario El Uno hace una breve descripción basando en el documento titulado Evolución de la tecnología hidro-agro-ecológica mesoamericana desde su origen prehistórico y hace referencia lo siguiente:

> El municipio de Coxcatlán y la región del Valle de Tehuacán, es reconocido como la cuna de la agricultura y de la irrigación mesoamericana. Del año 800 al 150 A.C. los Popolocas realizaron el descubrimiento de la agricultura de irrigación manejando el agua de lluvia y emprendieron la construcción de la monumental presa del Purrón y el canal de Santa María en la cuenca de Purrón al sureste del valle de Tehuacán.
>
> La monumental obra de la presa del Purrón, pudo haber sido construida en etapas del año 750 A.C y concluida antes del año 300 de nuestra era, mide 18 metros de altura, más de 400 metros de largo de lado a lado de la barranca con lo que pudo almacenar más de dos y medio millones de metros cúbicos de agua.
>
> En la actualidad, se conserva el 80 % de la enorme estructura de esta presa prehispánica ubicada en la cuenca del Purrón, que drena el arroyo Lencho Diego, al sureste del Valle, en el municipio de Coxcatlán.
>
> Hoy se conserva del 95 % del canal de Santa María que permitía a los ingenieros Popolocas, controlar los escurrimientos de agua para canalizar al vaso de la presa para utilización humana y cuánta agua querían para irrigar los campos de cultivo. La presa, alcanza un volumen de aproximadamente 370 mil metros cúbicos de piedra y tierra compactada.

> En la última fase de edificación requirió del trabajo de 4300 hombres, lo que evidencia el dominio de una red social para organizar y controlar a tal número de trabajadores. (Diario El Uno, 2019, párrafo 1-6)

Al revisar las obras en la época precolombina, se descubre el gran avance que habían desarrollado los habitantes de esa época, aunque se careciera de herramientas metálicas, con los recursos disponibles se hicieron obras que aún en estos tiempos causan asombro.

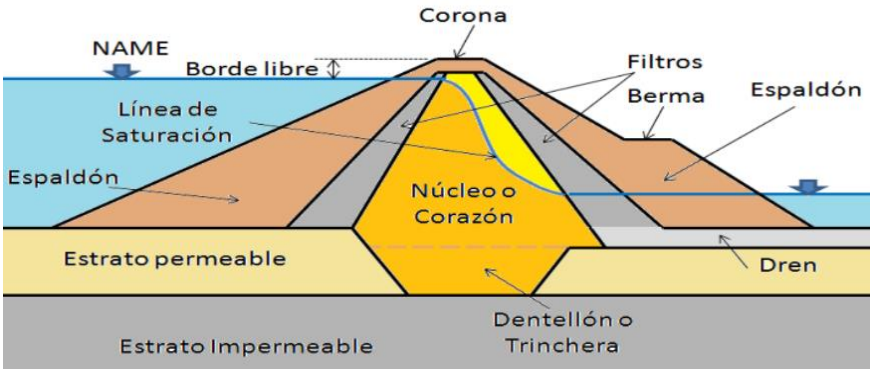
1.2. Desarrollo y utilidad de las presas

A lo largo de la historia humana, todo fue avanzando, la ciencia en todos los campos progresó, así se fue pasando de diseñar presas de tierra, contando solo con los materiales que la naturaleza proporcionaba, piedras, rocas y otros elementos disponibles; luego se fue utilizando otros materiales creados artificialmente y el desarrollo posterior de cálculos estructurales que dieron impulso a los grandes proyectos realizados en la actualidad.

1.2.1. Presas de tierra

Las presas fueron desarrollándose desde tierra, utilizando materiales naturales del lugar, como: gravas, rocas, arenas y limos o arcillas. Estas obras podían ser construidas sobre cualquier tipo de terreno, ya que no generaban presiones fuertes o excesivas sobre el lugar de la obra, su composición de carácter general se componía de lo siguiente.

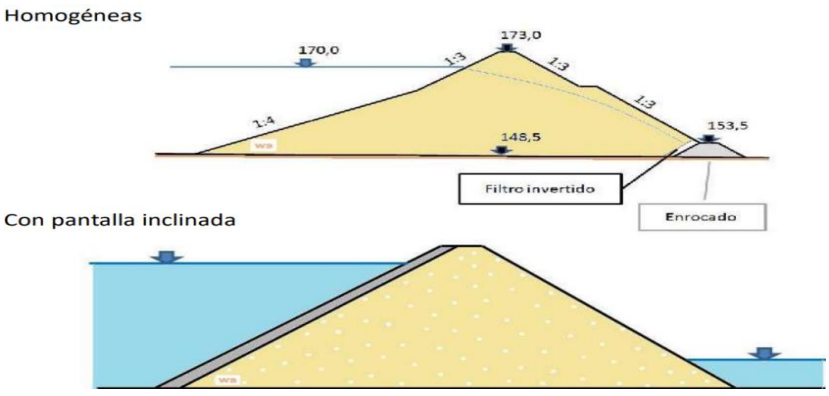
Figura 6. **Partes de una presa**



Fuente: Sandoval (2012). *Más que ingeniería.* Consultado el día 18 de junio de 2021. Recuperado de https //cutt.ly/zEIJifC.

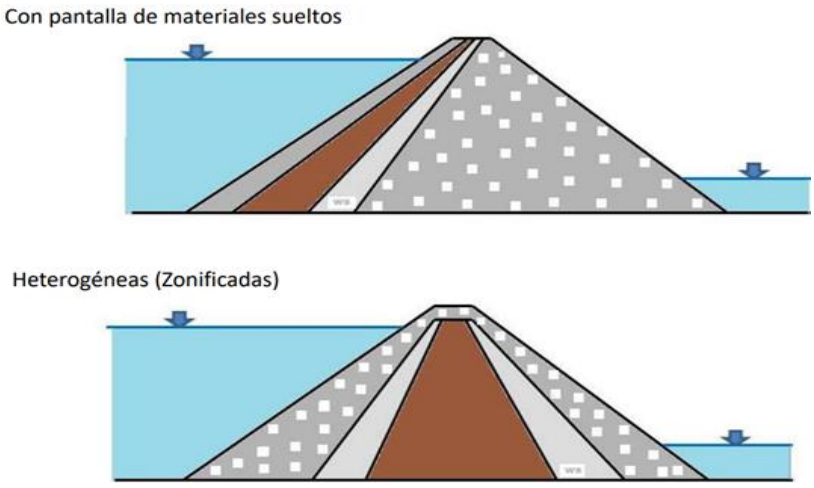
Según Sandoval (2012), indica que los tipos de presa de tierra por la composición del cuerpo de presa, pueden ser, “Homogéneas, Heterogéneas (zonificadas), con pantalla de materiales no sueltos, con pantalla de suelos, con núcleos de materiales finos, con diafragma, muros, tablestacas” (p. 3).

Figura 7. **Tipos de Presas**



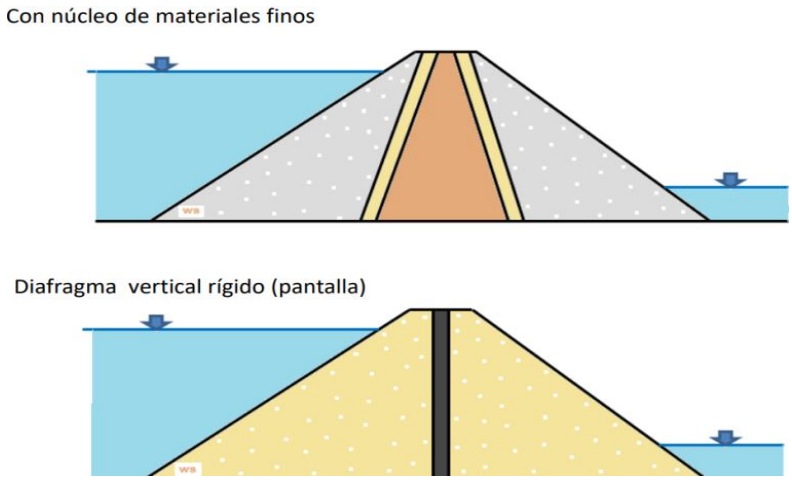
Fuente: Sandoval (2012). *Más que ingeniería.* Consultado el día 18 de junio de 2021. Recuperado de: https://cutt.ly/zEIJifC.

Figura 8. **Otros tipos de presas**



Fuente: Sandoval (2012). *Más que ingeniería.* Consultado el día 18 de junio de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/zElJifC.

Figura 9. **Variaciones de tipos de presas**



Fuente: Sandoval (2012). *Más que ingeniería.* Consultado el día 18 de junio de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/zElJifC.

En resumen, las presas de tierra se construyeron en la antigüedad por las condiciones imperantes de las diferentes épocas, técnicas que aun hoy en día son utilizadas y se construyen en lugares que tienen las condiciones óptimas para desarrollar este tipo de edificaciones; las funciones básicas principales de estas presas, es retener el agua y que sean impermeables, con los materiales disponibles. En la actualidad se ha tenido un gran avance en hacer impenetrable el agua a estas presas, su volumen puede ser lo suficientemente grande para resistir los empujes a los que será sometido durante la época de lluvias y se incrementa la presión sobre las pantallas de tierra.

1.2.2. Presas de gravedad

Las presas de gravedad son aquellas que por su gran volumen y peso vertical resisten grandes masas de agua y fuerzas horizontales, que esta produce. Su material consiste en hormigón, mampostería o piedra, pareciera que fueran iguales a las presas de tierra o materiales sueltos, pero las presas de gravedad se diferencian por el uso de materiales artificiales como el concreto, combinado con mampostería o roca. Estas presas de gravedad deben cimentarse sobre un terreno solido o debidamente tratado, ya que debe soportar el peso de una gran masa de agua, más el peso de la presa de gravedad, entre las ventajas de esta presa esta que se puede moldear y hacer la geometría más resisten al deslizamiento de su cimiento, así como el volteo.

La descripción de los elementos que componen la presa de gravedad son:

- Coronación: es la parte más alta de la presa, donde se limita del volumen de agua.

- Estribo: es una parte fundamental de la presa, que consiste en el apoyo lateral donde se empotra la presa, generalmente debe ser una parte rocosa hacia esa parte se concentrará la fuerza que estabilizará la presa.

- Cimentación: esta parte de la obra es la que transmite hacia el suelo toda la carga de la cortina de la presa.

- Aliviadero o Vertedero: está en la parte superior, es la que regula los excedentes de agua de la presa cuando en épocas de lluvia se puede superar el volumen que puede contener.

- Tomas: es la parte de donde se extrae el agua ya sea para riego, consumo humano o generación de energía eléctrica. Así como el caudal ecológico que permite el volumen de agua, que no ira a las turbinas eléctricas, en caso de que está presa sea utilizada para generación de energía eléctrica.

1.2.3. Comportamiento de la presa de gravedad

Las presas de gravedad son aquellas que resisten las fuerzas de empuje hidrostático, basado en su peso vertical. Esta debe ser lo suficientemente capaz de resistir las fuerzas de deslizamiento y volteo, se construyen con material del lugar y su base debe ser estable por el peso que a ella se transmite.

Estructuralmente la presa constituye un elemento que debe mantenerse estable en su misión de impedir el paso del agua.

El esfuerzo principal será el empuje hidrostático generado por el agua, e incluso por el agua y los sedimentos, pero existen otros condicionantes o esfuerzos que deben considerarse en el diseño de la presa. La Instrucción de

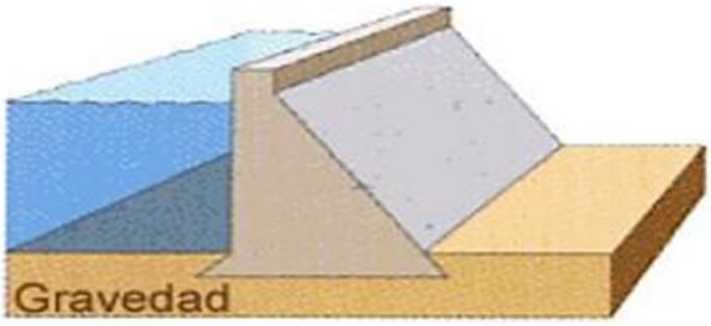
grandes presas establece las fuerzas actuantes; y el reglamento de seguridad califica las acciones según sean normales, accidentales o extremas.

Cada tipología estructural resiste los empujes de forma diferente, si atendemos exclusivamente a la forma de resistir el empuje hidrostático, que por otra parte es habitualmente el esfuerzo más importante.

Según Flores (2017), hace referencia a que existe un esquema de las presas de gravedad macizas e indica lo siguiente:

> La colaboración del terreno nos dará una reacción por rozamiento que depende del peso propio y del ángulo de rozamiento interno (φ) del terreno o de los planos de deslizamiento supuestos. Por otro lado, colaborará con la cohesión del propio terreno cuya reacción será proporcional a la superficie de contacto. (párrafo 11).

Figura 10. **Presa de gravedad**



Fuente: Mateo (2020). *Structuralia.* Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas.

Las condiciones que se buscan para la realización de un proyecto de presa de gravedad son las siguientes:

- La estructura de la presa debe ser monolítica, no se permiten fisuras de ningún tipo, inamovible, estable contra deslizamiento y volteo.

- Apegarse a las especificaciones y parámetros que la obra requiere.

- Principalmente actuarán contra la cortina de concreto las fuerzas verticales y horizontales del agua, sedimentos y otras fuerzas como escombros que puede arrastrar el agua de lluvia y otras fuerzas a considerar.

- Hay especificaciones para las presas de gran magnitud que indica las fuerzas normales actuantes y fuerzas no previstas, accidentales y de gran magnitud, todo debe estar apegado a reglamentos ya establecidos.

1.2.3.1. Tipología estructural de la presa de gravedad

Flores (2017), hace énfasis en la siguiente información:

Si atendemos exclusivamente a la forma de resistir el empuje hidrostático que por otra parte es habitualmente el esfuerzo más importante, las presas pueden ser:

- Presas de gravedad: cuando el empuje se contrarresta con el peso propio de la estructura y su disposición, teniendo en cuenta la capacidad portante del terreno, es por ello que podemos distinguir entre dos presas.

- Presas macizas: sin huecos apreciables en la masa del conjunto.
- Presas aligeradas: con huecos de entidad como las presas de contrafuertes donde la carga se transmite desde un tablero a una serie de muros transversales que apoyan en el terreno.
- La denominación de presas de gravedad se refiere habitualmente a las presas de gravedad macizas. (párrafo 5)

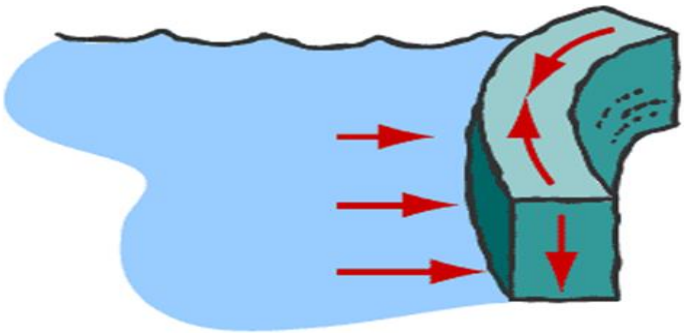
Las diversas clases de estructuras de presas resisten las fuerzas de empuje del agua de forma diferente, en el caso de las presas de gravedad, las fuerzas normales del agua hacia la presa y la fuerza vertical hacia arriba supresión, se resiste por el peso propio. La resistencia del suelo donde se cimenta y la fricción entre suelo y la estructura; en las presas de arco las fuerzas actuantes se trasladan hacia los laterales por el arco de la presa; las fuerzas verticales hacia arriba; subpresión por el peso de la estructura.

1.2.3.2. Presas de concreto armado, hormigón de arco

Estas presas son de concreto armado y las fuerzas axiales se distribuyen través del arco formado, se empotran las paredes de concreto a las paredes laterales de los muros de la montaña, preferiblemente roca, y si no es rocoso se debe dar un tratamiento especial hasta lograr la consistencia necesaria para empotrar ahí los estribos de la pantalla de concreto arqueado Esta forma de arco hace que las fuerzas axiales provocadas por la retención de agua se desvían hacia estos estribos e irán a las paredes laterales de los muros de la cuenca.

Las presas de hormigón son conocidas por su geometría, puede ser en forma de arco, basadas en el concepto antifunicular, este tipo de presas mantiene su forma.

Figura 11. **Presa de arco**



Fuente: Amador (2020). *Más que ingeniería.* Consultado el 20 de junio de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/KEIBdn7.

En este punto aparecen dos limitaciones o más bien condiciones, para la construcción de este tipo de presas:

- Gran capacidad resistente de los estribos.
- Una cerrada que cumpla ciertas características de geométricas, o de forma, cuanto más simétrica mejor.

La sección del cuerpo de esta tipología de presas puede ser de tres tipos:

- Presa arco: sección trapezoidal de planta curva.
- De doble curvatura: sección curva de planta curva. También se conocen como presas en bóveda.
- Arco-gravedad: presas en las que, por problemas de resistencia en los estribos, se construye un cuerpo de presa menos esbelto de forma que el

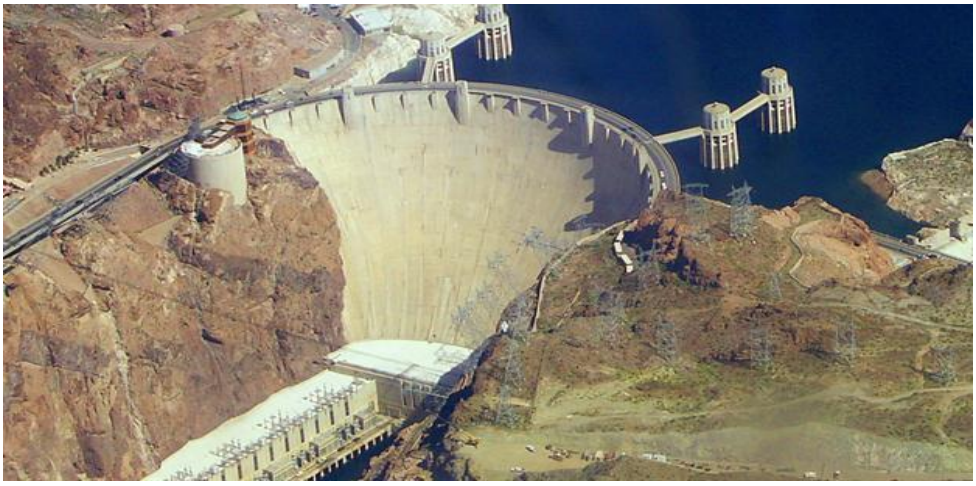
peso de la presa ayude a resistir los esfuerzos.

Según Amador (2020), en su documento, donde establece los principales tipos de presas y su clasificación indica que:

> Son presas más esbeltas que las de gravedad. En el caso de las de arcos y bóveda, la base es del 20 al 40 % de la altura. En cuanto a las presas arco-gravedad, la esbeltez se reduce un poco, estando entre el 40 y el 60 % de la altura de la presa. (párrafo 15)

Este tipo de presas de arco de concreto es adecuado para presas de gran altura, relativamente esbeltas, pero cuando hay problemas en los empotramientos laterales, su volumen puede aumentar, haciendo que por su propio peso sea más estable; trabajando en este aspecto, como una presa de gravedad.

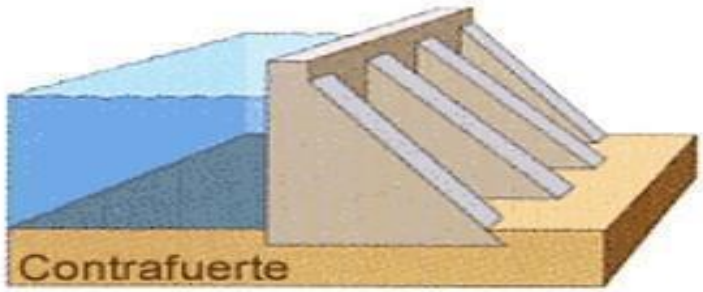
Figura 12. **Presa Hoover**



Fuente: Amador (2020). *Más que Ingeniería*. Consultado el 29 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/KEIBdn7.

En cuanto a las presas aligeradas o de contrafuertes se conocen como el tipo de presas que poseen un resistente mecanismo similar a las represas de gravedad, únicamente con la sección transversal unida por un paramento vertical, que forma un muro, luego se añade varios contrafuertes en el paramento de aguas abajo. Solo así se consigue estabilidad en el deslizamiento frontal y vuelco a una presa de gravedad, pero por una cantidad menor de material. Debido a la esbeltez del cuerpo de la represa en comparación a una presa de gravedad. (Amador, 2020).

Figura 13. **Presas aligeradas o de conta fuerte**



Fuente: Mateo (2020). *Structuralia.* Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas.

Con respecto a su uso y construcción, existen muchas ventajas en la construcción de una presa de este tipo, una de ellas es la económica debido al ahorro en materiales, sin embargo, no son muy usuales, esto es por la complejidad técnica de la construcción, específicamente de la mano de obra. (Mateo, 2020).

Figura 14. **Presas de contrafuerte**

Fuente: Mateo (2020). *Structuralia.* Consultado el 22 de agosto de 2021. Recuperado de https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas.

2. USO DE PRESAS

En este capítulo se presenta el uso que tiene una presa que desempeña un papel fundamental en la mitigación de las consecuencias de situaciones extremas para las poblaciones, especialmente como el caso de las inundaciones o de los largos periodos de sequias. Debido a que las presas tienen diferentes capacidades y funciones para atender a la población y las comunidades.

2.1. Presas para riego

En la construcción de presas para riego es indispensable tomar en cuenta varios factores, aparte de las condiciones físicas del lugar; cuenca, topografía del terreno, tipo se suelos y fundamentalmente la comparación entre la demanda de agua a necesitar y el caudal que puede suministrar la fuente.

2.2. Caudales de entrada

El volumen de agua en m3/segundo que ingresará a la presa según los estudios hidrológicos y que cubrirá la demanda de egreso, servirá para el fin que fue diseñada; para dar volumen sujeto a variación. Se utiliza el caudal medio mensual; que es la cantidad de agua que ingresa por mes durante los 30 días del mes, medidos por la cantidad de segundos durante los 30 días, si se hace en un período de 12 meses se toma el promedio.

En caso de carencia de información, se aplica el Método Racional, justificando los valores adoptados y diferenciando coeficientes de escorrentía, según los períodos húmedos y secos del año, así comparar los valores medios

estimados en el estudio con los caudales aforados; efectuando los ajustes que sean necesarios.

Jiménez (2021) menciona la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$V=C*P*A$$

Donde:

V= Volumen mensual escurrido por la cuenca (m3)

C= Coeficiente de escurrimiento

P= Precipitación media mensual

A= Superficie de la cuenca (m^2)

De estos datos el volumen depende de dos variables, el factor de escurrimiento C, la precipitación P y un factor constante A, que es el área de la cuenca, en el caso de la precipitación P, si se toma como caudal medio mensual, el volumen no variara mucho, pero se debe tomar en cuenta las condiciones climatológicas del lugar cuando se está haciendo los aforos, en cuanto al valor C, esté valor generalmente se toma de tablas, método de Prevert y Nadal.

Estimación a partir de tablas: este método se aplica cuando no se dispone de datos suficientes para determinar la lluvia neta, el coeficiente se determina en función de las características de la cuenca.

En el caso de que las características de la cuenca difieran, es decir que la cuenca tenga, por ejemplo: varios tipos de suelos o vegetación, se realizará una

media ponderada de los distintos coeficientes de escorrentía en función de las áreas que ocupen cada zona.

A continuación, se describen algunas de las tablas que sirven para el cálculo del coeficiente de escorrentía, La tabla de Prevert, hace referencia a “los valores del coeficiente de escorrentía que se muestran, se han obtenido a partir de parcelas experimentales” (Escorrentía, s.f. p. 71).

Tabla I. **Textura del Suelo**

Uso de suelos	Pendiente %	Limoso-arenoso	Limoso	Arcilloso
Bosque	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	5 – 10	0.25	0.35	0.50
	10 – 30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0 – 5	0.15	0.35	0.45
	5 – 10	0.30	0.40	0.55
	10 – 30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68

Fuente: elaboración propia, realizado en Word**.**

También se encuentra la tabla de Nadal, en el documento de Escorrentía, (s.f.) donde hace énfasis en facilitar “la fórmula para el cálculo del coeficiente de escorrentía” (p. 71).

$$C = 0.25*K1*K2*K3$$

Ecuación 2

Donde:

K1= Factor de la extensión de la cuenca

K2= Factor de la lluvia media anual

K3= F. actor de la pendiente y de la permeabilidad del suelo.

Tabla II**.** **Factores para la fórmula de Nadal**

Extensión	**Lluvia media anual**		**Características**		
Km^2	**K1**	**mm**	**K2**	**Cuenca**	**K3**
10	2.60	200	0.25	Lana y permeable	0.5-0.7
20	2.45	300	0.50	Ondulada	0.5-1.2
40	2.15	400	0.75	Montañosa e impermeable	1.2-1.5
100	1.80	500	1.0		
200	1.70	600	1.1		
500	1.40	700	1.17		
1000	1.30	800	1.25		
5000	1.0	900	1.32		
10000	0.90	1000	1.40		
20000	0.87	1200	1.50		

Fuente: elaboración propia, realizado en Word**.**

De esta forma es como se logra determinar el coeficiente C, para el cálculo de volumen que puede llegar a la cuenca en estudio, esté es solo uno de los métodos. Existen varios y se puede tomar datos de la cuenca, como datos de vegetación y de suelo, de esta forma se puede estimar un coeficiente C promedio, de la cuenca que se desea estudiar para la posterior construcción de una presa.

2.3. Caudales de salida

Son los caudales de agua que saldrán del embalse para cubrir la demanda para la que fue diseñada la presa.

2.3.1. Caudales ecológicos

Es el caudal de agua que permite la vida en los ríos, peces y todo tipo de seres que viven en estos afluentes. Como animales y vegetación que viven en sus cuencas. El medio ambiente debe protegerse y como mínimo debe mantenerse el 10 % del caudal del medio mensual que tenga el río en m3.

Tabla III. **Caudal Ecológico**

	CAUDAL ECOLÓGICO USOS M3/seg											
VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
M3/s	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298	0,00298

Fuente: Jiménez, (2021), *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

2.3.2. Caudales de demanda

Es el volumen en m3 del agua que se necesita tenga la presa para satisfacer las demandas de riego en las plantaciones que recibirán el suministro de agua y también para consumo humano.

Tabla IV. **Caudales medios mensuales**

CAUDAL MEDIO MENSUAL AL 75% DE PROBALIDAD (M3/s)												
PROB. EXCED	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
75%	0,05087	0,05482	0,03882	0,02783	0,02005	0,01742	0,01711	0,01660	0,01760	0,02433	0,03003	0,04257
	50,87000											

Fuente: Jiménez, (2021), *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

2.3.3. Evaporación

Es la magnitud de perdida de agua por evaporación; está es causada por el déficit en la saturación del aire, cuando el aire este con mínima saturación más la evaporación. También las corrientes de aire, alta temperatura y las menores presiones atmosféricas, ocasionan mayor evaporación.

Tabla V. **Evaporación**

EVAPORACIÓN MEDIA (mm)												
VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	122,63	105,63	101,91	80,65	62,86	55,86	61,32	83,06	97,74	109,96	119,69	115,51

Fuente: Jiménez, (2021), *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

2.3.4. Infiltración

No existe un suelo totalmente impermeable y por lo tanto una presa siempre tendrá infiltración, esta infiltración puede aparecer aguas abajo de la represa y ocurren no solo por el tipo de suelo sino también por las fundaciones del cimiento.

Tabla VI. **Infiltración**

INFILTRACIÒN (mm)												
VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	55,4	30,9	10,1	1,8

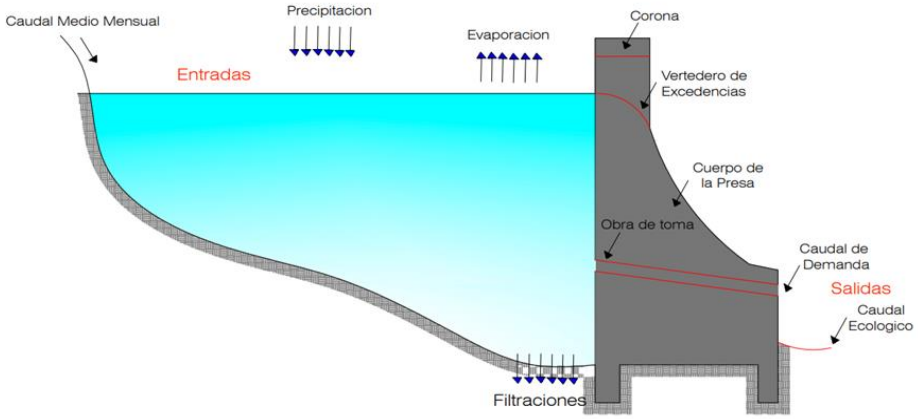
Fuente: Jiménez, (2021), *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

2.3.5. Regulación de la presa y cálculo de altura optima

La regulación indica los volúmenes de ingreso de agua a la represa y la comparación contra la demanda que se utilizará en el riego de los cultivos, si está será suficiente para cubrir las necesidades o habrá déficit y por lo tanto no es viable la construcción de una presa en el lugar en estudio, también la regulación permitirá calcular la altura óptima de la presa o de la cortina de retención del agua.

También es un balance entre la entrada y salida de agua entre ciertos períodos de tiempo a nivel anual promedio. Para identificar las entradas y evacuaciones se construyen las presas en época de invierno, lo que permite almacenar el agua y en época seca poder usarla para los cultivos para el cual fue construida.

Figura 15. **Sección de embalse**



Fuente: Jiménez (2021). *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

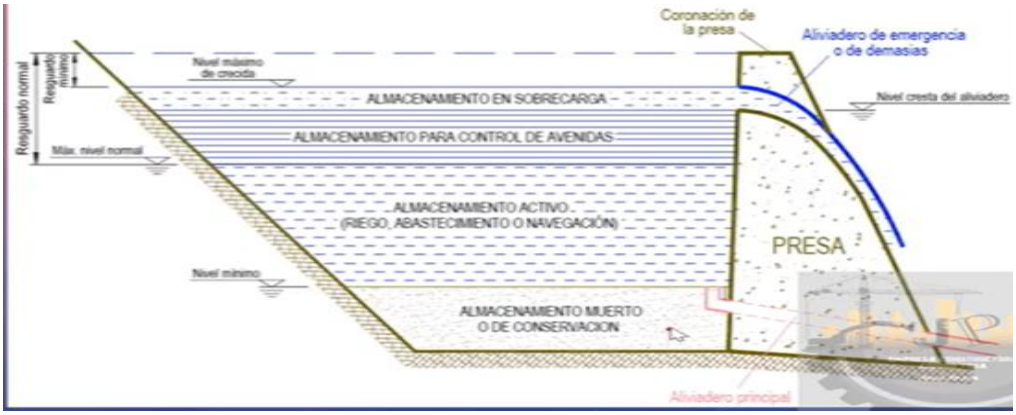
Es un balance entre las entradas y salidas del agua de la presa, la estructura para el almacenamiento permitirá comparar el balance y para ello se debe comparar las perdidas como evaporación, filtraciones y salidas contra el caudal que ingresa a la presa, de esta comparación se obtiene un déficit o superávit de agua en la presa; de ahí se calcula la altura necesaria para la presa en caso de tener superávit de agua.

Con estos datos se tendrá volúmenes útiles, volúmenes mínimos y trabajar en el prediseño de la presa; así determinar su altura, calculando el volumen necesario, se puede optimizar la presa en función económica, porque al estimar un volumen mayor al necesario, ocurre el encarecimiento del proyecto y los factores a tomar en cuenta para la regulación.

Jiménez (2021) indica lo siguiente:

Los factores de los que depende la regulación, volumen del embalse, aportaciones que entran a la presa, (nivel anual y su distribución en el tiempo, demandas previstas para uno o varios casos, laminación de avenidas, perdidas por evaporación, sedimentación e infiltración. La oferta total es igual a los aportes medios mensuales, y la demanda total es, demanda de riego, perdidas por evaporación, perdidas por infiltración, caudal ecológico y otros, al final es una resta entre la oferta total y la demanda total.

Figura 16. **Secciones de niveles de embalse**



Fuente: Jiménez (2021). *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

Se puede apreciar las diversas secciones y niveles de la presa, bajo el almacenamiento muerto o de conservación y el nivel de referencia y parte superior de cimentación.

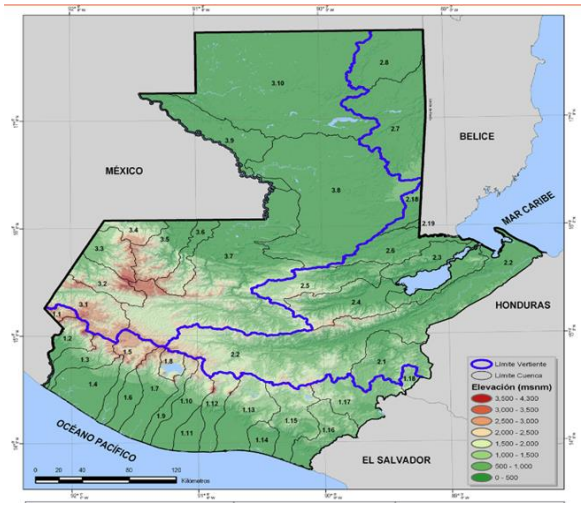
Están indicados todos los volúmenes necesarios en cada nivel para los usos que se necesitan, el nivel de sedimentación en la parte inferior de la presa, es importante calcular su volumen ya que de ello depende la vida útil de la presa, este cálculo debe ser preciso ya que si no está bien altera los demás volúmenes.

En el esquema nos indica que hasta el nivel de almacenamiento activo (riego, abastecimiento o navegación) es el nivel que nos da el balance, esté nivel es la altura que tendrá la cortina, el siguiente nivel almacenamiento para control de avenidas es la sobre carga de agua que tendrá la presa por efectos de las lluvias, si la presa solo se está utilizando para riego, entonces es fundamental el rebalse para el control de estos volúmenes de agua, en el caso de utilizarse para energía eléctrica toda esta energía adicional provocada por volúmenes de agua, se puede utilizar en generar más energía.

2.3.5.1. Topografía de cuencas para determinación de altura de cortinas de presa

Para determinar la altura de una cortina de presa, es fundamental tener la topografía de la cuenca donde se pretende construir una presa, y se determinará la parte más estrecha de la cuenca y desde ese punto se partirá a ubicar curvas de nivel.

Figura 17. **Cuenca Hidrogáficas**



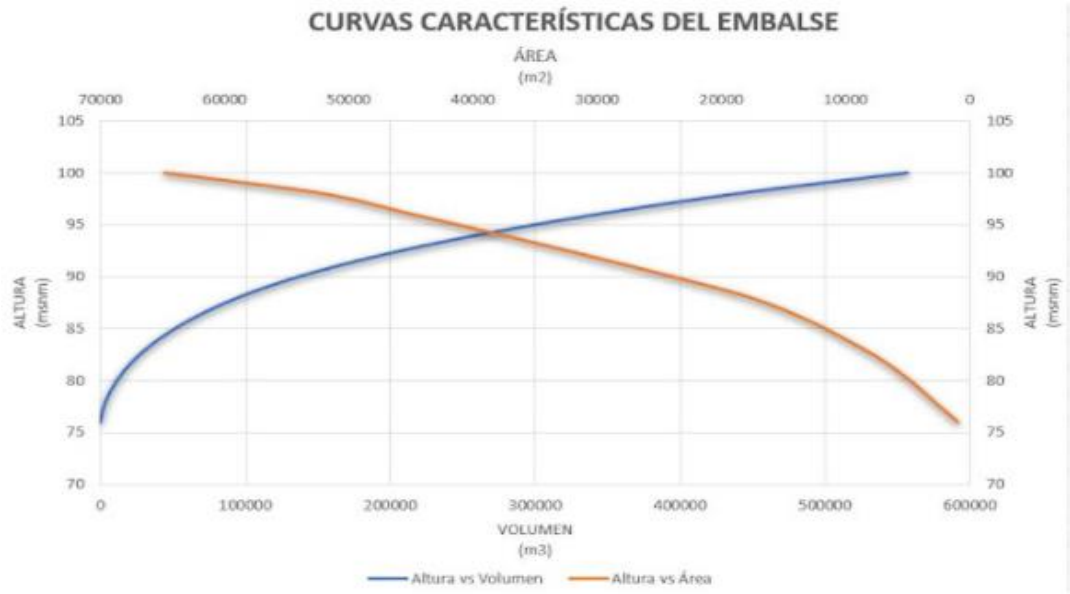
Fuente: Universidad Rafael Landívar (2005). *Más que Ingeniería.* Consultado el 13 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/OEA6Izh.

Las curvas de nivel se trazarán en forma circular partiendo desde donde se ubicará la presa hasta retornar con curvas que estén preferiblemente, a una distancia de un metro de altura y distancia, con programas como Civil 3D, se calculará el área entre curvas.

Estas curvas son elaboradas con base a la topografía del terreno, es decir, se hará uso de las curvas de nivel equidistante como máximo un metro.

Las curvas de nivel representan el volumen de almacenamiento en función de la altura y a su vez, el área que presenta el gráfico correcto de estas curvas es de gran utilidad para poder determinar la magnitud que tendrá, todo el espejo de agua a diferente altura, se podrá estimar el volumen que cuenta debajo de la superficie de agua. Estas curvas tienen su aplicación en la ubicación de las obras de toma, aliviadero, corona, y demás espejos de agua necesarios para el diseño.

Figura 18. **Curvas de embalse**



Fuente: Diseño hidrológico para embalses (2020). *Más que Ingeniería.* Consultado el 13 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/FRfTpbu.

V.E. Jiménez Martínez, presidente de la empresa Construcción de Represas y Sistema de Riego Vallecito, Consultora DEMSA, SRL en la comunicación personal (2021) hace mención en el curso Diseño Hidráulico de Presas lo siguiente:

- Curva altura vs área: representa el área de una sola superficie de agua dentro de una determinada curva de nivel.

- Curva altura vs volumen: representa el volumen de agua que se encuentra debajo de la superficie de agua.

Estás curvas son elaboradas con base a la topografía del terreno, a cada metro se tiene las curvas de nivel, estás representan el volumen de agua con

base a la altura, si se sabe el volumen se puede saber la altura al trazar una línea vertical desde el volumen hacía la curva, la línea horizontal nos indicará la altura o el área, o si se sabe el área, se podrá determinar en la intersección el área de una superficie de agua dentro de una determinada curva de nivel.

En resumen, una curva representa altura-volumen y la curva altura-área, una representa el volumen del embalse, otra el área del embalse, se determina con topografía y usando Civil 3D, en una presa ya no se trabaja con volúmenes de agua pequeñas, se trabaja con Hm3=1millon m^3.

Tabla VII. **Oferta de agua**

Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caudal (l/s)	274.436351	346.593474	157.928796	111,1827053	53,182753	17,905179	8,74631788	3,1354724	6,99155347	47,5271613	154,155228	235,325458
Caudal (m^3/s)	0.27444	0,34659	0,15793	0,11118	0,05314	0,01791	0,00875	0,00314	0,00699	0,04753	0,15416	0,23533
Aporte m^3	735050,324	838478,932	422996,488	288185,695	142324,837	46410,837	23426,1378	8398,0494	18122,1066	127296,749	399570,35	630295,708
ORDENADO EN PERIODO DE SIEMBRA												
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Aporte en m^3	46410,273	23426,1378	8398,0494	18122,1066	127296,749	399570,35	630295,708	735050,324	838478,932	422996,488	288185,695	142324,837
PERDIDAS												
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Evaporaciòn (mm/día)	5,504	5,184	4,504	3,472	2,592	2,232	2,6	3,456	4,672	5,672	5,928	5,672
Evaporaciòn (mm/mes)	170,624	145,152	139,624	104,16	80,352	66,96	80,6	107,136	140,16	175,832	177,84	175,832
ORDENADO EN PERIODO DE SIEMBRA												
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Evaporación (mm/mes)	66,96	80,60	107,14	140,16	175,83	177,84	175,83	170,51	145,15	139,62	104,16	80,35
INFILTRACIÓN												
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Infiltraciòn (mm/día)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ORDENADO EN PERIODO DE SIEMBRA												
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Infiltración (mm/día)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DEMANDA DE RIEGO												
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes Caudal (l/s) Caudal (m^3/s) Aporte m^3	ENE 61,97 0,06197 165991,9	FEB 18,71 0,01871 45272,44	MAR 10,73 0,01073 28739,21	ABR 33,28 0,03328 86265,31	MAY 49,43 00,04943 132386,78	JUN 60,45 0,06045 156696,25	JUL 107,24 0,10724 287223,23	AGO 179,71 0,17971 481328,2	SEP 228,84 0,22884 593145,62	OCT 249,21 0,24921 667471,12	NOV 118,97 0,11897 308362,81	DIC 55,91 0,05591 149738,05
ORDENADO EN PERIODO DE SIEMBRA												

Continuación tabla VII.

Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Aporte en m^3	156696,25	278223,23	481328,2	593145,62	667474,12	308362,81	149738,05	165991,9	45272,44	2839,21	86265,31	12386,78
DEMANDA AGUA POTABLE												
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caudal (l/s)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Caudal (m^3/s)	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Aporte m^3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ORDENADO EN PERIODO DE SIEMBRA												
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Aporte en m^3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAUDAL ECOLÓGICO												
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caudal (l/s)	27,44	34,66	15,79	11,12	5,31	1,79	0,87	0,31	0,70	4,75	15,42	23,53
Caudal (m^3/s)	0,02744	0,03466	0,01579	0,01112	0,00531	0,00179	0,00087	0,00031	0,00070	0,00475	0,01542	0,02353
Aporte m^3	73505,0324	83847,8932	42299,6488	28818,5695	14232,4837	4641,0273	2342,61378	839,80494	1812.21066	12729.6749	39957.035	63029.5708
Días	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31
Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Aporte en m^3	4641,0273	2342,61378	839,80494	1812,21066	12729,6749	39957,035	63029,5708	735025,0324	83847,8932	42299,6488	28818,5695	14232,4837

Fuente: elaboración propia, realizado en Word**.**

Está tabla indica la cantidad de días, los meses y el tiempo en el que aporta al mes el volumen de agua, como ejemplo que cantidad de agua se aporta en el mes de junio. Su aportación por día durante junio es de 17.92 Lt/seg. = 0.01791 m3/seg., durante los 86,400seg/día y durante los 30 días. De ese mes, da un volumen/mes = 0.01791m3/segx86,400 segx30 días = 46,422.72 m3 durante el mes. Esto es la oferta de agua disponible, de la misma forma se calcula la demanda de agua, pérdidas, infiltración, ordenado en período de siembra, demanda de riego, demanda de agua potable, ordenado en período de siembra, el agua potable y el caudal ecológico.

Tabla VIII. **Operación simulada del embalse - Año Promedio**

	0	1	1	0	1	0	1	1	8	1	0	1	
es	UN	UL	GO	EP	CT	OV	IC	NE	EB	AR	BR	AY	TOTAL
OFERTA AGUA													

Continuación tabla VIII.

PORTE m3	6.410,27	3.426,14	.398,05	8.122,11	27.296,75	99.570,35	30.295,71	35.050,32	38.478,93	22.996,49	88.185,70	42.324,84	.680.555,65
OTAL APORTE MES ANTERIOR m3	6.410,27	3.426,14	.398,05	8.122,11	27.296,75	99.570,35	30.295,71	35.050,32	38.478,93	22.996,49	88.185,70	42.324,84	.680.555,65
ESTO MES ANTERIOR m3	.299.710,55	.160.547,08	.867.825,13	.364.254,06	58.196,81	79.558,06	10.970,72	03.617,82	.065.442,82	.737.078,78	.332.807,50	.332807,50	
OTAL VOLUMEN DISPONIBLE m3	.346.120,82	.183.973,22	.876.223,18	.382.376,17	85.493,56	79.128,41	41.266,42	.338.668,14	.903.921,75	.160.075,26	.620.993,19	.475.132,33	
	PERDIDAS												
vaporación (mm/mes)	6,96	0,96	07,14	40,16	75,83	77,84	75,83	70,62	45,15	39,62	04,16	0,35	
vaporación (m3/mes)	6.737,56	9.198,28	3.113,25	4.069,64	1.877,58	6.974,42	1.151,82	8.542,60	1,622,61	3.015,10	7.957,30	0.784,00	85.044,16
nfiltración (mm/día)	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
nfiltración (m3/mes)	.498,91	.383,96	.687,86	.151,89	.857,12	.863,47	.729,16	.185,79	.100,04	.330,17	.052,22	.018,52	1.859,07
OTAL PERDIDAS m3	4.236,47	6.582,24	9.801,11	9.221,53	5.734,70	9.837,85	4.880,98	3.728,39	7.722,65	0.345,27	6.009,52	8.802,52	93.995,53
OTAL APROVVECHABLE MENSUAL (m3)	.321.884,36	.157.390,98	.846.422,07	.353.154,64									
es	UN	UL	GO	EP	CT	OV	IC	NE	EB	AR	BR	AY	OTAL
EMANDA DE AGUA	56.696,25	87.223,23	81.328,20	93,145,62	67.471,12	08.362,81	49.738,05	65.991,90	5.272,44	8.739,21	6.265,31	32.386,78	1.102-620,92
GUA POTABLE m3	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00

Continuación tabla VIII.

AUDAL ECOLOGICO m3	.641,03	.342,61	39,80	.812,21	2.729,67	9.957,04	3.029,57	3.505,03	3.847,89	2.299,65	8.818,57	4.232,48	68.055,57
OTAL REQUERIDO m3	61.337,28	89.565,84	82.168,00	94.957,83	80.200,79	48.319,85	12.767,62	39.496,93	29.120,33	1.038,86	15.083,88	46.619,26	.470.676,49
ESTO UTIL EMBALSE m3	.160.547,08	.867.825,13	.364.254,06	58.196,81	79.558,06	10.970,72	03.617,82	.065.442,82	.737.078,78	.048.691,13	.332.807,78	.299.710,55	
EBALSE POR VERTEDOR EXCED. m3	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	37.092,30	,00	37.092,30
LTURA m	8,96	8,29	6,94	4,38	1,00	8,20	0,63	4,13	7,06	8,19	0,02	9,46	
REA INUNDADA m2	49.964	38.192	1.,737	71.730	24.423	5.448	20.296	67.284	17.859	36.457	68.407	58.662	

Fuente: Jiménez (2021). *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

La tabla anterior, muestra el caudal de agua que se tiene, contra las pérdidas. Entre la oferta de agua se incluye el aporte en el mes, resto de M^3 del mes anterior y por tal razón se encuentra el valor disponible.

En las pérdidas se encuentran, evaporación, infiltración en (mm/día), infiltración en (m^3/mes), la diferencia entre estos dos valores, oferta de agua menos pérdidas, da el valor aprovechable mensual (m^3).

En la demanda de agua, se incluye, riego en m^3, si hubiera agua potable en m^3, caudal ecológico en m^3; el total aprovechable menos la demanda de agua da el resto útil aprovechable, con el resto útil aprovechable e interpolando en la gráfica de curvas se puede encontrar la altura de la presa y cuanta área podrá ocupar este volumen de agua.

En este cuadro con el valor e interpolando en las curvas de nivel da una altura de 28.96 metros y el área a ocupar 249, 964 m^2, para el volumen de 2,160,547.08 m^3, resultado de la diferencia entre el total aprovechable menos la demanda de agua.

En el cuadro se ve que, desde junio, la oferta de agua empieza a decrecer y empieza a subir en enero, el nivel mínimo de la presa se mantiene en las pérdidas a nivel de sedimento, la regulación óptima es cuando la oferta de agua es igual o se aproxima a la demanda, para esté cuadro el cálculo se basa en que las siembras que se inician de mayo a junio, por tal razón el volumen total de la presa dará el volumen muerto de sedimento, más el volumen útil de agua que siempre se utilizará.

En cuanto a los datos que dará la topografía sobre la cuenca, serán fundamentales ya que permitirá determinar las alturas de cotas y con base a estás cotas determinar el volumen de agua que está acumulada a determinada altura, el área entre cotas, entre otros programas lo dará Civil 3D, los datos que se necesitan se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla IX. **Datos del levamiento topográfico**

			[1]	[2]	[2]	[4]
Cota	Área parcial	Altura	Área acum	Prom. Área acum.	Volumen paricial	Volumen Acom.
msnm	m^2	m	m^2	m^2	M^3	M^3
1343	24,91	0	24,91	0,00	0,00	0,00
1344	101,22	1	126,13	75,52	75,52	75,52
1345	213,91	2	340,05	233,09	233,09	308,61
1346	317,48	3	657,53	498,79	498,79	807,40
1347	490,76	4	1148,28	902,91	902,91	1710,31
1348	915,77	5	2064,05	1606,17	1606,17	3316,47
1349	1253,40	6	3317,46	2690,75	2690,75	6007,23
1350	166,07	7	4981,53	4149,49	4149,49	10156,72
1351	2451,35	8	7032,88	6007,20	6007,20	16163,92
1352	2455,48	9	9488,36	8260,62	8260,62	24424,54
1353	2883,85	10	12372,20	10930,28	10930,28	35354,82
1354	3307,89	11	15680,10	14026,15	14026,15	49380,97
1355	3814,75	12	19494,85	17587,47	17587,47	66968,44
1356	4375,28	13	223870,13	21682,49	21682,49	88650,93
1357	4902,03	14	28772,16	26321,15	26321,15	114972,08

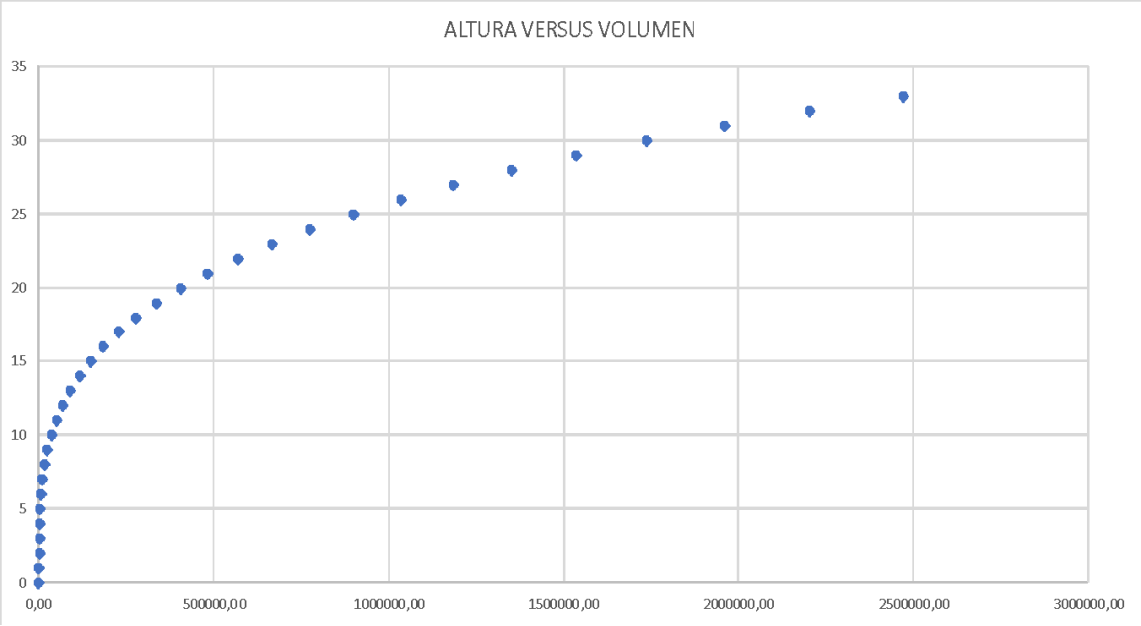
Continuación tabla IX.

			[1]	[2]	[2]	[4]
Cota	Área parcial	Altura	Área acum	Prom. Área acum.	Volumen paricial	Volumen Acom.
1358	5452,30	15	34224,46	31498,31	31498,31	146470,39
1359	6133,43	16	40357,88	37291,17	37291,17	183761,56
1360	6743,12	17	47101,00	43729,44	43729,44	227491,00
1361	7449,06	18	54550,06	508025,53	50825,53	278316,53
1362	8259,82	19	62809,89	50825,53	50825,53	278316,53
1363	8994,65	20	71804,53	67307,21	67307,21	404303,71
1364	9772,58	21	81577,11	76690,82	76690,82	480994,53
1365	10578,39	22	92155,50	86866,30	86866,30	567860,84
1366	11441,82	23	103597,32	97876,41	97876,41	665737,25
1367	12347,87	24	115945,19	109771,25	109771,25	775508,50
1368	13305,36	25	129250,54	122597,87	122597,87	898106,36
1369	14296,52	26	143547,06	136398,80	136398,80	1034505,17
1370	15318,57	27	158865,63	151206,34	151206,34	1185711,51
1371	16380,63	28	175246,26	167055,94	167055,94	1352767,68
1372	17555,95	29	192802,20	184024,23	184024,23	1536791,68
1373	18845,75	30	211647,95	202225,08	202225,08	1739016,76
1374	20401,57	31	232049,52	221848,73	221848,73	1960865,49
1375	23789,94	32	254090,09	243069,80	243069,80	2203935,29
1376	23789,94	33	277880,02	265985,05	265985,05	2469920,35

Fuente: elaboración propia, realizado en Word**.**

Se tiene las cotas, con niveles de un metro, el área parcial, la altura, área acumulada, volumen parcial y volumen acumulado, el área acumulada es la suma de las áreas parciales sucesivas, 0+24.91, 24.91+101.22= 126.13, luego, 213.91+126.13=340.05, así sucesivamente, se va obteniendo las áreas acumuladas, de la misma forma, los volúmenes acumulados, de estos datos se pueden calcular, las curvas que determinarán la altura, si conocemos el volumen, de igual forma, si se tiene la altura se determinará el volumen en ese nivel, con las cotas de altura y el volumen acumulado se determinará la curva.

Figura 19. **Curva cota vs volumen acumulado**



Fuente: Jiménez (2021). *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

Si se conoce el volumen, se puede determinar la altura que ocupa ese volumen, en el eje X están los volúmenes m3 y en la Y las alturas h.

2.3.6. Regulación del embalse

Para la regulación de presas o embalses para riego y otros se toman, el balance hídrico tomando en cuenta los datos siguientes:

2.3.6.1. Demandas de riego

En este caso el ejemplo tomado de presa para riego no es muy grande, por eso el consumo que se necesita para riego es pequeña, vemos que los consumos en litros/s, sus volúmenes son bajos.

Tabla X. **Demanda de Riego**

DEMANDA DE RIEGO												
VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
L/s	0,13	0,00	3,55	7,25	10,98	3,36	3,67	12,88	28,86	28,44	28,95	3,30
M3/s	0,0001	0,0000	0,0038	0,0073	0.0110	0,0034	0,0037	0,00129	0,0289	0,0284	0,0289	0,0033
M3	360,46	0,00	9518,49	18799,02	29405,25	8713,23	9823,55	34487,30	74808,46	76160,62	75033,42	8848,39
Hm3	0,0004	0,0004	0,0095	0,0188	0,0294	0,0087	0,0098	0,0345	0,0748	0,0762	0,0750	0,0088

Fuente: Jiménez (2021). *Curso online de diseño hidráulico de presa, Clase No.1.* Consultado el 13 de septiembre de 2021. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=2ykmj.

2.3.7. Presa para consumo humano

A nivel mundial en los siguientes años, la escasez de agua será crítica, si no se planifica y se toman las medidas adecuadas para enfrentar esté desafío, hay varios métodos para lograr un mayor almacenamiento de las aguas de lluvia, esté puede ser a través de presas, cortinas de concreto o almacenamientos naturales que aumenten por filtración los reservorios naturales y las aguas subterráneas.

Estás son menos dañinas para el medio ambiente, que la construcción de presas o embalses para el almacenamiento de agua. La protección de cuencas es fundamental que estén con sus árboles naturales para que el agua de lluvia se filtre a manantiales subterráneos y que el agua no corra superficialmente y se

pierda causando destrozos con las inundaciones, al aumentar mucho la población es realmente difícil mantener las reservas de bosques en las cuencas, la captación de agua al ser alimentada por filtración y el agua subterránea, sirven para el almacenamiento del agua que se pierde y que causa inundaciones.

Por esta razón es imprescindible la construcción de presas para el almacenamiento y consumo de agua de buena calidad, para los seres humanos y todo ser vivo, manteniendo el equilibrio con el medio ambiente, cuidando las especies animales como peces que necesitan desovar río arriba para su reproducción, además de las personas que subsisten de la pesca para llenar sus necesidades básicas.

Los lagos y embalses contienen aproximadamente dos tercios del agua dulce superficial y atmosférica de la tierra, la administración del agua en estos cuerpos de agua puede ayudar a las comunidades a mitigar la variabilidad estacional y anual en la precipitación pluvial anual y en el agua de escorrentía.

Los embalses constituyen una fuente de suministro de agua relativamente fiable que se puede manejar con algún grado de confiabilidad. Cuando existe una repunta en la demanda de agua, quizá durante la temporada agrícola alta durante la primavera, los embalses pueden satisfacer el exceso de demanda con recursos que se han recolectado durante todo el año.

Los embalses o reservorios con represas artificiales pueden además generar energía hidroeléctrica, a menudo a una escala que las vuelve atractivas para muchos encargados de elaborar políticas. A finales del siglo XX, había más de 45.000 presas en todo el mundo con una altura de 15 metros o más, globalmente se construyen aproximadamente 160 a 320 nuevas presas de gran tamaño por año. El agua potable limpia es una necesidad humana básica,

desafortunadamente una de seis personas, aún carecen de acceso fiable a este precioso recurso, el problema es particularmente agudo en los países en vías de desarrollo.

En el diseño de una presa siempre debería dejar como caudal de salida agua potable para las poblaciones cercanas si hay, éste se divide en secciones sobre recursos, tratamiento y distribución de agua potable.

La sección de recursos indica la ubicación del agua en la cuenca y cómo se pueden proteger dichas áreas. Las clases de recursos disponibles también determinan los tipos de técnicas administrativas que se pueden utilizar para aprovechar al máximo la última gota de agua.

En la sección de tratamiento se debe examinar las maneras en que los proyectos contaminan las fuentes de agua y que se puede hacer para mejorar.

La definición de presa o represa: se denomina a una barrera fabricada de piedra, concreto o materiales sueltos, que se construye al paso de un río o arroyo.

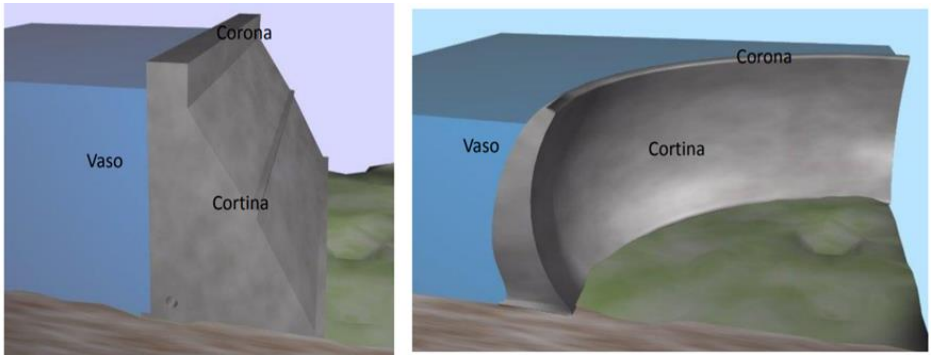
> En el documento Presa o Represa (s.f.), hace referencia a lo siguiente: Esta barrera se le llama cortina y la parte más alta corona, el lugar donde se almacena el agua se le llama vaso y está diseñada para prevenir inundaciones, generar energía eléctrica, almacenar el vital líquido para el consumo humano ó la infraestructura hidroagrícola, el cultivo de peces, como recreación o actividades acuáticas, entre otros. (p. 1)

En cuanto a la duración de la vida útil de una presa la sedimentación es un factor importante, ya que durante la escorrentía de los manantiales que alimentan el embalse, esta sedimentación se acumula en la presa y no tienen salida, su

volumen va en aumento y el costo de extraer este sedimento es muy elevado y el uso de agua para lavar estos sedimentos es de un volumen muy alto y puede ocasionar daño ecológico en las partes bajas fuera de la presa, es decir aguas abajo.

En cuanto a la definición de presa y embalse, la presa es la cortina de concreto que detiene el flujo de agua y el embalse es el agua acumulada por la presa.

Figura 20. **Gráfica de cortinas de embalses**



Fuente: Presa y Represa (s.f.). *Cuttly.* Consultado el día 18 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/AE2hmun.

Tabla XI. **Clasificación de las presas de acuerdo a su tamaño**

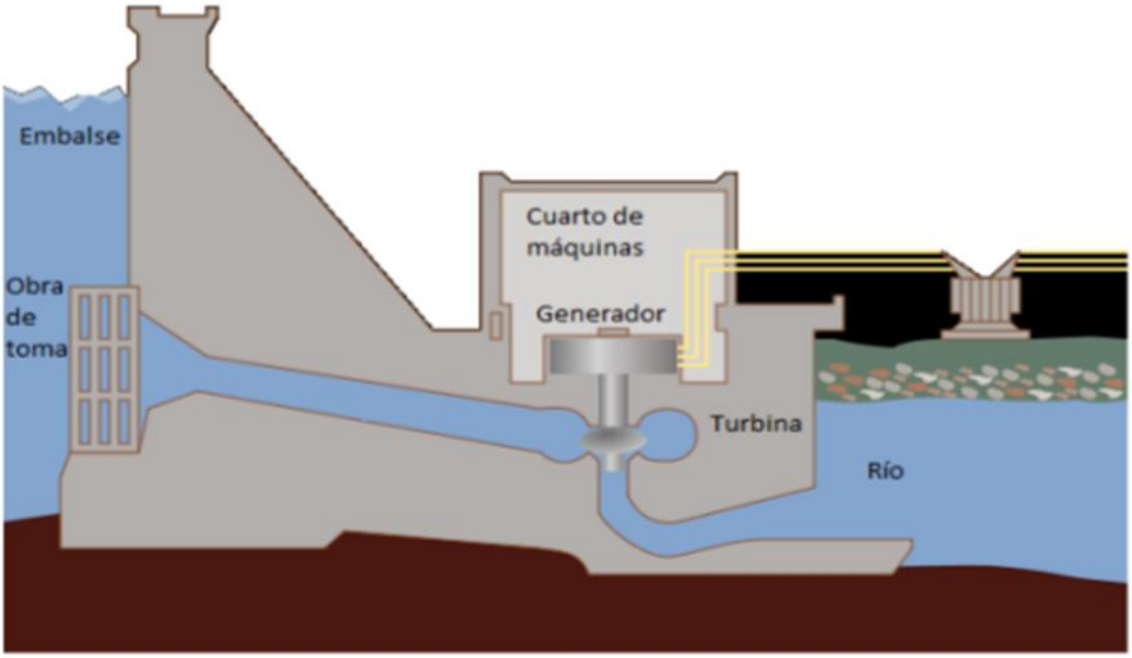
Parámetro	**Chica**	**Tamaño Mediana**	**Grande**
Altura de la cortina	< 10 m	10-15 m	>15m
Longitud de la corona	< 1 km	< 500 m	>500 m
Capacidad del vaso	< 1 Mm3	< 1 Mm3	Mm3

Fuente: elaboración propia, realizada en Word.

2.3.8. Presas para generación de energía eléctrica

Hay tres clases de uso para las presas, almacenamiento de agua para regadíos suministro de agua potable e incluso recreación, también para el control de inundación en la época de intensas lluvias y para la generación de energía eléctrica, las “presa para generación de energía eléctrica, el agua almacenada (energía potencial) se conduce por medio de una tubería a una turbina hidráulica, que convierte la energía potencial a energía eléctrica por medio de un generador eléctrico” (párrafo Presa o Represa, s.f., 4)

Figura 21. **Gráfica de agua hacia generador**



Fuente: Presa y Represa (s.f.). *Cuttly.* Consultado el día 18 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/AE2hmun.

Las presas para generación de energía eléctrica es una de las fuentes para generar energía limpia y renovable, su uso está muy extendido en el mundo y cada vez se va tomando conciencia de construirlas con el menor efecto que no dañe la ecología donde se construyen, aunque esto es inevitable es parte fundamental que el efecto sea lo menor posible.

A finales del siglo XIX, la energía hidroeléctrica se convirtió en una de las fuentes para generar electricidad y la primera empresa en generar energía a través de las cataratas del Niágara fue la *Niagara Falls Hydraulic Power & Manufacturing Company* en 1882.

Una central hidroeléctrica clásica, es un sistema que consiste en tres partes: una central eléctrica en la que se produce la electricidad, una presa que puede abrirse y cerrarse para controlar el paso del agua y un depósito en que se puede almacenar agua. El agua por la parte posterior de la presa fluye a través de una entrada y hace presión contra las palas de una turbina y hace que éstas se muevan.

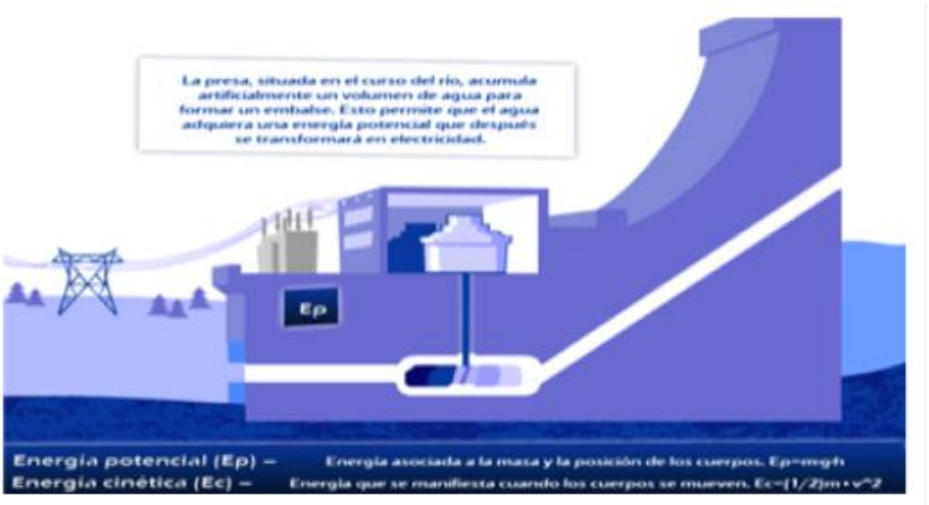
La turbina hace girar un generador para producir la electricidad, la cantidad de electricidad que se puede generar depende de hasta dónde llega el agua y de la cantidad de está que se mueve a través del sistema. La electricidad puede transportarse mediante cables eléctricos de gran longitud hasta llegar a casas, fábricas y negocios.

La Fundación Endesa (2013), en su video sobre el funcionamiento de una central hidroeléctrica, hace referencia lo siguiente:

> El agua caerá por la tubería de conducción para impactar en las palas de la turbina, estas palas harán girar el eje de la turbina, hay distintos tipos de

turbinas dependiendo de las características de la central, la energía mecánica del movimiento del eje será transformada en energía eléctrica, el generador será el encargado de hacerlo, una vez generada la electricidad, esta viajará por las torres de alta tensión hasta nuestros hogares.

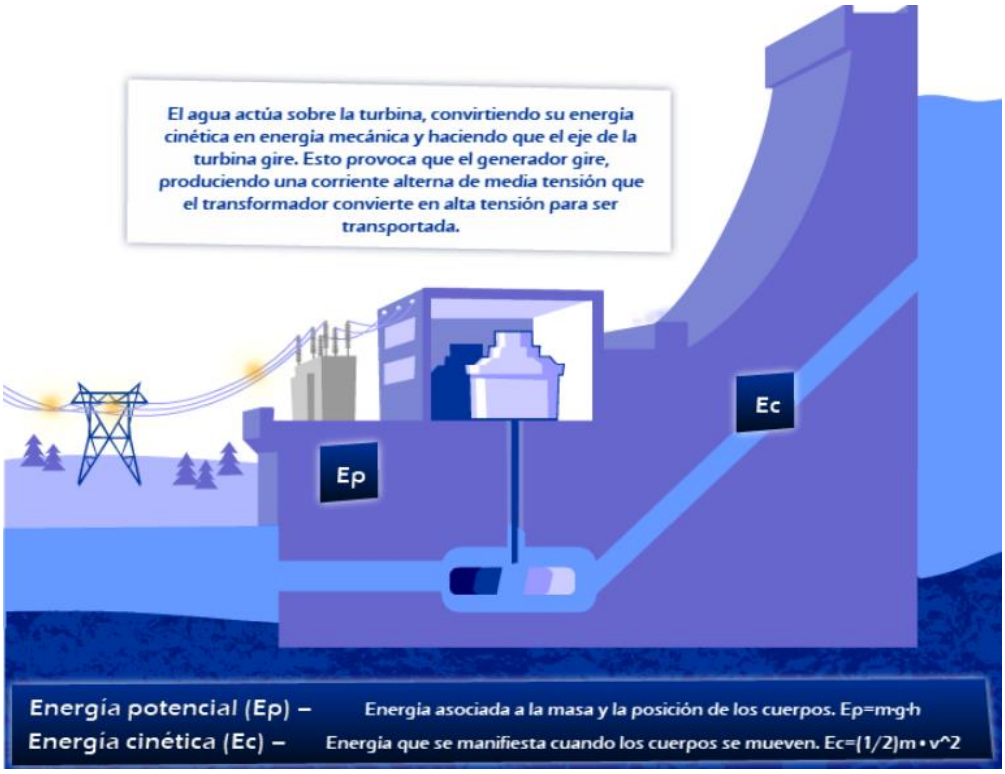
Figura 22. **Generación de energía eléctrica**



Fuente: Fundación Endesa (2013). *Cuttly.* Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/qRfMCDE.

Las presas utilizadas para la generación de energía eléctrica son las presas de mayor volumen, las más grandes, esto para aprovechar el volumen de aguas que puedan bajar por la tubería y obtener una mayor potencia, estás presas son de concreto armado en forma de arco, de esta forma se logra una mejora económica en su costo y se hacen más resistentes al transmitir hacia los laterales de la presa las fuerzas generadas por la masa de agua. Un requisito indispensable es tener una base rocosa en los laterales de la cuenca y ahí empotrar la pared de concreto, se denomina estribos a esa parte de la estructura.

Figura 23. **Transmisión de energía eléctrica a red**



Fuente: Fundación Endesa (2013). *Cuttly.* Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/qRfM.

3. ESTUDIOS PREVIOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS

En este capítulo se hacen previo a la elaboración de las presas permitiendo recopilar información esencial para el aprovechamiento del almacenamiento del agua que se desea captar en la presa dependiendo de la actividad en la que será funcional para la comunidad. Estos datos permitirán tener una proyección para las necesidades que se presentan en una presa.

3.1. Selección de área óptima, requisitos a cumplir

La construcción de presas en el mundo es sumamente necesaria ya que suple una serie de necesidades económicas y sociales en diversos países, es urgente el suministro de agua potable, agua para riego, control de inundaciones, así como la generación de energía eléctrica.

Según la - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO**,** (2021) establece:

> AQUASTAT recopila información detallada sobre presas en cada país, especialmente sobre la ubicación, la altura, la capacidad del reservorio, el área de superficie y el propósito principal. En la actualidad hay información disponible sobre más de 14,000 represas. Los nuevos datos generalmente se recopilan durante los procesos de actualización del país. (párrafo 2)

El crecimiento económico está directamente relacionado “con la construcción de presas, existiendo más de 45,000 grandes presas en todo el

mundo aquellas cuya altura es superior a 15 m o cuya capacidad de embalse supera los 3 millones de metros cúbicos". (Sarmiento, 2009, p. 22)

Siendo el suministro de vital líquido, es imprescindible y necesario enfocarse en el aprovechamiento de los recursos hídricos, pero para ello se debe tener el sumo cuidado en seleccionar las áreas óptimas para la construcción de estas obras, los factores medio ambientales son uno de los temas a tratar sobre el área que reúne las condiciones para la ubicación de una presa, algunos de los problemas que pueden surgir en estas áreas son la colmatación (relleno de una cuenca sedimentaria con materiales detríticos, en geología, significa que está formado por fragmentos, arrastrados y depositados por el agua).

Existen otros factores a considerar, como el detraimiento del medio ambiente, la erosión, suelos no utilizables, deslizamientos, modificación del movimiento de las aguas, no solo de escorrentía de afluentes hacía el río principal sino también el curso de las aguas de lluvia. Unido a lo anterior existe también el impacto social al existir la necesidad de movilización de personas y comunidades enteras, posiblemente anegando áreas ya establecidas de áreas de cultivos tradicionales del lugar y que luego se sustituirá por otro tipo de cultivo, la necesidad de aprovechar los recursos hídricos permitirá avanzar hacia el progreso, pero siempre velar por el desarrollo sostenible y minimizar las consecuencias ambientales.

El proyecto de construcción de una presa para embalse de agua debe tener los lineamientos bien definidos, una serie de requisitos que la geografía de la cuenca debe tener y la otra parte que, al tener los datos de la cuenca y que el proyecto sea viable, se debe tener una metodología en la parte constructiva y una serie programada de estudios que certifiquen que es factible el desarrollo de la obra.

3.1.1. Área o región proyectada

Debe existir un estudio completo que abarque toda la zona del proyecto, estudiar todas las variables del medio ambiente y las variables que pueden existir con respecto al desarrollo de la obra, toda la cuenca debe ser objeto de estudio, desde el nacimiento del río hasta su desembocadura en el mar.

Los estudios topográficos, dará las curvas de nivel, alturas y áreas, pendientes del terreno, localización, ubicación y orientación del río dentro de la cuenca.

La hidrografía, son los drenajes principales, el área de los afluentes que alimentarán el cauce principal, el volumen de circulación de agua en el río, es medido con aforos para tomar datos de caudales medios mensuales o de otro lapso de medición, en relación a los parámetros a tomar en cuenta esta la tabla 12.

Tabla XII. **Características de una Cuenta**

Parámetros relativos a la red hidrográfica	**Orden**
	Densidad de drenaje
	Pendiente media del cauce
	Localización y orientación
Parámetros de relieve	Elevación
	Elaboración media
	Método de cuadriculas
	Método de área-elevaciòn
	Pendiente media
	Coeficiente de masividad

Continuación tabla XII.

Parámetros generales y de forma	Área
	Perímetro
	Longitud axial
	Ancho promedio
	Forma de la cuenca
	Coeficiente de compacidad

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

3.1.2. Elevación media de la cuenca

Es la variación altitudinal de la cuenca hidrográfica que incide directamente sobre el clima y, por lo tanto, sobre el régimen hidrológico, además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca. Una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación, a través de la función hipsométrica.

Está función o característica, se determina a partir de la curva hipsométrica de la cuenca, la curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas.

Se emplea en conjunto con los registros de precipitación para sectorizar las zonas de diferente pluviometría y para estimar la relación entre la elevación y la precipitación.

La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulada que es igual o excedido a una determinada cota (Morfometría, s.f.).

Así mismo en el documento de Morfometría, (s.f.) indica que “la elevación de la cuenca puede calcularse” (p. 11), tomando en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$H_{media} = \frac{\sum Area * A<.mediai}{\sum Area}$$

En cuanto a la elevación mediana, se refiere, a una cuenca hidrográfica, la que define la cota de la curva de nivel y divide a la cuenca en dos partes de igual área, la mitad cada una.

Según Morfometría, (s.f.) hace referencia al índice de compacidad indicando que es un “parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo del sistema hidrológico” (p. 5).

Y para sacar el valor de lo antes descrito hay que tomar en cuenta la siguiente ecuación que se encuentra en el documento de (Morfometría, 2021, p. 6).

Ecuación 4

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi\left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

P: Perímetro de la cuenca en [km]

A: Área de cuenca en [km^2]

En cuanto a la pendiente media de la cuenca, está se logra con base a la topografía realizada en toda el área.

> La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca; su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas del suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes, se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación (Morfometría, 2021, p. 10).

Un factor importante de la pendiente es que afecta la red de drenaje, es claro que a mayor pendiente el escurrimiento de aguas de lluvia será con mayor fuerza sobre los ríos y la sedimentación también será muy elevada, afectando en gran medida la vida útil de la presa. Los ríos tendrán en lapsos cortos torrenciales de agua que serán los que drenarán toda la escorrentía, la tabla siguiente mostrara la clasificación de las cuencas de acuerdo a su pendiente.

Tabla XIII. **Clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente**

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediante accidentado
12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado

Continuación tabla XIII

35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

En cuanto a la curva hipsométrica es un parámetro de las variables del área de escurrimiento de una región, esto indica que se puede ubicar las zonas por su clima y ecología.

(Díaz et al,1999), citado en el documento Morfometría (s.f.) hace mención lo siguiente:

> Los datos de elevación son significativos, sobre todo para considerar la acción de la altitud en el comportamiento de la temperatura y la precipitación. La curva hipsométrica refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión. Es la representación gráfica del relieve de la cuenca en función de las superficies correspondientes. (p. 12)

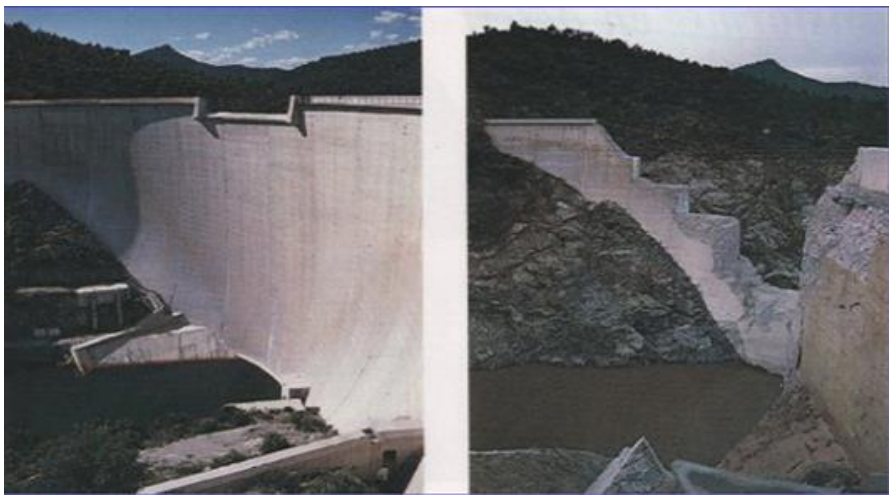
3.2. Estudios geológicos

Esté estudio permitirá dirigir los parámetros de la obra, en lo que se refiere a la base de cimentación, es importante contar con geólogos expertos, ya que el costo de una presa se determina con los resultados que muestren las diversas pruebas que se hagan a los suelos del lugar del proyecto, esto determinará que tipo de material se usará y la maquinaria necesaria para las condiciones del lugar, ya que habrá lugares donde se necesitará usar explosivos lo que puede ocasionar fallas geológicas. Los estudios de seguridad en las presas, está basado en las características de los suelos y rocas del lugar y esto lo determina

los estudios geotécnicos, se pueden encontrar fallas naturales, entre ellas rocas fracturadas, capas de roca y fallas que faciliten la filtración bajo la cimentación, por tal razón es necesario tener conocimiento de las característica de suelos y roca bajo la cortina de presa, si los factores de seguridad no son los adecuados la falla de la presa puede ocurrir durante la etapa de llenado de la misma.

Los empotramientos laterales de la cortina es un factor determinante, es por ello necesario saber el tipo de roca que estará en contacto con la cortina que ahí se empotrará.

Figura 24. **Presa Malpasset**



Fuente: Paredes (2015). *Cuttly.* Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/gRaFRGi.

También existen las fallas por la inestabilidad del terreno o rocas y la falla puede ocurrir al momento del llenado de la presa ya sean cortinas de concreto o presas de gravedad.

Figura 25. **Presa Vera de Tera**

Fuente. Paredes, (2015). *Cuttly.* Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/gRaFRGi.

Es fundamental que los estudios geológicos determinen la ausencia de fallas y de esta forma tener la seguridad de que la presa será altamente segura.

Según (González et al, 2004), hace referencia en el capítulo de presas lo siguiente:

> La seguridad de las presas es otro factor importante frecuentemente debatido entre los detractores de estas obras. Sin embargo, la seguridad de las presas es muy alta, habiendo aumentado notablemente en las últimas décadas, con un 0.5 % de roturas registradas a partir de 1950, frente al 2.2 % con anterioridad a 1950. No obstante, es significativo que la mayoría de los fallos han tenido su causa en problemas geológicos. En las presas de hormigón el 21 % de las roturas han tenido su origen en la cimentación y en las presas de materiales sueltos el 31 % de los fallos se

han debido igualmente a causas del terreno (erosión interna y cimentación). (p. 542)

En un proyecto de presa debe usarse una metodología que se aplica en fases el estudio geológico del lugar.

Tabla XIV. **Metodología de los estudios geológicos geotécnicos**

Fases	**Estudios geológicos - geotécnicos**	
Estudios de viabilidad, de soluciones y de anteproyecto	Estudios geológicos regionales	Investigación geológica Impermeabilidad del vaso Estabilidad de laderas Aterramiento y subsidencias Préstamos
	Estudios previos de cerradas	Estructura geológica Reconocimiento geofísico Permeabilidad
Proyecto de construcción	Caracterización de la cerrada	Macizos rocosos Suelos
	Problemas específicos	Resistencia y deformabilidad Permeabilidad Obras auxiliares Otros problemas

Continuación tabla XIV.

Desvió del río, excavaciones, construcción	Estudios durante la construcción	Cartografía detallada Controles geofísicos Ensayos de resistencia y deformabilidad Ensayos de inyectabilidad Otros reconocimientos Archivo técnico de la empresa
Explotación	Estudios de evaluación	Primer llenado Situaciones de emergencia Resolución y análisis de la seguridad Presas con archivo técnico deficiente Abandono de presa

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Tabla XV. **Reconocimientos geológicos e Investigaciones *in situ***

Fase de estudio	Tipo de investigaciones *in situ*	Presas de hormigón	Presas de materiales sueltos
Estudios previos de factibilidad	Mapas geológicos regionales	S	S
	Fotointerpretación e imágenes de satélite	S	S
	Reconocimientos geológicos de superficie y cartografía geológica-geotécnica preliminar	S	S

Continuación tabla XV.

Anteproyecto	Cartografía geológica-geotécnica de detalle (1:2,000-1:1,000)	S	S
	Continuación de la tabla		
	Datos hidrogeológicos y ensayos de permeabilidad	S	S
	Sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales	S	S
	Sondeos geotécnicos, instalación de piezómetros	S	S
	Ensayos en el interior de sondeos (*downhole* y dilatómetros)	S	O
	Ensayos de materiales	S	S
Proyecto	Cartografía geotécnica complementaria	R	O
	Sondeos geotécnicos complementarios	R	O
	Galerías de reconocimiento	S	N
	Ensayos *in situ* a gran escala de deformabilidad y resistencia	R	N
	Ensayos de inyecciones Ensayos de permeabilidad complementaria	R	N
Construcción	Cartografía geotécnica de la excavaciones y cimentaciones	S	S
	Ensayos *in situ* de verificación de tratamientos	S	S
	Ensayos de control de materiales	S	S

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

- S: necesario
- R: recomendable
- O: opcional
- N: no necesario

Todos los estudios detallados en las anteriores tablas indican que los estudios geotécnicos deben ser cuidadosamente programados en fases, en esta parte del estudio y ya en ejecución los costos altos son justificados, en estudios geotécnicos, porque de ello depende, que la obra sea ejecutada en forma óptima.

Los estudios geológicos se hacen durante el anteproyecto y su verificación, durante la ejecución de la obra es fundamental toda la información recabada.

Las investigaciones en el sitio son programadas con varios temas y hacen que la obra se cumpla a cabalidad con su programación y costo de ejecución, unidos los estudios geotécnicos, hidrogeológicos y geotécnicos, deben dar un área que cubra una zona total de la cuenca, que indique que toda el área en riesgo está cubierta por los diversos estudios realizados en toda la zona, principalmente en la zona donde se cimentará los empotramientos laterales.

En caso de ser cortina de concreto curvo, se localizarán fallas, zonas de cizalla o corte, esto adicional al área zonificada como un objeto de estudio geológico, los ensayos en sitio, durante el proyecto solo se aplican a presas de concreto u hormigón, siempre revisando los parámetros de estabilidad de la estructura y revisando cualquier alteración en lo volúmenes rocosos del entorno.

Basado en los estudios geológicos, se determinará el área óptima de una presa, los requisitos geológicos y de otras ciencias se complementan para hacer esta selección.

Según González, Ferrer, Ortuño y Oteo (2004), hace mención sobre los criterios geológicos-geotécnicos de selección de presas indicando lo siguiente:

- Capacidad del vaso (volumen del embalse)
- Impermeabilidad del vaso
- Cerrada adecuada: condiciones geomorfológicas, geológicas y geotécnicas favorable
- Valor de los terrenos inundados (poblaciones, infraestructura, etc.)
- Disponibilidad de materiales de construcción próximos a la presa
- Condiciones favorables para ubicar el aliviadero, ataguías y demás obras auxiliares
- Altura prevista de la presa
- Geomorfología de la cerrada
- Condiciones geológico – geotécnicas de la cimentación
- Ausencia de riesgos geológicos activos. (p. 554)

3.3. Análisis de estudios geológicos

Los análisis geológicos se enfocan en catalogar todo el entorno de la cuenca, desde posibles fallas geológicas, estructura de las rocas o los materiales con que está compuesta el área en estudio, también la disposición de materiales que se pueden utilizar en la construcción del proyecto y el análisis del impacto ambiental que puede ocurrir al hacer todo el movimiento de taludes de laderas y montañas, en cuanto a la filtración es muy importante la clasificación de rocas para medir el grado de permeabilidad y de filtración.

En una construcción de presas es importante tomar en cuenta condiciones básicas es por ello que González, Ferrer, Ortuño y Oteo (2004), hace mención en los criterios generales entre los cuales se mencionan a continuación:

- Las fracturas importantes, diques, zonas de alteración, etc., pueden constituir vías de flujo preferente, siendo especialmente importantes en las rocas duras cristalinas y sedimentarias, donde es frecuente que las fallas pongan en contacto a rocas de muy distinta permeabilidad; el control hidrogeológico de estas fracturas y su relación estructural es determinante.

- Las formaciones menos favorables y donde son de esperar los mayores problemas de filtraciones son las rocas calcáreas, calizas y dolomías, afectadas por procesos de karstificación.

- Igualmente, otras rocas porosas, como algunos tipos de areniscas, determinadas rocas volcánicas, depósitos cuaternarios y algunas estructuras sedimentarias como paleo causes, son en principio desfavorables a la estanqueidad.

- También pueden darse problemas de filtración en zonas de explotaciones mineras actuales o abandonadas, siendo las cuencas carboníferas particularmente conflictivas, al poder combinarse los problemas de filtración con los de subsidencia. (p. 561)

3.4. Estudio de hidrología

El estudio hidrológico, permite conocer el volumen de agua que ingresará a la cuenca, el área probable a cubrir con esté volumen, así como regar sembradillos y en el caso de que sea para agricultura, agua potable o generación eléctrica, también permite establecer los caudales de las avenidas mayores en tiempos de lluvia (Flores, 1970).

La cantidad de agua que ingresa al área donde estará el proyecto está determinada por la siguiente formula, según lo establece Flores, (1970).

Ecuación 5

$$Vm = A \times Pm \times C$$

En donde:

Vm = Volumen escurrido medio anual en metros cúbicos.

A = Área de drenaje en metros cuadrados.

Pm = Precipitación media anual en mm, promedio de todas las estaciones dentro o cerca del área de drenaje.

C = Coeficiente de escurrimiento. (p. 10)

El cálculo del coeficiente de escurrimiento es la relación existente entre el volumen escurrido y la precipitación de lluvia sobre el área calculada de la cuenca.

El procedimiento para calcular el valor del coeficiente C, se da de dos maneras, se toman los registros de las estaciones hidrométricas, los volúmenes que se escurren anualmente y se comparan los porcentajes con los volúmenes de lluvia, estos serán los coeficientes anuales de escorrentía C, se puede tomar esta valor de escorrentía C, dentro de la cuenca, cerca de las estaciones o alejadas de ella, pero tomando en cuenta otros factores como pendiente de la cuenca, es decir su superficie y la forma que está tenga.

También si en la cuenca no existen estaciones hidrométricas, el coeficiente de escurrimiento se puede calcular en forma comparativa con otra de similares características y que en esta se tengan datos de estaciones hidrométricas.

Los estudios hidrológicos pueden proporcionar los datos de entrada al embalse, los cuales se mencionan a continuación:

- Caudal medio mensual, calculado en m3/segundo
- Escorrentía de afluentes hacia el rio principal
- Caudales incrementados en tiempos de lluvia

Así mismo brindan los volúmenes que serán de egreso del embalse, entre ellos son:

- Evaporación
- Caudal de salida para riego
- Caudal de salida para consumo
- Caudal para generación de energía eléctrica
- Caudal ecológico

Con respecto a los caudales de riego, agua potable o generación de energía eléctrica, se determinará el uso de la presa y se evaluará únicamente con uno de estos caudales la salida, a menos que el diseño haya incluido estas tres salidas. La resta de estos dos caudales, ingreso y egreso, indicarán si es factible la realización del proyecto cuando es mayor el caudal de llegada a la presa.

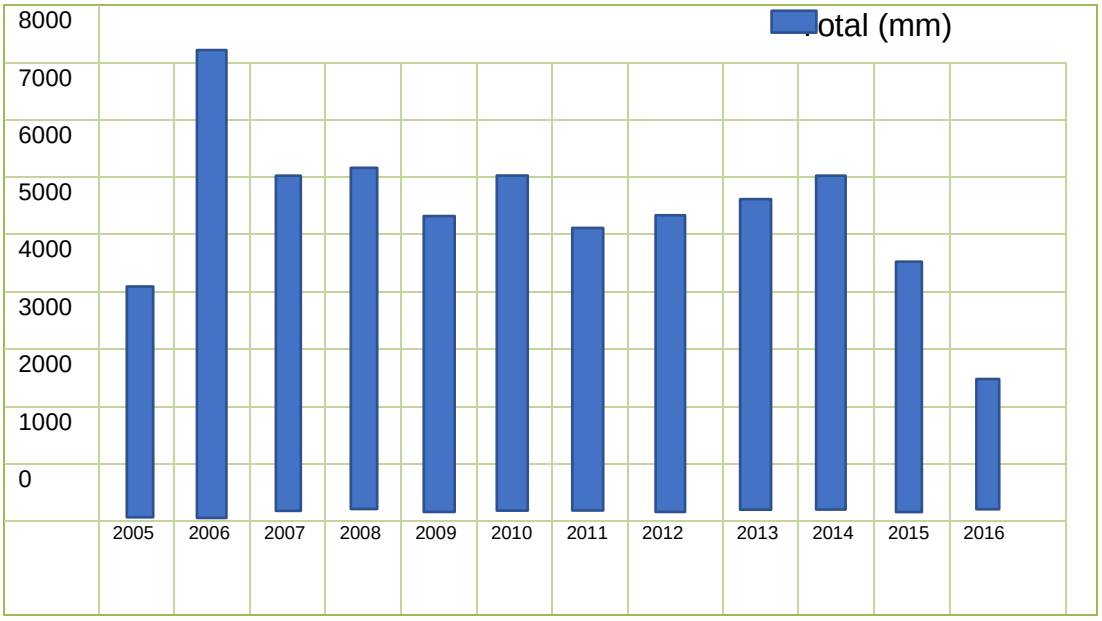
3.5. Análisis de caudales ecológicos

Los caudales ecológicos son fundamentales en el diseño de una presa, como mínimo el 10 % del caudal medio anual del río debe transcurrir libremente su curso, esté volumen de agua libre, es para proteger las especies que habitan en los ríos y otras especies no acuáticas, que viven en las cuencas de los ríos, además, se hace un estudio sobre las necesidades de agua de las personas que viven en pueblos, aldeas o caseríos.

Estos estudios ecológicos se realizan llevando datos estadísticos hidrológicos, se determina caudales bajos y ecológicos, curvas de excedente de

caudal y los caudales picos basados en el comportamiento histórico del río en estudio, estos datos pueden ser recopilados de estos flujos por un período mínimo de 10 años, aun durante el proceso constructivo se recomienda que el monitoreo de estos caudales se sigan efectuando y durante el funcionamiento de la presa, se debe estar comprobando que el caudal ecológico establecido no disminuya su volumen.

Tabla XVI. **Estudio complementarios-Caudal Ecológico**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Las mediciones de las precipitaciones pluviales, es un factor importante ya que forma parte de las escorrentías que alimentan al río, ya sea en forma directa o por filtraciones en la cuenca.

El caudal ecológico de un río es el afluente mínimo que debe circular por el lecho original del río para seguir manteniendo el medio ambiente en su forma original posible, se debe tomar en cuenta los principales factores de los caudales ecológicos.

- Cantidad
- Frecuencia
- Duración
- Previsibilidad
- Tasa de variabilidad/fluctuación

No se debe alterar ningún componente de estos cinco factores, el cambio o no cumplimiento de uno de ellos puede alterar significativamente el hábitat puntual, cada uno es regulador de los procesos ecológicos.

Para evaluar que corriente debe mantenerse fluyendo aguas abajo, es importante establecer los requerimientos que necesitarán los diversos sistemas que viven de esta corriente de agua, el estudio debe abarcar antecedentes pasados y prever para el futuro, mientras esté en funcionamiento la presa, si está es para generación de energía eléctrica.

Los proyectos hidroeléctricos a filo de agua (ROR, por sus siglas en ingles), se han estado construyendo con la visión de que el impacto ambiental es menor, basados en que las presas no son de gran magnitud, se pretende que no haya obstáculos para el flujo de agua y a su paso genera energía limpia así no afectará al ambiente en forma drástica, como cuando se desplaza grandes poblaciones por el almacenamiento de agua en las presas grandes.

Los proyectos a filo de agua estrictos no regulan el caudal del río y generan la energía eléctrica, al pasar el agua por los generadores no almacenan agua, estos proyectos generan menos impactos adversos sin embargo si alteran la biodiversidad y otras funciones del río.

En resumen, el caudal ecológico debe cubrir los siguientes parámetros:

- Determinar si el proyecto afectará a otros usuarios de recursos hídricos aguas abajo.
- Describir los caudales durante situaciones de escasez mediante el uso de eventos de sequía para intervalos de años 10, 25, 50 y 100.
- Ofrecer recomendaciones sobre medidas adicionales para prevenir impactos ambientales debido a cambios en los caudales aguas abajo.

El requerimiento mínimo es del 10 % del caudal medio anual, pero se debe evaluar si es suficiente esta cantidad, si no es así, la alternativa es la disminución de los Kv que se producirán y esta disminución de caudal de ingreso necesario, se aplicaría al caudal ecológico.

3.6. Topografía de la cuenca

Los estudios de topografía abarcan por completo la cuenca del área a embalsar, se deben hacer planos detallados de cada área, en la cuenca se busca la parte más estrecha y a partir de ese punto iniciar las curvas de nivel que han de estar a un metro de distancia horizontal y un metro de distancia vertical, con programas como Civil 3D, se logra determinar el área entre curvas, de esta forma se encuentra la relación altura-volumen, área-volumen, basado en estos datos de topografía y el volumen de agua necesaria, se puede determinar la altura necesaria que tendrá la cortina de concreto.

Deben obtenerse planos que cubren el área del embalse, el sitio de la presa y también las áreas potenciales de los empréstitos (yacimientos). La ubicación de los pozos de exploración, zanjas y calicatas y otros puntos significativos como afloramiento de roca, deslizamientos, caminos y senderos deben ubicarse en el plano.

Se debe realizar topografía de detalle en el embalse, en la zona de la presa y de los portezuelos ubicados en el perímetro del embalse.

La topografía de la zona de presa permite determinar la disposición de la presa y de las excavaciones necesarias, con lo que se obtiene la ubicación de los materiales necesarios para la construcción, además se pueden estudiar obras hidráulicas, caminos de acceso, entre otros.

Según el documento de Presas y sus obras hidráulicas (s.f.), indica que: “las fotografías aéreas (aerofotogrametría) son un apoyo importante a la caracterización del terreno, ya que permiten el reconocimiento superficial junto a la topografía, como cubierta vegetal, zonas de drenaje deslizamientos de terreno, zonas de falla, etc”. (p. 33)

Las áreas de empréstitos, se refiere al volumen de material que, previamente, los estudios geológicos indican que es adecuado usarlas en la obra, el volumen se calculará basado en la topografía y permitirá un gran ahorro económico en la obra.

Los caminos de acceso son importantes ubicarlos con topografía, ya que será el acceso a la obra para ingresar equipo y material, así mismo las fallas son importantes ubicarlas para evitar circular por esa área o trabajar en ellas y hacerlas accesibles, esto dará también, secciones transversales del río y

secciones longitudinales, lo que permitirá a las obras hidráulicas ubicar la topografía y esto determinará las áreas adecuadas cuando se desviará el río para iniciar el proyecto.

3.7. Análisis de áreas laterales para empotramiento de presas, estribos

Las presas arco- gravedad por su forma curva, transmite las fuerzas de empuje hacia los estribos laterales y hacia el cimiento, las juntas deben estar inyectadas para que las fuerzas hidrostáticas se transmitan, por toda la forma arqueada hacia los estribos laterales (empotramiento de concreto y macizo rocoso del talud) y el cimiento.

Figura 26. **Presa arco gravedad**

Fuente: Flores, (2018). *Tipología y Sistema Estructural.* Consultado el día 18 de septiembre de 2021. Recuperado de: https://cutt.ly/jRdkF3L.

Según Flores (2018), en su documento de presas arco hace referencia lo siguiente:

Un requerimiento específico de este tipo de presas es la capacidad resistente de los estribos y el material de las laderas de la cerrada. Es necesario, por tanto, un terreno de gran capacidad portante en las laderas de la cerrada, dependiendo del arco también necesitará buena capacidad portante en el cimiento inferior de la presa.

La inyección de juntas diferencia este tipo de presas y las presas de gravedad de planta curva. Estas inyecciones han de realizarse cuando la presa se encuentre vacía y más fría, de forma que las juntas por contracción se encuentren más abiertas. Al inyectarlas en ese momento se asegura que, para cualquier otra temperatura, al dilatarse, toda la sección se encuentra en contacto y funciona el efecto arco. (párrafos 6-7).

Como es fundamental la transmisión de esfuerzos al cimiento y hacía los estribos laterales de la presa, es obligatorio saber la capacidad de estos laterales rocosos ya que ahí se transmitirán todos los esfuerzos, se necesita conocer la resistencia de toda la masa rocosa, número de rocas individuales y se ha encontrado resistencias que superan de 300-500kg/cm2.

Figura 27. **Macizo rocoso en el estribo de la presa de Tsankov-Kamak**

Fuente: Flores, (2018). *Cuttly.* Consultado el día 18 de septiembre de 2021. Recuperado de https://cutt.ly/jRdkF3L.

Para centrar los esfuerzos de forma conveniente tanto en los estribos como en la base, estás presas suelen ir acompañadas de elementos específicos como el regresado de la sección en los estribos, el empleo de pulvinos y en algunos casos de muletas en la base. (Florez, 2018, párrafo 10)

Al referirse a la pulvino indica un ensanchamiento en su base, en cuanto al estribo, se define como un macizo de fábrica que se utiliza para apoyar un punto o construcción, en este caso las partes de la presa que colindan con el talud rocoso y el estribo, es muro grueso de roca u otros materiales.

4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRESAS

En este capítulo se presentan los diversos diseños existentes de las estructuras de las presas que por sus condiciones a las que se representan sus diversas actividades pueden ser utilizadas, diseñadas y construidas para la disponibilidad del uso a desempeñar en la comunidad. Se presentan sus ventajas y desventajas permitiendo verificar la variabilidad de la presa.

4.1. Datos para diseño estructural de presa de gravedad, de concreto

Las cortinas de gravedad, por su economía y materiales a usar son las que más se construyen en el mundo, por su facilidad de diseño, construcción y grandes volúmenes de material que pueden estar disponibles para la realización de la obra, sus principios de diseño estructural son más ventajosos con respecto a las presas de arco de hormigón y las presas de contrafuertes, ahora con los nuevos ordenadores y programas de cálculo estructural estás ventajas ya no son significativas, con las presas antes mencionadas, se logran mayores alturas de las mismas.

Con presas de cortinas de arco, se logra que el concreto trabaje a su máxima capacidad para la cual fue diseñada, la geometría se puede adecuar de tal forma que todas las fuerzas horizontales hacían la cortina de concreto se trasladen hacía los laterales y también la geometría puede hacer que el peso del agua sea también un factor de estabilidad.

En cuanto al cálculo estructural, se debe tener todos los datos de estudios del área a construir, topografía, geología, hidrología y todas las fuerzas que

actuarán sobre la cortina que retendrá el agua, una de ellas es el empuje del agua de filtración bajo la presa.

4.1.1. Subpresión bajo la presa

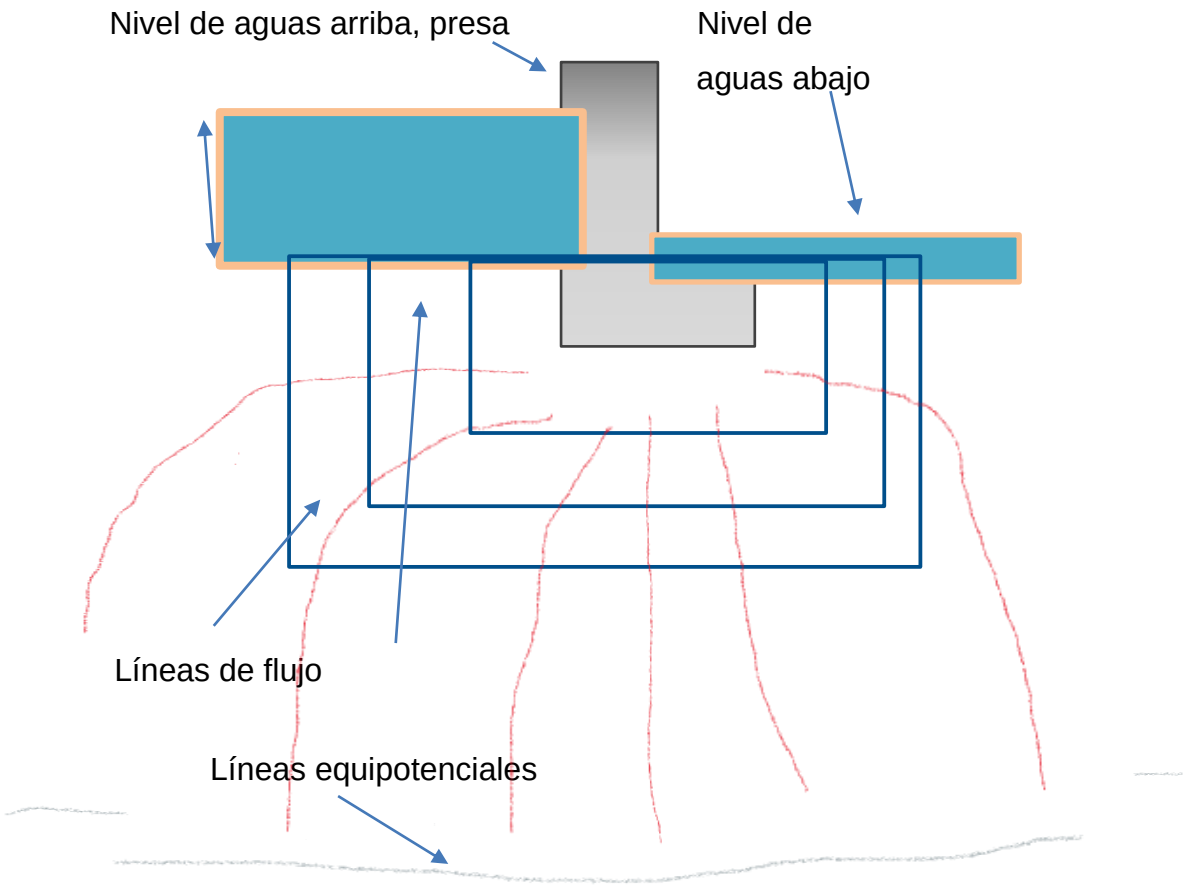
El volumen de agua contenida por la presa, llamada aguas arriba, según la altura que tenga esté volumen, será la presión constante en toda la altura de la presa, inmediatamente que ingrese al suelo y se traslade bajo la estructura de la presa.

La presión ira disminuyendo hasta llegar fuera de la estructura de la presa con una presión determinada por la altura que habrá, aguas abajo,

Fuera de la presa, se les denomina líneas de flujo al agua que se traslada bajo la presa y las líneas que parten desde la estructura de la presa y perpendiculares a las líneas de flujo se les llama, líneas equipotenciales, entre las líneas de flujo y las líneas equipotenciales se deben formar cuadros o lo más cercanos posibles a 90 grados en su intersección, para tener datos más exactos.

Los datos que se deben tener para calcular la componente de presión que ocasionará el agua bajo la presa se comprueba de la siguiente forma, se determina la geometría de la presa, altura del agua, altura de presa, la altura que tendrá el cimiento bajo tierra y el valor estimado de altura de terreno donde estarán las líneas de flujo, al tener las presiones en las líneas equipotenciales se unen estos puntos bajo la presa, se forma un trapecio y de ahí se sacará la componente vertical, estos cálculos se pueden comprobar con el *Software GeoStudio* 2012, que entre sus programas internos tiene SEEP/W que específicamente realiza estos cálculos.

Figura 28. **Esquema de Presa**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

En este esquema se tienen 3 líneas de flujo y 8 líneas equipotenciales, las líneas de flujo son las moléculas de agua que empiezan a ingresar a la tierra, dependiendo del tipo de material será más rápido su flujo o menor, h es la carga total del agua desde su altura inicial hasta el nivel de la tierra.

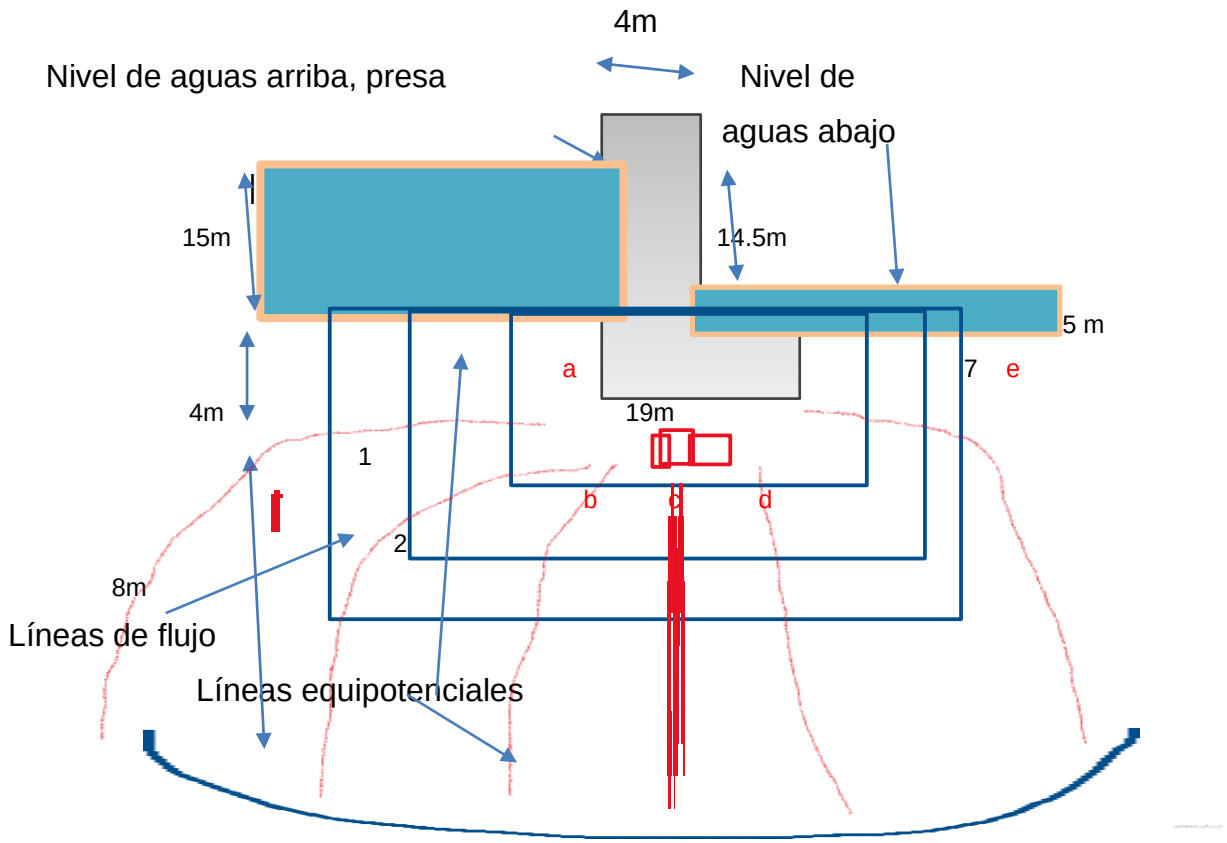
A partir de ese nivel empieza a perder carga al filtrarse a la tierra por las líneas de flujo, las líneas equipotenciales miden la disminución de esta carga hasta el nivel aguas abajo, esté flujo hidrostático que pasa bajo la presa hace que

exista un empuje hacía arriba de la estructura y las líneas equipotenciales es un paso para determinar el valor de esta fuerza ejercida hacía arriba.

Es de anotar que la intersección de las líneas de flujo con las equipotenciales, para su trazo correcto debe formar 90 grados, entre ellas deben ser cuadrángulos.

Si se dan valores a este esquema en mts., un ejemplo de ello es la siguiente figura:

Figura 29. **Perdida de energía potencial**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Las líneas equipotenciales están numeradas de 1 a 7 y se tiene 4 líneas de flujo, se identificarán así, nf= líneas de flujo =4; nd= líneas equipotenciales =7, el número de las dos puede ser mayor y el resultado será más exacto, cada línea equipotencial desde 1 hasta 7, ira indicando la perdida de carga por la filtración de agua debajo de la presa.

En este esquema se está indicando que desde el nivel inferior del cimiento de la presa hasta el estrato impermeable hay una distancia de 8 mts., la condición de que entre las líneas equipotenciales y las líneas de flujo sean cuadrángulos es para garantizar que entre las dos líneas equipotenciales que forman este cuadro, tengan las mismas perdidas de carga.

Según la ecuación de Darcy, sobre el cálculo del caudal está es así:

Ecuación 6

$$Q=k \times \blacktriangle h \times nf/nd$$

Donde:

Q: Caudal de agua que pasara bajo la presa

K: Coeficiente de permeabilidad, su valor de pende del tipo de suelo

▲h: Altura de energía de agua

nf: Número de líneas de flujo

nd: Número de líneas equipotenciales

H: Es la altura desde el nivel impermeable hasta la parte superior del agua en la presa

Según el esquema presentado en la figura 29, los datos son:

K = 1, los valores se encuentran en ensayos de laboratorio dependiendo del material así será su filtración en M3/segundo, para este ejemplo se tomará con un valor de 1.

H = 27m, la altura desde la base impermeable hasta el nivel superior de agua de la presa▲h=15m, la diferencia entre H=27m y la altura a la que el agua sale 12m, medidos desde el nivel impermeable bajo la presa.

Nf = 4, número de líneas de flujo.

Nd = 7 número de líneas equipotenciales.

Debajo de la cimentación de la presa, según figura 29, se ubicaron 3 líneas equipotenciales, para calcular el empuje hidrostático hacía arriba que producirá el agua hacia arriba en el cimiento de la presa, si se dejaran más líneas el resultado puede ser más exacto, estas líneas están en los puntos, a, b, c d y e.

En el punto a, la energía es de 27 m, ira disminuyendo hasta el punto e energía 12 m de energía potencial, esta energía se ira perdiendo con un valor en cada línea de ▲h/nd= 15/7 = 2.1428, en cada línea equipotencial, su valor quedaría así:

Tabla XVII. **Pérdidas de energía potencial**

Línea equipotencial	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Disminución de energía por línea, inicial (27m)	24.8572	22.7144	20.5716	18.4288	16.286	14.1432	12.000
Pérdida por línea, 15/7	2.1428	2.1428	2.1428	2.1428	2.1428	2.1428	2.1428
L. Equipotenciales bajo cimiento			b	c	d		e
Posición, altura (m)	10.67	9.34	8	8	8	10	12
Carga de presión hp	14.1872	13.3744	12.5716	10.4288	8.286	4.1432	0

Fuente: elaboración propia, realizada en Word.

Se observa que en las líneas 3, 4 y 5, los valores de pérdida de energía del agua bajo el cimiento han disminuido desde la carga inicial (27 m) hasta llegar al valor de 12 m como está determinado en el esquema figura 29, también se cuenta con la presión bajo el cimiento en los puntos b, c, d y en el punto se cumple que la carga de presión es la misma, (12 m) es por ello que en el punto de la carga es 0. Las cargas de presión hp, son las que se utilizan para calcular la presión hacia arriba en el cimiento, según la ecuación de Bernoulli.

Ecuación 7

$$u=\gamma_w \times hp$$

Donde:

u: Presión del agua dentro del suelo, presión de poro

γ_w: Peso específico del agua, 1000 kgf/m3

De tal forma que ya se puede calcular las presiones ejercidas por el agua en los puntos b, c y d, así:

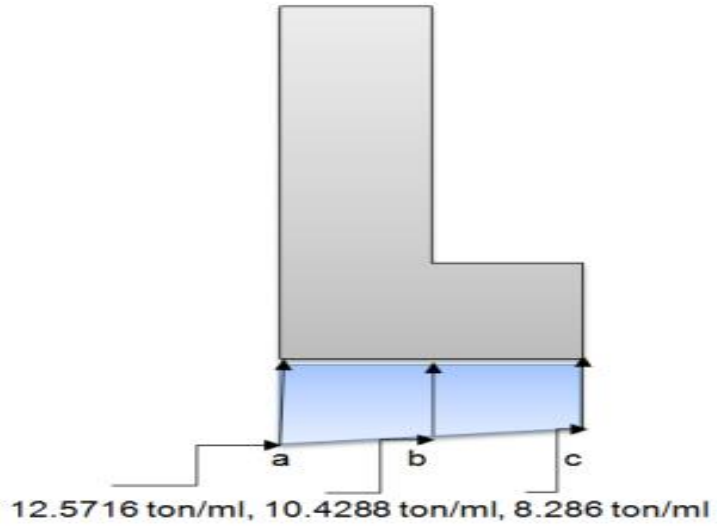
Tabla XVIII. **Ubicación de fuerzas bajo cimiento de presa**

Puntos	**b**	**c**	**d**
Altura de presión (m)	12.5716 m	10.4288m	8.286m
Fuerza hidrostática, $u=\gamma_w \times hp$	12,571.6 kgf/m2	10,428.8 kgf/m2	8,286 kgf/m2
Ancho unitario de 1 mt	12.5716 tonf/ml	10.4288 tonf/ml	8.286 tonf/ml

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

De estas fuerzas se puede terminar un trapecio al cual habrá que encontrar la resultante de esta fuerza aplicada al centroide.

Figura 30. **Fuerza bajo cimiento**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Para encontrar la resultante de estas fuerzas, se encontrará el área de este trapecio con longitud de 10 mts., y lado en a de 12.5716 ton/ml y 8.286 ton/ml en c y se ubicará el centro de gravedad de las 2 figuras, rectángulo y triángulo.

Tabla XIX. **Ubicación de centro de gravedad**

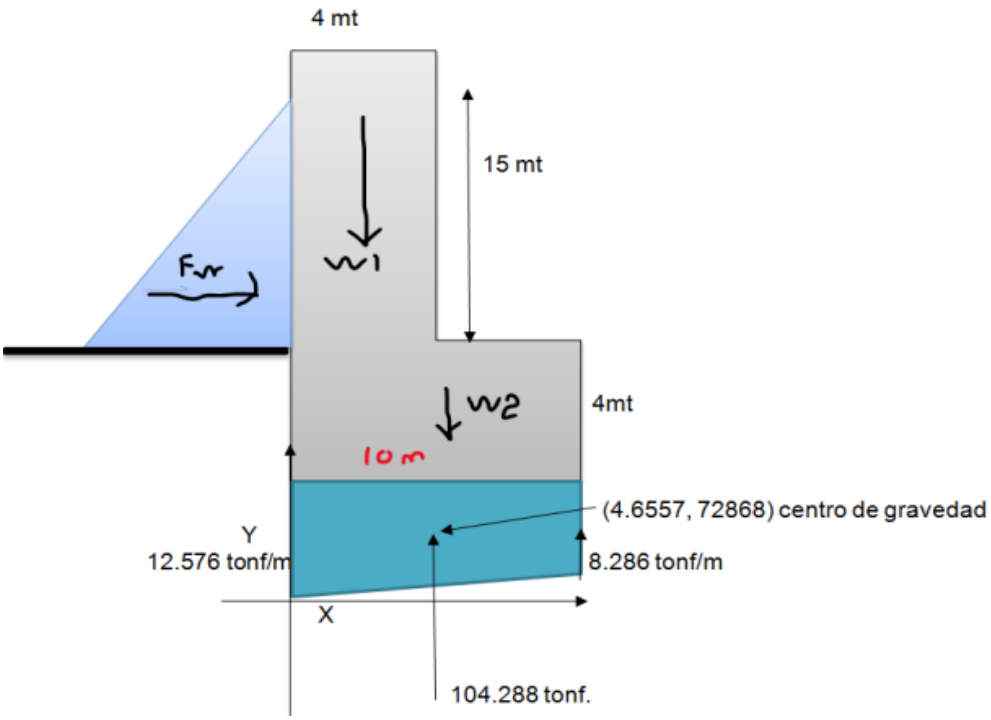
Figura	**Area, mt-ton2**	**ȳ**	**Ẍ**	**ȳA**	**ẌA**
Rectangulo	10m x 8.268 ton/m=82.68	8.437	5	697.546	413.4
Triangulo	½ (10 x 4.3036=21.518	2.869	3.333	61.73	71.719
	ΣA= 104.198			ΣȳA=759.28	ΣẌA=485.119

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Para ubicar el centro de gravedad de las 2 figuras utilizamos las ecuaciones:

ΣẌA=485.119, entonces Ẍ=485.119/104.198= 4.6557 mt.
ΣȳA=759.28, entonces ȳ=759.28/104.198=7.2868 ton/ml, acá nos indica que el centro de gravedad en y, es donde está la magnitud de 7.2868 ton/ml.

Figura 31. **Fuerza aplicada a cimiento de presa**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Magnitud de fuerza es el área del trapecio = (12.5716 tonf/mt+8.286 tonf/mt) /2*10mt=104.288 tonf., por lo tanto, es la magnitud de la fuerza hacia arriba que produce el caudal de filtración de agua bajo el cimiento de la presa.

Este es uno de los datos importantes para el diseño estructural de una presa de gravedad de concreto y para cualquier tipo de presa, conocer las fuerzas que actúan sobre la cortina de concreto y su cimentación.

4.2. Tipos de *software* para diseño estructural de presas

Entre la diversidad de *software* que existen para el cálculo y diseño de presas, también hay programas que sirven de complemento para llegar ha cubrir todos los factores que pueden ser de apoyo para lograr la optimización de este tipo de proyectos.

Las fuerzas que actúan bajo la cimentación son significativas y son provocada por la fuerza hidráulica de filtración que actúan bajo ella, se necesita saber el flujo de agua que escurre bajo la estructura, así conocer el flujo y las pérdidas que va teniendo el agua cuando se va a introducir a la tierra, está carga hidráulica empieza a disminuir desde el momento que el agua ingresa a la tierra.

Uno de los programas que se utilizan para estos fines es *GeoStudio* 2012, posee herramientas como: SIGMA/W, SEEP/W Y SLOPE/W, particularmente la herramienta SEEP/W, proporciona el cálculo de las líneas de flujo, líneas equipotenciales, así como las pérdidas de carga que ocurre en cada línea equipotencial, con este programa se modelan presas de gravedad, de tierra y se puede calcular la filtración tanto en el muro de tierra como en la base de este muro.

Cuando se usan presas de concreto y se quiere calcular su filtración, toda la parte inferior de la estructura en contacto con el suelo se anota como impermeabilizada, el programa tiene esta opción y de esa forma se calcula la filtración bajo la presa, la presión de poro con la pérdida de carga en puntos que

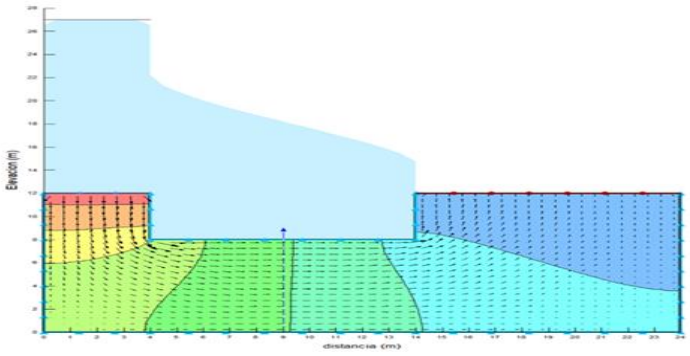
se asignan, se calcula la carga hidráulica hacía arriba en la cimentación de la presa.

Todo el cálculo está basado en elementos finitos, la opción a ingresar está en utilizar suelos saturados o parcialmente saturados, estudios de laboratorios de suelos darán los factores que se ingresarán al programa.

El programa está enfocada a la mecánica de suelos con material parcialmente saturados, es común ver en planos de estructura de presas anotaciones como aguas arriba y aguas abajo, está indicando que en las aguas arriba, el agua empieza a ingresar hacia la tierra y pasa bajo la cimentación, a partir de ahí, empieza a disminuir su potencia de carga gradualmente y finalmente empieza a salir aguas abajo con la disminución de energía de acuerdo a la distancia que ha recorrido cada molécula de agua.

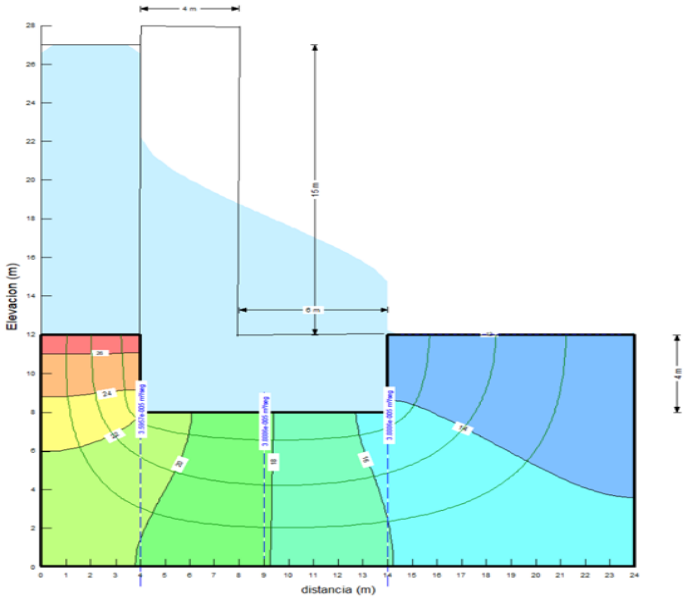
El programa hace sus cálculos basados en elementos finitos y hay una gran variación entre los cálculos hechos con los métodos de equilibrio tradicionales.

Figura 32. **Cálculo de líneas de flujo y líneas equipotenciales**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Figura 33. **Presa de concreto con líneas de flujo y equipotenciales**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Los programas más utilizados para el cálculo de cortinas de concreto o presas son los que tienen como base los elementos finitos, que es descomponer un elemento continúo o sólido en infinitas partes geométricas, que pueden ser rectángulos, triángulos o cuadriláteros, si el modelo es bidimensional todos unidos entre sí por puntos llamados nodos, su solución se determina a través de la interpolación y se reduce el problema de los valores de las funciones en la incógnita de los nodos.

Con la versión ANSYS 5.4, EACD-3D, se puede determinar y calcular la geometría, los esfuerzos de peso propio, empuje hidrostático del agua, el empuje de la sedimentación, subpresión, acciones sísmicas y térmicas, es de hacer notar que las presas de concreto de mayor altura usan estos programas.

Uribe (s.f.), en su documento sobre las características del diseño y construcción de la presa Ralco en Chile hace referencia lo siguiente:

> El proyecto hidroeléctrico Ralco aporta un promedio de generación eléctrica anual de 3,100 GWh, utilizando un caudal promedio de 232 m3/s y una altura de caída de 175 m., el proyecto es propiedad de Endesa Chile, filial del Grupo Enersis, y está localizado en el rio Biobío, entre la octava y novena región de Chile.
>
> Un embalse de 3,467 hectáreas fue formado por la construcción de una presa gravitacional de hormigón compactado con rodillos (HCR). Esta presa es la segunda en su tipo en chile y tiene una altura máxima de 155 metros, una longitud de 360 metros en su coronamiento y un volumen total de 1.5 millones de metros cúbicos. La presa Ralco, al momento de la puesta en servicio, fue la tercera más alta del mundo y la quinta en volumen del tipo gravitacional en HCR.
>
> En tal sentido se han efectuado diversos análisis mediante modelos computacionales bi y tridimensionales de elementos finitos (programas ANSYS 5.4, EACD 3D), pudiéndose mencionar análisis estáticos, dinámicos y térmicos. (p. 4-6)

ANSYS, funciona con la teoría de los elementos finitos, no es específicamente un programa de diseño estructural para ingeniería civil, sin embargo abarca múltiples facetas de las diversas ingenierías, es un programa de uso general que tiene capacidades para desarrollar cualquier tipo de cálculo y satisface muchas necesidades de análisis y diseño.

Según Cancho (2010) hace referencia en su documento, análisis de estabilidad y estados de esfuerzos en presas de gravedad de concreto e indica lo siguiente:

> ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una amigable interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y dinámica de fluido, y también problemas de acústica y de electromagnetismo. Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. (p. 122)

Según la página de IBERISA (2021), hace mención lo siguiente:

> NX NASTRAN, es un software altamente avanzado, utiliza los elementos finitos como herramienta de cálculo y es usado para diversos campos de ingeniería, es además un simulador de las estructuras creadas, se usa en la industria aeronáutica, espacial, defensa, automoción, construcción de barcos, maquinaria pesada y además equipo de medicina y alimentos, es usado en toda la industria, hace simulaciones en ingeniería para cálculo de tensiones, vibraciones, durabilidad, fatiga, ruido, acústica y aeroelasticidad. Con toda esta gama de capacidad que abarca, se encuentra el diseño de estructuras de presas.

> NASTRAN (*Nasa StructuraL Analysis Program*) nació en 1965 como una solución de análisis de elementos finitos financiada por el gobierno americano y desarrollada por la NASA para realizar cálculos estructurales en proyectos espaciales y aeronáuticos. La NASA buscaba crear una herramienta de simulación y análisis por elementos finitos capaz de llevar a cabo una amplia gama de análisis estructurales avanzados y a la vez dotarla de posibilidades de personalización y ampliación en manos del sector comercial. Tras el desarrollo del código inicial, la NASA registro Nastran en 1976 como marca comercial en USA haciendo público el código fuente con el nombre COSMIC/NASTRAN para permitir su posterior desarrollo comercial como parte de la industria. (párrafo 1-3)

4.2.1. Proceso constructivo

El proceso constructivo, después de la evaluación de estudios geológicos, geotécnicos, evaluación de deformaciones de los suelos, densidad, hídricos, entre otros ensayos, permeabilidad del terreno con hecha de pozos de filtración, topográficos y medio ambiente, consiste en los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto, la evaluación inicial es tener un fácil acceso a la obra, está debe estar identificada con un rotulo que indique el nombre de la constructora, el contratante y los datos puntuales de la obra.

4.2.1.1. Impacto ambiental

Basado en los estudios sobre impacto ambiental, se debe implementar un plan de manejo ambiental que mitiguen, los efectos ambientales, proceso que se seguirá implementando durante la construcción y después de terminada la obra.

4.2.1.2. Evaluación de riesgos

Se debe implementar un plan de riesgo durante la elaboración del proyecto, un plan de contingencia en caso de fallas de cualquier tipo, tanto geológicos,

estructurales, así identificar toda vulnerabilidad posible y hacer todos los correctivos en cada punto para minimizar los efectos posibles de accidentes, debe haber un correctivo para cada contingencia que pueda surgir, esté plan involucra a comunidades que habiten alrededor y aguas debajo de la presa en construcción.

4.2.1.3. Programa de obra

Debe haber un programa de obra detallado, entre ellos Gantt u otro medio en la que se refleje el tiempo que tomará cada actividad, es importante tomar en cuenta, factores como feriados y todo lo que implique un posible cese de actividades, la ruta crítica debe estar bien definida.

4.2.1.4. Vías de acceso preliminares

Se inician con los caminos auxiliares y se clasifican por su importancia para los trabajos iniciales, su ancho debe estar entre 10 a 12 mts., y servirán para el acceso de maquinaria a lugares donde habrá excavaciones, circularán maquinaria con orugas, equipos de perforación, camiones para corte y carga de material e ingresarán equipos de transporte de maquinaria.

4.2.1.5. Caminos para construcción de obra

Su ancho puede ser de 12 a 13 mts., y son más elaboradas y se debe cuidar que su pendiente no exceda 13 %, por ahí transitará todos los insumos que consumirá la obra, su construcción será más elaborada para resistir épocas de invierno y que no se interrumpa el flujo de materiales a la obra, basado en los estudios geológicos ya se habrá determinado los lugares donde se puede tomar material del lugar y que cumplan con los requerimientos para ser usados en la obra, puede ser material para relleno, rocas para revestimiento, arenas y gravas para concreto y se deben hacer caminos de acceso a estos bancos de material.

Los caminos definitivos serán los que servirán para el funcionamiento de la presa hidroeléctrica, embalse para riego o suministro de agua potable.

4.2.1.6. Instalación de campamento

Debe ser lo suficientemente amplia para la comodidad de oficinas, bodegas, locales, para ensayos de laboratorio, parqueo para vehículos pequeños y grandes, camiones para transporte de todo tipo de materiales, área para dormitorios, letrinas y duchas para los trabajadores y área anexa para elaboración de concreto en el lugar, generalmente las presas se construyen en lugares lejanos y es necesario fabricar en el lugar el concreto a usar.

4.2.1.7. Excavación de movimientos de tierras

Generalmente el proceso de excavación se inicia en tres zonas determinadas, margen derecha, margen izquierda y la del lecho del río, cuando ya el río se ha desviado.

Las excavaciones en cuanto a los laterales de la cuenca y lecho del río, permiten que los estudios geológicos pueden determinar la profundidad a la que está el lecho rocoso y lo mismo en los laterales, hasta ese nivel se hará la excavación, profundidad vertical y horizontal buscando el área rocosa, se resume las actividades que se deben realizar en el tratamiento de la base de cimentación y los laterales para empotramiento de estribos si la cortina de presa es de concreto con arco.

- Excavación vertical hasta encontrar lecho rocoso.

- Si es presa de cortina de concreto con arco, excavación lateral hasta encontrar área rocosa para empotramiento de estribo.

- Remoción de toda capa vegetal que pueda quedar bajo la presa, raíces y cuanto material orgánico pueda quedar bajo la cimentación.

- El traslado de todo el material producto de la excavación y consolidación de la rasante, hasta donde llego la excavación.

- Saneamiento de los taludes, laterales.

- Aplicación de todos los tratamientos que los estudios geológicos determinen en la base que sostendrá la cimentación.

Con respecto a los laterales, talud, se recomienda que se trabaje en tramos de 6 mt de altura y aplicarle los tratamientos que los estudios hayan determinado.

Todo el trabajo de terracería abarca el área donde se ubicará el campamento, oficinas, almacenamiento de materiales, formaletas, donde se colocará el equipo para elaboración de concreto, generalmente se hace en el lugar de la obra, área para análisis de materiales a usar en el lugar, como pruebas de resistencia de concreto, todo esto lo abarca los trabajos preliminares de terracería.

4.2.1.8. Cimentación

En cuanto a la excavación de la cimentación y laterales los taludes, para darle forma a la pendiente de diseño, se usa excavadora de oruga y ya cuando haya necesidad de usar explosivos, después de quitar el material removible, se hacen perforaciones con la perforadora sobre orugas llamada *Track Drill*, estás perforaciones se hace para depositar los explosivos, estos se colocan de acuerdo a la forma y profundidad que se dará al talud.

Los explosivos se clasifican en altos y en bajos, el primero se usa para la carga profunda y es conectado a un detonador eléctrico o cordón detonante depositándolo en el fondo, el segundo se distribuye en forma porcentual de acuerdo con el factor de carga seleccionado, que indica la cantidad de explosivo por m3, luego de hacer las explosiones necesarias, se procede a retirar todo el material hasta dejar solamente el lecho rocoso, ya limpia está área se procede a colocar concreto de nivelación por vía seca o húmeda, concreto seco (concreto preparado en el lugar con cemento, grava y arena controlada su granulometría, de acuerdo a la especificación del concreto, se usa generalmente 5.5 lts., de agua por saco de cemento).

Se debe revisar cuidadosamente toda el área de cimentación, si el uso de explosivos no ha causado grietas, fisuras o daños que ameriten inyecciones de tratamiento, también es importante la evaluación de la filtración bajo la presa, así dejar los drenajes adecuados tanto superficiales como subterráneos, para el control de la escorrentía posible bajo el cimiento, luego de estar nivelada toda el área de cimentación, se proceda a la colocación del acero de refuerzo y las anclas de piso.

El conocimiento del valor de la permeabilidad de la roca bajo el nivel de desplante, obtenido de pruebas de campo, permite detectar zonas de mala calidad y definir la conveniencia de tratamiento con base en inyecciones.

Cuando el macizo ha sido inyectado con anterioridad debe tomarse nota de la magnitud de los consumos de lechada, a fin de lograr una mejor idea de su porosidad y agrietamiento. Deben estudiarse la distribución y el volumen de las corrientes de agua superficiales y la alterabilidad química y mecánica de las formaciones bajo la cimentación para localizar adecuadamente los sitios de

desplante y diseñar las obras necesarias de drenaje superficial y subterráneo. (Cimentaciones y excavaciones en presas, s.f., p. 45)

Las anclas de piso, su finalidad es transmitir las fuerzas ejercidas sobre la cimentación a la roca, sirven de apoyo a los armados, a las formaletas de madera y a los trabajadores para fijar andamios, las anclas van insertadas en el lecho rocoso, tanto para la pantalla de concreto como para el empotramiento lateral, estos anclajes, dependiendo del volumen y alto de la presa, su longitud puede ser de 20 a 50mts, la profundidad se logra con los barrenos, su distribución horizontal es entre 24, 12, 6 o 3 mt.

En cuanto al armado y fundición de cimentación, depende del volumen de ancho, largo y altura para determinar el procedimiento de fundición, la altura de la fundición se recomienda entre 1 y 2 mt., ya que el calor generado cuando el concreto está fraguando generara grietas que no se pueden controlar y procedería a demolición.

Con la fundición de la cortina depende del tipo de presa que se está construyendo, si fuera de concreto de arco combinado con gravedad y con alturas de más de 30 mts., el procedimiento es hacer formaletas y fundir por bloques, el espacio entre estos bloques se llenan con armagas, un tipo de *graut*, así sucesivamente se llega a la altura considerada, la descarga del concreto no debe ser mayor a un metro de altura para evitar la disgregación de los agregados entre capas de fundición, que se hacen en diferentes momentos, debe quedar una membrana llamada *Water Stop*, para evitar la filtración de agua.

Paralelo a la construcción de presa se inicia la construcción de la casa de máquinas, lugar donde estarán ubicados los generadores que recibirán la

descarga de agua cuando esté terminada la presa y se inicien las pruebas, también la construcción de todos los canales y tuberías para el flujo de agua.

La subestación eléctrica que transportará la energía producida por los generadores, obra que debe iniciarse, según programa, puede ser 2 meses posterior a inicio de la construcción de la presa.

Terminada la obra se debe hacer una limpieza total de cualquier escombro que haya quedado, dar terminación a los caminos definitivos y con respecto al medio ambiente la reforestación total de cuencas y lugares afectados por las obras realizadas.

Según (Castillo, 2019) en su documento hace referencia a lo siguiente:

Por su altura las presas se clasifican en grandes y pequeñas. Según el Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), hasta 15 metros de altura se considera que la presa es una presa pequeña. A partir de 15 metros de altura hasta 29 metros se considera como una presa mediana, a partir de 30 mts., se considera que es una presa grande. (p. 45)

4.2.1.9. Desvío de río

Cuando se inician las obras en el lecho del río, antes debe haber desviado el río su cause, se le denomina Ataguía a la obra temporal que se construye para desviar el río hacía un cause provisional que se construye fuera y ampliamente lejano, para que no interfiera en la construcción de cimentación y cortina que se construirá en el lecho del río.

Dependiendo del tipo de presa en algunas ocasiones se puede solamente desviar una parte del río y la otra parte que siga su cauce, en caso de una crecida

y si la presa es de gravedad de tierra, los daños son mayores a que fuera una presa de concreto, los costos invertidos en el desvío se pueden disminuir, pero si surgen avenidas de corriente no previstas puede hacer que la obra colapse en su totalidad.

El desvío debe ser lo más alejado posible de las obras, esto hará que se compense en costo el avance de la obra sin contratiempos de inundaciones.

Existen las siguientes recomendaciones o reglas prácticas sobre la decisión del tipo de desviación.

Si la obra es de hormigón, puede ponerse la avenida probable durante su período de construcción con un margen del 20 % o bien hacer el desvío para un caudal del orden de 5 a 10 veces el medio del río, según lo largo que sea el período de construcción.

- Si la obra es de hormigón, puede ponerse la avenida probable durante su período de construcción con un margen del 20 % o bien hacer el desvío para un caudal del orden de 5 a 10 veces el medio del rio, según lo largo que sea el periodo de construcción.

- Si se trata de una presa de materiales sueltos, el caudal probable durante el periodo de construcción se aumentará en un 50 % y hasta un 100 %, dependiendo de la importancia de los daños posible. (Castillo, 2019, pp. 179-180)

Dependiendo de la magnitud y volumen a descarriar los desvíos de caudales de los ríos pueden ser en costo muy altos, pero es una forma segura de trabajar estos proyectos, pueden ser túneles de desvío si la cuenca tiene una

pendiente muy pronunciada y cercana al cauce, estos túneles se revisten de concreto y en algunos casos como la presa Hoover, esté revestimiento puede llegar a tener un metro de grosor.

Según (Yepes, 2020), en su documento sobre contención de aguas mediante ataguías indica lo siguiente:

> Una ataguía (*cofferdam*) es una estructura, generalmente provisional, destinada contener el terreno e impedir, reducir o desviar la entrada de agua en una excavación. Se trata de construir un recinto estanco y seco temporal muy empleado, por ejemplo, en la ejecución de pilas de puentes, muelles, presas, y en cualquier otro lugar donde se quiera trabajar en seco.

Son obras que reciben el empuje de las tierras, el hidrostático y las fuerzas dinámicas debidas a corrientes u oleaje, en su caso, y que deben satisfacer los requisitos de estabilidad, impermeabilidad y estanqueidad. Por tanto, resulta inútil emplear ataguías sobre terrenos muy permeables, pues de nada serviría la impermeabilidad de las paredes si por el fondo se filtran caudales imposibles de agotar. En estos casos, sería necesario un dragado previo hasta alcanzar el sustrato impermeable.

Además, si la ataguía se utiliza en obras fluviales, hay que considerar los problemas hidráulicos como la erosión del lecho de la corriente y el desbordamiento. No en balde, si la ataguía empieza a tener dimensiones importantes debe diseñarse y construirse con todas las garantías exigibles a una presa, aunque sea provisional. (párrafo 1-3)

Figura 34. **Ataguía Montgomery Point Lock and Dam (Estados Unidos)**

Fuente: Yepes (2020). Concentración de aguas mediante afaquias. Consultado el 10 de octubre del 2021. Recuperado de https://cutt.ly/3RHADNp.

Figura 35. **Túnel de desvió de rio Santiago. Presa el Cajón, Nayarit México**

Fuente: Castillo (2019). *Apuntes de procesos constructivos II parte II..* Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de: https://cutt.ly/9RHSj33.

4.2.1.10. Cimentación de presa

A diferencia de las presas de materiales sueltos, la cimentación en presas de gravedad de concreto exige un mayor cuidado en calidad y resistencia de los suelos, en este tipo de presas, necesariamente se debe cimentar sobre lecho rocoso, el procedimiento de excavación requiere utilizar explosivos, esto puede ocasionar daños de agrietamiento o fisuras en las rocas, por esta razón se hacen inyecciones de epóxidos dentro de este lecho rocoso.

En los puntos en que estos esfuerzos son superiores a la resistencia tangencial de la roca está se agrieta, en otras que se aproximen, sin llegar al límite, no se producirá la fisuración, pero los efectos de la excavación, los explosivos luego y luego los transmitidos por la presa pueden provocarla. La meteorización actuara en las zonas fisuradas y puede aumentar el efecto. (Cimentaciones y excavaciones en presas, s.f., p. 40)

Las cimentaciones de concreto no deben dejarse sobre zonas del suelo descomprimidas, es decir que se haya removido el material, debe estar sobre el suelo natural que ha sido comprimido por mucho tiempo, por la masa de material que se encontraba en la parte superior.

En cuanto a profundidad de cimiento, no existe regla general, pero se puede intuir que es razonable que tenga relación entre la altura y el cimiento, una relación alto- profundidad, las excavaciones pueden tratarse de diferente manera, dependiendo de las condiciones físicas del lugar.

Para ello es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Muchas veces las excavaciones deben hacerse en forma manual cuando se necesita tratar fallas o lugares que deben recibir tratamiento.

- Cuando se emplea maquinaria para la excavación inicial, los últimos metros deben hacerse en forma manual se debe cuidar toda esta área, si el lecho rocoso final sufre alteraciones graves como fisuras, agrietamiento en rocas, puede ocurrir meteorización (en geología, conjunto de procesos externos que provocan alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera) en todas las rocas del lecho.

- Los taludes también se protegen con concreto lanzado, refuerzo de acero y sus anclajes para cubrir las rocas y la disgregación de este material hasta que la fundición de cortinas se una con estos taludes.

- Los cuidados en el lecho rocoso deben ser de tal forma, que se llega a sacar a mano todo el material suelto y lavar toda la superficie, hasta que quede totalmente limpio para poder hacer fundiciones de cimientos.

En el documento de Cimentaciones y excavaciones en presas, (s.f.), hace referencia lo siguiente:

> Los requisitos generales de las cimentaciones en suelos son igualmente aplicables a cimentaciones en roca. Las cimentaciones en ningún caso deberán desplantarse sobre tierra vegetal, materiales sueltos o roca superficial muy alterada.
>
> La profundidad mínima de desplante en roca debe ser de 0.5 m bajo la superficie del terreno, excepto cuando lo anterior implique el uso de explosivos u otros métodos que puedan empeorar las condiciones de la roca superficial.

En general, se requieren la planta y los perfiles geológicos del sitio, en los que se defina la distribución horizontal y vertical de las formaciones y la calidad de las mismas. En particular, es necesario conocer el espesor del material de acarreo y de la zona intemperizada de mala calidad, así como la posición del nivel freático.

El conocimiento del valor de la permeabilidad de la roca bajo el nivel de desplante, obtenido de pruebas de campo, permite detectar zonas de mala calidad y definir la conveniencia de tratamiento con base en inyecciones. Cuando el macizo ha sido inyectado con anterioridad debe tomarse nota de la magnitud de los consumos de lechada, a fin de lograr una mejor idea de su porosidad y agrietamiento. (p. 45).

La estructura de la presa sobre el lecho rocoso debe realizarse completamente, la filtración de agua entre las rocas puede ser una pérdida económica, en cambio las presiones hidrostáticas proyectan una medición clave en el diseño.

Dependiendo del tipo de presa, así será la magnitud de los deslizamientos, en presas de tierra y enroscamiento muy bajo, en presas de gravedad es importante considerar en el diseño el deslizamiento, en las presas de concreto de arco es fundamental considerar el deslizamiento por la cimentación y los laterales, estribos.

Figura 36. **Estribo en lateral, presa Mezapa, Honduras**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

4.2.1.11. Construcción de muro de presa

Para la construcción del muro de presa de cualquier tipo, se trabaja en secuencia, cimentación y muro, ya sea de concreto de arco, de contrafuertes o de gravedad combinada con concreto.

Si se toma de ejemplo una presa de gravedad con revestimiento de concreto el procedimiento es el siguiente: se debe trabajar en áreas secas para la excavación y tratamiento del área donde se cimentará, para esto se necesita desviar el río y si se evalúa que es posible cerrar una parte del río se procede a desviar todo el caudal hacía la mitad del área del lecho del río, esto se logra colocando una ataguía que aguas arriba que encauce el agua a la mitad del área, logrando esto la otra mitad deberá estar seca tomando todas las medidas para evitar la filtración subterránea.

Logrando esto se inician los trabajos en la parte seca, ahí se procede con la cimentación y la estructura donde estará el canal de flujo de agua que ira a la tubería de presión y compuertas, la mitad de la cortina de la presa transversal al río.

Se ubicará el rebalse para el caudal ecológico, el volumen de agua diseñada para las turbinas canalizada por gravedad hacía un canal de concreto.

Figura 37. **Cortina de presa Mezapa, Honduras**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

En el lado izquierdo de la presa se observa la estructura donde se canalizará el agua hacía las turbinas, ahí está el canal de concreto, el rebalse para el caudal ecológico y las válvulas que controlan el flujo del agua.

Figura 38. **Canal de concreto que capta el caudal hacía la tubería presión**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

Se observa en la parte izquierda el estribo de empotramiento de la cortina de concreto, la estructura de captación del agua.

En este canal se filtra también los residuos de arena y piedras que puede llevar el agua, el flujo de agua al salir del embalse sale con una corriente fuerte, se coloca unas estructuras de concreto rectangulares para frenar la velocidad y hacer la corriente laminar, así se logra la sedimentación y se evita que estos residuos lleguen a las turbinas, estos canales están en constante limpieza de sedimentación.

Figura 39. **Flujo de agua hacia canal de gravedad**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

El caudal de agua de la presa hacía el canal, esta sale con velocidad y turbulencia, las estructuras rectangulares de concreto sirven de alivio de presión y vuelve el flujo laminar para lograr la sedimentación en el canal.

Figura 40. **La corriente de agua ya se vuelve laminar**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

Al final del canal se coloca una rejilla que no dejará pasar residuos, la pendiente de este canal es muy leve, viajará así hasta llegar a la tubería de presión y de ahí hasta las turbinas de generación eléctrica, así mismo viajará por tuberías de diámetro de 1.00 m, a sección llena, con una caída de más de 300 m, de altura.

Figura 41. **Rebalse para caudal ecológico y captación de caudal para turbinas protegido con rejilla rebalse**

Fuente: [Fotografía de José Zet]. (Presa de Mezapa, Tele, Arizona, Municipio del Departamento de Atlántida, Honduras. 2021) Colección particular.

Sobre los vertederos, Sarmiento (2009), en su documento hace la siguiente definición:

La estructura de control: Regula y gobierna las descargas del vaso, las estructuras de control pueden tomar varias formas tanto en su posición como en su figura, en planta los vertederos pueden ser rectos, curvos, semicirculares, en forma de U o redondos.

Canal de descarga: los volúmenes descargados por la estructura de control generalmente conducen el cauce, debajo de la presa, por un canal de descarga o cauce. Las dimensiones del canal de penden principalmente de los requisitos hidráulicos, pero por la selección del perfil, de la forma de las secciones transversales, anchos, longitud, etc., dependen de las características geológicas y topográficas del emplazamiento. (p. 93)

4.3. Diseño estructural de presa de concreto de gravedad

Se hará el cálculo estructural de una presa de concreto de gravedad, no tendrá un lugar específico, se tomarán todos los datos indicados por AGIES, Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, todos los datos estarán basados en la sección NSE 5.1, Presas de tamaño y altura limitados y otras secciones de NSE, siguiendo estos lineamientos la altura de dicha presa estará en el rango de 25 a 30 m de altura. Según la clasificación será una presa mediana.

Según la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), (2018), hace referencia en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 5.1 lo siguiente:

Para presas por gravedad, de forma usual y de altura no mayor de 30 m, el diseño consistirá básicamente en establecer que la presa es estable, con razonable margen de seguridad, y que los esfuerzos producidos por las

solicitaciones pueden ser resistidos por los materiales dentro del rango elástico. (p. 10)

Siguiendo las normas planteadas por AGIES (2018), respecto a la cimentación de presas de concreto de gravedad hace referencia que:

> La presente norma se recomienda para el diseño de presas de concreto de gravedad nuevas para: plantas hidroeléctricas, sistemas de abastecimiento de agua, sistemas de irrigación, sistema de protección de crecidas y casos similares. Se limita a presas de gravedad de concreto convencional y alturas menores a 30 metros, el diseño hidráulico no corresponde a esta norma.
>
> Los procedimientos en esta norma cubren solamente presas sobre cimientos en roca. (p.11)

En cuanto a sismo que debe soportar la cortina de la presa se tomará los lineamientos establecidos según (AGIES, 2018), en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 2, en la sección 4.2.2, Nivel de Protección Sísmica, en donde dice lo siguiente:

- El Nivel de Protección Sísmica necesario para alcanzar los objetivos de la Sección 1.4.1 de la norma NSE 1 se establece en la Tabla 4.2.2-1 en función del Índice de Sismicidad Io y la Clasificación de Obra.

- Puede aplicarse cualquier requerimiento que corresponda a un nivel de protección más alto que el nivel mínimo especificado en la Tabla 4.2.2-1. (p. 30)

Tabla XX. **Nivel de protección sísmica y probabilidad de sismo de diseño**

	Clase de obra ([b])			
Índice de sismicidad ([e])	**Esencial**	**Importante**	**Ordinaria**	**Utilitaria**
Io=4	E	D	D	C
Io=3	D	C	C	B
Io=2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder el sismo de diseño ([c])	5% en 50 años ([d])	5% en 50 años ([d])	10% en 50 años	Sismo mínimo ([e])

Fuente: elaboración Propia, realizado en Word.

[e] Clasificación de obra

[b] Índice de sismicidad

[c] Sismos para diseño estructural

[d] A las obras Esenciales e Importantes les corresponde un sismo con la misma probabilidad de excedencia- se diferencian en detalles del nivel de protección y en las deformaciones laterales permitida

[e] Nivel de protección sísmica

En cuanto a la profundidad y valor soporte del suelo que se tomará para el ejemplo, estará basado en los lineamientos que establece (AGIES, 2018), en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 2.1, Estudios Geotécnicos.

- La profundidad mínima de cimentación estará en función de la capacidad soporte del suelo y deberá tomar en cuenta los aspectos siguientes:

- Utilizar la profundidad que evite problemas de erosión, socavación, meteorización acelerada del suelo, arrastre del mismo por tubificación causada por el flujo de las aguas superficiales o subterráneas.

- En presencia de suelos arcillosos la profundidad deberá llevarse hasta un nivel en el que no haya influencia de los cambios de humedad inducidos por agentes externos.

- Evitar los efectos de, materia orgánica y desechos que puedan ser susceptibles a cambios de volumen o que disminuyan las propiedades del suelo. (p. 34)

La cimentación estará ubicada sobre un lecho rocoso, por lo tanto, apegados a los lineamientos establecidos (AGIES, 2018) en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 2.1, se tomará de ahí los datos de la tabla 5.10.1-1, dicha información permitirá establecer los procedimientos para el cálculo de la capacidad de carga.

Tabla XXI. **Valores permisibles de capacidad de carga y presión lateral [1][2][3]**

Tipo de Material	**Capacidad de carga Presión vertical del cimiento (kPa)**	**Resistencia lateral (kPa/m) debajo de la gradación natural**	**Deslizamiento lateral**	
			Coeficiente de fricción [4]	Cohesión (kPa) [5]
Basamento cristalino	550	180	0.70	-
Roca sedimentaria y foliada	190	60	0.35	-
Gravas arenosas y/o grava (GW, SP, SM, SC, GM Y GC)	140	30	0.35	-
Arena, arena limosa, arena arcillosa, grava limosa y grava arcillosa (SW, SP, SM, SC, GM, Y GC	90	20	0.25	-
Arcilla, arcilla arenosa, arcilla limosa, limo arcilloso, limo y limo arenoso (CL, ML, MH, Y CH)	70[6]	15	-	5

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

[1] Para el sistema imperial: 20.87834 lb/p2 = 1 kPa, 6,3535 lb/p3 = 1 kPa/m

[2] Para utilizar esta tabla al menos se deben realizar ensayos de campo y/o laboratorio.

[3] La profundidad mínima de cimentación será de 0.80 m.

[4] Coeficiente a ser multiplicado por la carga muerta.

[5] Valor de resistencia al deslizamiento natural a ser multiplicado por el área de contacto

[6] Cuando se establezca en el sitio un suelo con una capacidad soporte de menos de 71.93 kPa la capacidad soporte permisible deberá ser determinada por una investigación de suelo. (AGIES NSE 2.1, 2018, p. 35)

Para el ejemplo de cálculo de muro de gravedad de concreto, se tomará, como base de cimentación, roca sedimentaria y foliada, está será la base de la cimentación.

Referente a las rocas foliadas el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2017), brinda la siguiente definición.

> Son rocas sometidas a calor y presión diferencial durante el metamorfismo que se caracterizan por presentar alineación paralela de minerales, lo cual da a la roca una apariencia de capas o bandas. El tamaño y la forma de los granos minerales en estos casos determinan el tipo de foliación, que puede ir desde fina hasta tosca. (párrafo 11)

El valor de soporte de está roca es de 190 kPa, se pasará a kgf/m2, como un kPa = 101.972 kg/m2, el valor en kPa, para 190 da un valor de 190*101.972 kg/m2 = 19,374.68 kg/m2 = 19.37468 ton/ m2, este es el primer dato donde se cimentará.

La clasificación de la obra se basará en los parámetros dados (AGIES, 2018) en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE 5.1 y se detallan en cinco categorías.

- Presas críticas: son presas críticas aquellas que tienen gran capacidad de generación, y resulta indispensable para amplios sectores la población del país. Son ejemplo de presas críticas aquellas que son parte de grandes centrales energéticas o aquellas que al colapsar provocarían una gran corriente de agua que a su paso produciría daños importantes a la agricultura o la industria y/o a poblados o ciudades grandes.

- Presas esenciales: son presas esenciales las que deben permanecer operantes después de un desastre natural o evento adverso. Pertenecen a esta categoría las presas de plantas energéticas, de captación, desviación, o tratamiento de agua, para el abastecimiento de ciudades o pueblos medianos.

- Presas importantes: se consideran obras importantes las presas de plantas energéticas o de sistemas de agua potable o de irrigación, que calificarían como obras esenciales excepto que no se requiere que permanezcan operantes durante e inmediatamente después de un sismo. Su restitución como operante deberá ser posible a corto plazo.

- Presas ordinarias: son aquellas que, por su tamaño, importancia o características no deben clasificarse en el resto de las categorías.

- Presas utilitarias: son las presas que forman parte de pequeños sistemas de generación de electricidad y/o de desviación de agua en la agricultura y/o en pequeños grupos de viviendas en el área rural. (p. 15-16)

En el cálculo considerado se clasificará la presa como Presas esenciales, en cuanto al tratamiento de la base rocosa del cimiento, se deben tener las siguientes consideraciones ya que sus principales problemas es la filtración a través de las grietas, diaclasas (fractura en las rocas, que no implica deslizamiento, solamente mínimas grietas transversales), se pueden dar las siguientes soluciones:

- Cubrir con una capa de concreto impermeable, al pie de la presa, aguas arriba.

- Inyectar la roca agrietada en una sola línea.

- Hacer inyecciones en la roca, es un costo alto, se emplea si otras soluciones no pueden aplicarse.

Como la presa está clasificada como Presa esencial, según indica (AGIES, 2018), en NSE 5.1 “el nivel de protección depende de la clasificación de la obra y **I**o, y esto se define a continuación” (p.16).

Tabla XXII. **Índice de sismicidad y niveles de protección**

Índice de sismicidad	**Critica y esencial**	**Clases de presa [1]**		
		Important e	**Ordinaria**	**Utilitaria**
Io= 4	E	D	D	C
Io= 3	D	C	C	B
Io= 2	C	B	C	A
Periodo de retorno mínimo de la crecida de diseño	Crecida máxima probable	1000 años	100 años	Al menos dos veces la vida útil de la presa
Probabilidad de exceder mínima del sismo máximo de diseño [2]	2% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	No aplica

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Se clasificó como Presa esencial corresponde entonces un nivel de protección Esencial (E) y un índice de sismicidad, Io= 4

4.3.1. Fundición masiva en presas

En cuanto al concreto utilizado y las fundiciones masivas, volúmenes mayores a 1 mt de altura, según indica American Concrete Institute (ACI) 207.1R-87 que, las condiciones en que debe aplicarse estás fundiciones, los cubos que se forman para ir fundiendo las presas de concreto, el espacio entre estos cubos se llenan después con argamasa, el control de temperatura en el interior del concreto, que va desde usar los agregados sometidos a bajas temperaturas,

disminución de agua, por su relación con el cemento que eleva su calor, y la introducción de tuberías con agua fría dentro del concreto para disminuir su temperatura y así evitar las grietas que provoca el calentamiento dentro de las fundiciones.

Sin embargo, (ACI 207.1R-96,1996), en su documento hace referencia lo siguiente:

> Se cubren los pasos principales a partir de los inicios muy pequeños hasta el presente, en construcciones de presas grandes. Ahora hay dosificación y mezcla exacta y automática, el concreto en 12-yd^3 (9-m^3), pueden ser colocado por métodos convencionales a razón de 10,000 yd^3/día (7650 m^3/ día) a una temperatura de menos de 50 F (10 C), colocado, incluso durante el clima más caluroso.
>
> La Presa Grand Coulee todavía mantiene la tasa de colocación mensual récord de todos los tiempos de 536,250 $yd^{3,}$ (410.020 m^3) seguido del más reciente logro en la represa de Itaipu en la frontera entre Brasil-Paraguay 440,550 yd^3 (336.840 m^3) (Itaipu Binacional 1981).
>
> Las mezclas ahora se hacen viables por medio de incorporadores de aire y otros aditivos químicos y el uso de materiales puzolánicos, los reductores de agua, potenciador de la fuerza y los aditivos químicos que controlan el fraguado son efectivos para reducir el contenido de cemento requerido al mínimo, así como en el control del tiempo de fraguado.
>
> Con la mayor asistencia al hormigón compactado con rodillo, se ha dado a la construcción de hormigón en masa, el récord mensual con una tasa de colocación de 328,500 yd^3 (250.200 m^3) para rodillos compactos.

> Los interesados en la construcción de presas de hormigón no deberían sentir que se ha alcanzado lo último, pero están justificados en cierta satisfacción por el progreso realizado. (p. 3)

Estas son algunas de las condiciones para las fundiciones de las presas de gravedad de concreto y fundiciones en otro tipo de presas, de concreto de arco y de contrafuertes, en cuanto a la cimentación uno de los requisitos estructurales es la resistencia a la compresión y corte en las rocas donde se cimentará y para ello (AGIES, 2018), en NSE 5.1 se refiere a las propiedades de resistencia estática de la siguiente manera:

- Las propiedades más importantes de resistencia de la cimentación necesarias para el diseño de estructuras de gravedad de concreto son la resistencia a la compresión y la resistencia al corte. La capacidad de carga permisible para una estructura se selecciona a menudo como una fracción de la fuerza media de compresión de la roca de cimentación para determinar los planos inherentes de debilidad a lo largo de las articulaciones y fracturas naturales.

- La mayoría de los tipos de roca tienen capacidad de carga adecuada para estructuras de concreto grandes, a menos que sean rocas sedimentarias blandas tales como piedras de barro, arcilla, etc.; que contengan grandes vacíos o tienen zonas de falla anchas.

- La resistencia al corte de la roca de cimentación se da como dos valores: cohesión (c) y fricción interna (φ). Los valores de diseño para la resistencia al corte se seleccionan generalmente sobre la base de los resultados de las pruebas de corte directo de laboratorio. Los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia a la tracción a menudo son necesarios para

desarrollar la envolvente de fallas adecuada durante las pruebas de laboratorio. (p. 25)

Según (AGIES, 2018), en NSE 5.1 hace mención sobre las cargas que se aplicarán a la presa de gravedad de concreto serán las siguientes:

- En el diseño de presas de gravedad de concreto, es esencial determinar las cargas requeridas para los análisis de estabilidad y de esfuerzos. Las siguientes fuerzas pueden afectar el diseño.

- Cargas muertas.
- Presión de aguas arriba y abajo.
- Sub-presión.
- Presión de suelo y de sedimentos
- Fuerzas producidas por sismos
- Presión de viento
- Presión sub-atmosférica
- Presión producida por olas
- Reacciones en la base de cimentación. (párrafos 26-27)

El peso específico del concreto se asumirá como 2,400 gk/m3, el peso unitario del agua 1,000 kg/m3, es por ello que el cálculo de espectro de respuesta permite tener datos concretos es por ello que basados en AGIES NSE 2, 2018, se ubicará el sitio de la presa según tabla A-1 (AGIES, 2018, p. 100), NSE-2 departamento de Guatemala, municipio de San Raymundo, con los siguientes datos:

Scr = 1.43; S1r = 0.52 y T_L = 2.88; la clase de obra es esencial, según mapa de zonificación sísmica Io= 4.1; Ts= periodo de transición = S1r/Scr = 0.52/1.43=0.363663636 segundos.

El lecho de la cimentación se considera rocoso, corresponde una clase de sitio B, su índice de sismicidad es E, por ser esencial.

Tabla XXIII. **Coeficiente de sitio Fa**

Clase de sitio	**Índice de sismicidad**			
	2	3	4.1	4.2
AB	1	1	1	1
C[1]	1	1	1	1
D	1	1	1	1
E	1	1	1	1
F	Se requiere evaluación			

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

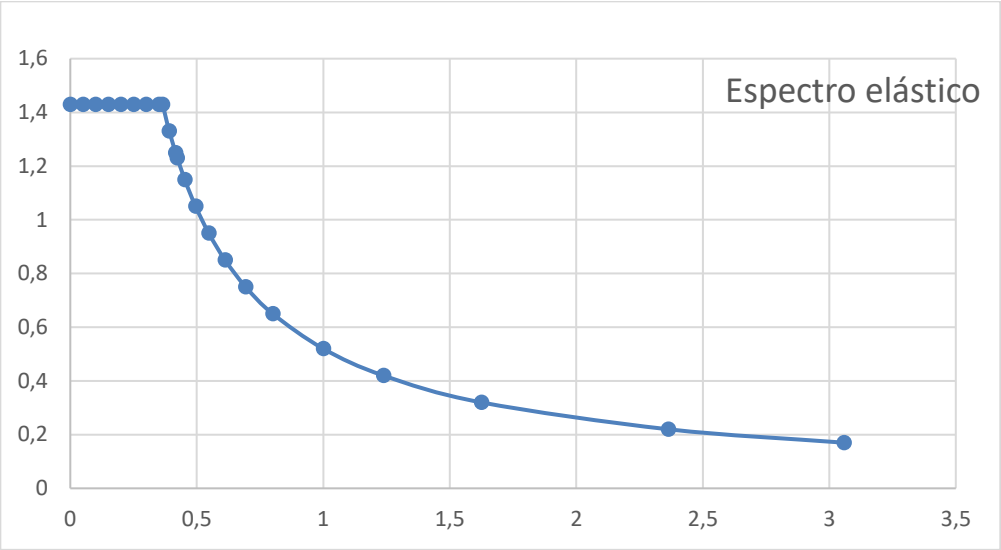
En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor Fa se tomará del suelo C (AGIES, NSE 2, 2018, p. 36).

Tabla XXIV. **Espectro de respuesta elástico**

S(g)	T(s)
1.43	0
1.43	0.05
1.43	0.1
1.43	0.15
1.43	0.2
1.43	0.25
1.43	0.3
1.43	0.35
1.43	0.363636
1.33	0.390977
1.23	0.422764
1.25	0.416
1.15	0.452174
1.05	0.495238
0.95	0.547368
0.85	0.611765
0.75	0.693333
0.65	0.8
0.52	1
0.42	1.238095
0.32	1.625
0.22	2.363636
0.17	3.058824

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Figura 42. **Espectro de respuesta elástico**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Para llegar al espectro de diseño se debe considerar factores que afecten la estructura, puede que existan o no, si existieran deberán llevar factores de ajuste de sitio Fa y Fv, las cuales se determinará para Fa, coeficiente de sitio, para la ubicación de la presa en B, lecho rocoso, y para su índice de sismicidad Io=4.1, corresponde Fa=1, para Fv. Según Tabla 4.5-2, corresponde Fv=1.

Tabla XXV. **Coeficiente de sitio Fv**

Clase de sitio	**Índice de Sismicidad**			
	2	3	4.1	4.2
AB	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D[1]	1	1	1	1
E	1	1	1	1
F	Se requiere evaluación			

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C ó como D, el factor Fv se tomará del suelo D. (AGIES, NSE 2, 2018, p. 36).

Ajuste por clase de sitio:

Ecuación 8

$$Scs=Scr*Fa=1.43*1=1.43$$

Ecuación 9

$$S1s=S1r*Fv=0.52*1=0.52$$

En este caso el período de transición, no cambio, sigue siendo 0.52/1.43 = 0.366666 segundos, su espectro por ajuste de sitio, sigue siendo la figura 44.

Período Ts que separa los períodos cortos de los largos = Scr*Fa/(S1r*Fv) = S1s/Scs = 0.52/1.43=0.363636 segundos, por lo tanto, la gráfica del espectro de respuesta por clase de sitio sigue igual. Ts=0.363636.

4.3.2. Ajustes por intensidades sísmicas especiales

Los valores Scs y S1s, se multiplicarán por Na y Nv, estas ecuaciones quedan asi:

Ecuación 10

$$Scs=Scr*Fa*Na$$

Ecuación 11

$$S1s=S1r*Fv*Nv$$

A continuación, en la siguiente tabla se visualizarán los datos para encontrar los valores.

Tabla XXVI. **Tipo de fuente sísmica**

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tas de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad[1]	Mo>= 7	TC>= 5
B	Fallas geológicas que no son A ó C	Mo>=7.0 Mo <7.0 Mo>= 6.5	TC<5 TC>2 TC<2
C	Fallas Geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad.	Mo<6.5	TC<=2

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

La zona de subducción del territorio de Guatemala no debe considerarse en esta clasificación debido a la distancia a la fuente (AGIES, NSE 2, 2018, p. 40).

Tabla XXVII. **Factor Na para períodos cortos de vibración**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a la fuente sísmica [1] [2]		
	<= 2 km	5 km	>= 10 km
A	1	1	1
B	1	1	1
C	1	1	1

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

[1] Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.

[2] Utilizar el mayor factor Na obtenido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Tabla XXVIII. **Factor Na para períodos largos de vibración**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a una fuente sísmica [1][2]			
	<= 2 km	**5 km**	**10 km**	**>= 10 km**
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

[1] Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.

[2] Utilizar el mayor factor Na obtenido al cotejar todas las fuentes relevantes (AGIES, NSE 2, 2018, p. 41).

Tabla XXIX. **Factor Nv para períodos largos de vibración**

Tipo de fuente	**Distancia horizontal más cercana a una fuente sísmica[1][2]**			
	<= 2 km	**5 km**	**10 km**	**>= 15 km**
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

[1] Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.

[2] Utilizar el mayor factor Nv obtenido al cotejar todas las fuentes relevantes (p. 41)

Para el factor Na, se tomó el tipo de fuente B y la fuente sísmica mayor o igual a 10 km, para Nv, fuente B y fuente sísmica mayor o igual a 10 km, por lo tanto, ajustes por intensidades sísmicas especiales queda así:

Ecuación 12

$$Scs=Scr*Fa*Na= 1.43*1 =1.43$$

Ecuación 13

$$S1s=S1r*Fv*Nv = 0.2*1= 0.52$$

El factor de transición sigue siendo= 0.52/1.43=0.363636 seg.

4.3.3. Factor de escala

El factor de escala indicará la probabilidad de que ocurra un sismo y se toma el valor de Kd de acuerdo con el nivel de sismo.

Tabla XXX. **Factores Kd de acuerdo al nivel de sismo**

Nivel de sismo	Factor Kd
Sismo ordinario -10% de probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo severo- 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo extremo -2% probabilidad de ser excedió en 50 años	1.00
Sismo mínimo -condición de excepción	0.55

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

El ejemplo está de acuerdo con el sismo severo -5 % y una probabilidad de ser excedido en 50 años, por lo tanto, Kd= 0.80, las ecuaciones quedaran ahora así:

$$Scs=Scr*Fa*Na*Kd= 1.43*1*.80 = 1.14$$

$$S1s=S1r*Fv*Nv *Kd= 0.52*1*.80= .416 \quad (15)$$

El factor de transición =.416/1.14 = 0.364912 seg.

Factor correcciones condiciones geotécnicas locales.

Estas correcciones son de acuerdo a fallas o condiciones geológicas del lugar, se tomó para la condición de barranco, por ser una cuenca para presa, el factor es 1.33

Ecuación 14

$$Scs=Scr*Fa*Na*Kd*factor= 1.43*1*.80*1.33 = 1.5162$$

Ecuación 15

$$S1s=S1r*Fv*Nv*Kd*factor= 0.52*1*.80*1.33= 0.55328$$

Factor de transición=.55328/1.5162= 0.364912 segundos.

El espectro calibrado a nivel de diseño elástico será con los siguientes valores:

- Aceleración de período corto: 1.5162
- Aceleración de período largo: 0.55328
- Factor de transición: 0.364912 segundos
- El factor de reducción R, no está especificado

Tabla XXXI. **Coeficientes y factores para diseño de sistema sismorresistentes**

	Sistema estructural sección 1.5	Sistema constructivo	R	Ok	Cd	Límite de altura en mts			
						Nivel de protección			
						B	C	D	E
E4	SISTEMA DUAL								
	Marcos de concreto reforzado A, con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7.1	7	2.5	5.5	S	SL	SL	SL
	De mampostería reforzada	NSE 7.4	5.5	3	5	SL	SL	SL	SL
	Marcos de acero tipo A								
	Con riostras excéntricas	NSE 7.5	8	2.5	4	SL	SL	SL	SL
	Con riostras concéntricas especiales	NSE 7.5	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL
E5	COLUMNAS VOLADIZAS o PENDULO INVERTIDO								
	De concreto reforzado combinado	NSE 7.1	2.5	2	2.5	12	2	2	2
	De estructura de acero con detalles sísmicos	NSE 7.5	2.5	.2	2.5	12	2	2	2
	De estructura de madera	NSE 7.7	1.5	.5	1.5	12	2		2
E6	OTRO TIPO. Clásica como E5, o bien consultar exclusiones en NSE 3.1, NSE 5 o NSE 6								

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Tabla XXXII. **Espectro calibrado a nivel de diseño elástico**

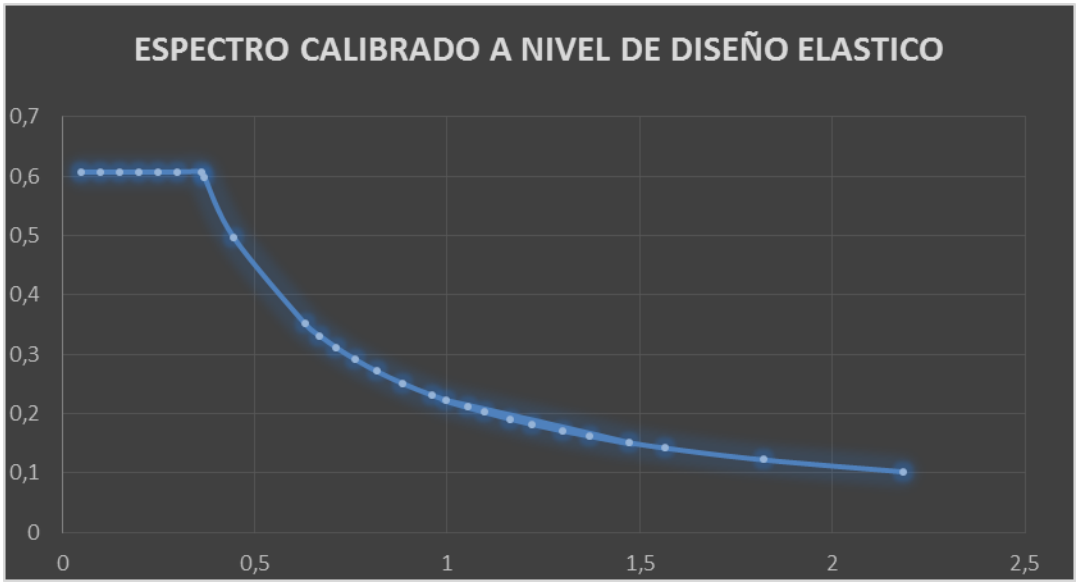
S(g)	T(s)
0.60648	0.05
0.60648	0.1
0.60648	0.15
0.60648	0.2
0.60648	0.25
0.60648	0.3
0.60648	0.364912
0.59648	0.37103

Continuación tabla XXXII.

0.49648	0.445762
0.35	0.63232
0.33	0.670642
F 0.31	0.71391
0.29	0.763145
0.27	0.819674
0.25	0.885248
0.23	0.962226
0.21	1.053867
0.19	1.1648
0.17	1.301835
0.15	1.475413
0.221312	1
0.201312	1.099348
0.181312	1.220614
0.161312	1.37195
0.141312	1.566123
0.121312	1.824321
0.101312	2.18446

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Figura 43. **Espectro calibrado a nivel de diseño elástico**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Ecuación 16

$$Pe_x = M\acute{a}_x = W/g * \acute{a}н * g = W * \acute{a}н$$

Donde:

Pe_x = Fuerza hidrodinámica por unidad de longitud [ton/m]

M = masa de la presa

a_x = aceleración sísmica horizontal

g = gravedad

άн = Coeficiente sísmico

Con estos datos vemos que la ecuación $Pe_x = W\acute{a}н = W * 0.60648$, es la fuerza hidrodinámica que actuará sobre la presa.

Es la fuerza requerida para acelerar la masa del concreto de la presa, en cuanto a la fuerza del agua sobre la presa incremento y decremento por la acción sísmica.

La inercia del embalse de agua induce a incrementos y decrementos de la presión sobre la presa simultáneamente con las fuerzas inerciales del concreto.

Esta fuerza puede ser calculada por medio de la fórmula de *Westergaard*, usando la parábola aproximada:

Ecuación 17

$$Pew = 7/12 * \acute{a}н * \gamma * h^2$$

Donde:

Pew= Fuerza hidrodinámica por unidad de longitud [ton/m]

h= Altura total del embalse

ɣ= Peso unitario del agua [ton/m3]

άн= Coeficiente sísmico" (AGIES, NSE 5.1, 2018, p. 33).

En resumen, se tienen las 2 ecuaciones con su coeficiente sísmico para las 2 fuerzas actuantes sobre la presa.

Wάн= W*0.60648= Fuerza requerida para acelerar la masa del concreto de la presa.

Pew= 7/12*0.60648*ɣ*h²= Incrementos o decrementos de presión sobre la presa provocada por el agua, actúan simultáneamente sobre la presa, estas dos fuerzas.

Respecto a la aceleración máxima del suelo (AMS), nos indica AGIES, NSE-2 (2018), lo siguiente, “para los casos en que sea necesario estimar una aceleración máxima de suelo correspondiente al sismo de diseño a partir de los espectros genéricos, se utilizará” (p.39).

Ecuación 18

$$AMSd = 0.40 * Scd$$

Para la fuerza vertical del sismo de diseño.

Ecuación 19

$$Svd = 0.20 * Scd$$

Referente al coeficiente sísmico nos indica que, cuando el coeficiente sísmico horizontal se calcule en base a los mapas de zonificación de la Norma NSE-2, el procedimiento será el siguiente:

- Se deberá calcular la aceleración máxima del suelo, *AMSd*, para la ubicación de la presa.
- El coeficiente sísmico horizontal (condición de servicio), $\acute{a}_H$, es decir, 7/15 de AMSd.

Sigue indicando también que, “cuando el coeficiente sísmico vertical (condición de servicio), $\acute{a}_v$, se calcule en base a los mapas de zonificación sísmica se puede tomar como 2/3 del coeficiente sísmico horizontal”. (AGIES, NSE-5.1 2018, pp. 34-35).

Siguiendo estos lineamientos se tiene entonces el cálculo de AMSd para el sismo horizontal y sismo vertical.

AMSd=0.40*Scd=0.40*0.60648= 0.242592, entonces, coeficiente sísmico horizontal=άн=7/15*(0.242592) = 0.1132096.

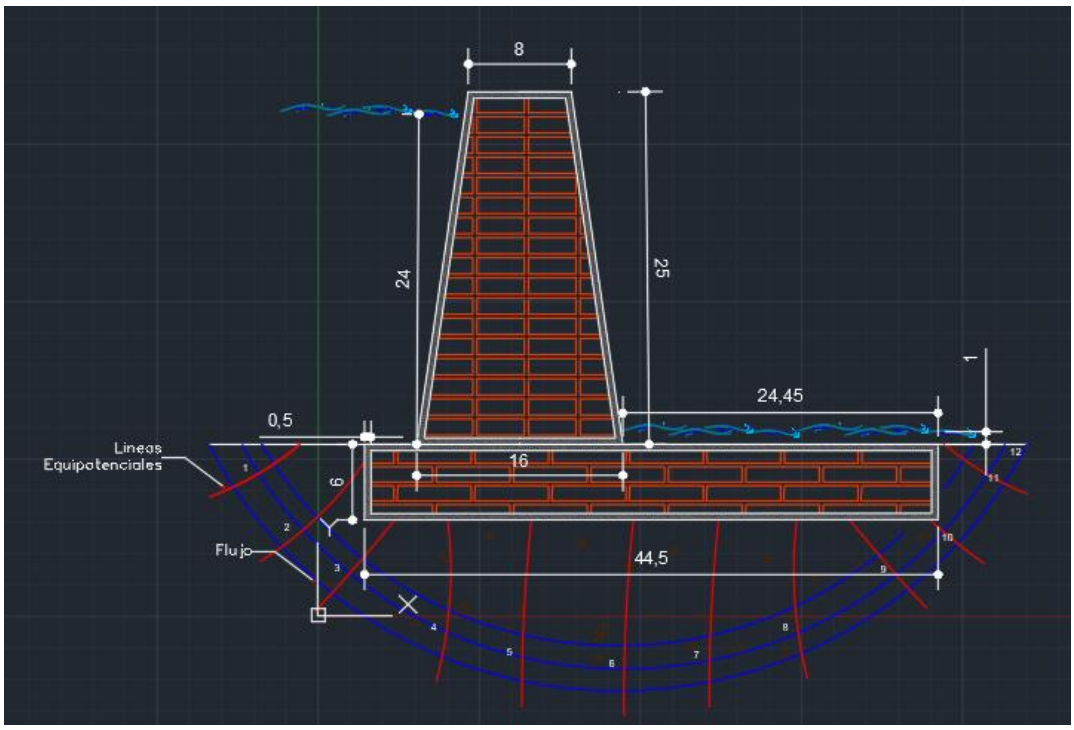
Para el coeficiente sísmico vertical, es 2/3*(0.1132096) = 0.07547.

Los coeficientes sísmicos horizontal y vertical quedan de la siguiente manera:

άн= 0.1132096, coeficiente sísmico horizontal.
$ά_v$=0.075473, coeficiente sísmico vertical.
Entonces Pe_x y Pew nos quedan respectivamente
Pe_x= άн*W= 0.1132096*W, donde W es el peso del concreto
Pew= 7/12*άн*ɣ*h²= 7/12*(0.1132096) *ɣ*²= 0.06603893*ɣ*h².
Pe_x=0.1132096*W
Pew= 0.06603893*ɣ*h², donde:
h= altura total del embalse [m]
ɣ= peso unitario del agua [ton/m]
W= peso de la presa.
Svd=0.20*Scd=0.20*.60648=0.121296

Todos estos valores se definirán en la sección de la presa.

Figura 44. **Sección de presa de gravedad de concreto, para cálculo de supresión**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

La presente sección de presa, se considera cimentada en roca, sin embargo, se considera un grado de filtración del agua bajo esta cimentación por tal razón se calcular la fuerza de subpresión que el agua ejercerá verticalmente hacía arriba.

Están indicadas las líneas de flujo y las líneas equipotenciales, esté cálculo se basará en la ecuación de Darcy, con respecto a la estructura en su interior tendrá bloques con dimensiones de 3x3x0.50 mt., de concreto, los espacios entre

ellos serán llenados por argamasa u otro material, se funden así para controlar las altas temperaturas generadas por la reacción del agua y cemento.

Ya colocadas, se considera una fundición en todo el contorno de la presa y en su cimentación, está piel será de 50 cm de grosor y su armado será de acuerdo con las normas ACI, las juntas de estás fundiciones, en contacto con el agua del embalse, se considera una membrana, *Water Stop*, para evitar las filtraciones.

El valor soporte de la roca ya se considera que los estudios geológicos y geotécnicos han determinado su optimización para hacer la cimentación, respecto al valor K, coeficiente de filtración, vemos lo siguiente.

Según la FAO (2021) en su documento sobre permeabilidad de suelos indica lo siguiente:

> La permeabilidad del suelo suele medirse en función del flujo de agua a través de éste, durante un período determinado. Generalmente se expresa o bien como una tasa de permeabilidad en centímetros por hora (cm/hora), milímetros por hora (mm/hora), centímetros por día (cm/día), o bien como un coeficiente de permeabilidad en metros por segundo (m/s), o en centímetros por segundo. (párrafo 11)

Tabla XXXIII. **Coeficientes de permeabilidad K**

	Coeficientes de permeabilidad (K		
K m/s 10	Tipo de suelo- permeabilidad		Rápida

Continuación tabla XXXIII.

10^-1	Grava limpia			
10^-2				
10^-3	Arenas limpias			
10^-4	Arenas limpia y mezclas de grava			
10^-5				
10^-6	Arenas muy finas			
	Limos orgánicos e inorgánicos			
10^-7	Mezcla de arena limo y arcilla			moderada
10^-8	Depósitos estratificados de arcilla, etc.			
10^-9	Suelos impermeables			Lenta[1]
10^-10	Arcillas homogéneas por debajo de la zona De meteorización			
10^-11				

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Permeabilidad del suelo: por ser cimentado en roca se tomará el valor de K=10^-9, datos de la Ley de Darcy, es por ello que se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 20

$$Q=K*\blacktriangle h*nf/nd$$

Donde:

Q: Caudal de agua que pasara bajo la presa

K: Coeficiente de permeabilidad, su valor de pende del tipo de suelo

▲h: Altura de energía de agua

Nf=4, según figura 46, pasan 4 líneas de flujo

Nd= 11, en figura 46 se ven las 11 líneas equipotenciales

Bajo la cimentación, la línea totalmente impermeable se considera a 4mt, entonces la altura H total es H= 4+6+24= 34 mt.; ▲h=34-10=24 mt., de presión.

En aguas arriba la presión es 34 mt., en aguas abajo la presión es 24 mt., las líneas equipotenciales sufrirán una pérdida en todo el recorrido bajo la presa, este valor es de ▲h/nd=24/11=2.1818.

Tabla XXXIV. **Fuerzas de líneas equipotenciales bajo cimiento de presa**

Línea equipotencial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Perdida de energía	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
Disminución energía de (34 m)	31.81	29.63	27.45	25.27	23.09	20.909	18.72	16.54	14.36	12.18	10.00
Líneas equipo. Bajo cimenta.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Altura (m)	8	6	4	4	4	4	4	4	4	7	10
Cargas de presión hp	23.81	23.63	23.45	21.27	19.09	16.90	14.72	12.54	10.36	5.18	0
u=ɣw x hp	23.81 ton/m^2	23.63 ton/m^2	23.45 ton/m^2	21.27 ton/m^2	19.09 ton/m^2	16.90 ton/m^2	14.72 ton/m^2	12.54 ton/m^2	10.36 ton/m^2	5.18 ton/m^2	
Por 1 mt de ancho	23.81 ton/m	23.63 ton/m	23.45 ton/m^2	21.27 ton/m	19.09 ton/m	16.90 ton/m	14.72 ton/m	12.54 ton/m	10.36 ton/m	5.18 ton/m	

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Ecuación 21

$$u=\gamma_w \times hp$$

Donde:

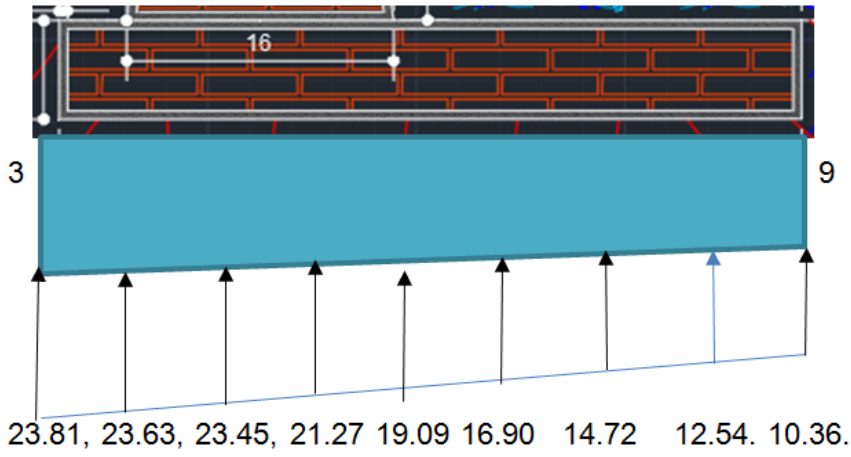
u: Presión del agua dentro del suelo, presión de poro

γ_w: Peso específico del agua, 1000 kgf/m3

γ_w=1 ton/m3

Bajo el cimiento desde el punto 3 al punto 9 tenemos el siguiente trapecio de fuerzas.

Figura 45. **Subpresión bajo cimiento**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

Todas estas magnitudes, tienen como unidades ton/m, se encontrará el centro de gravedad de esté trapecio para ver la resultante aplicada.

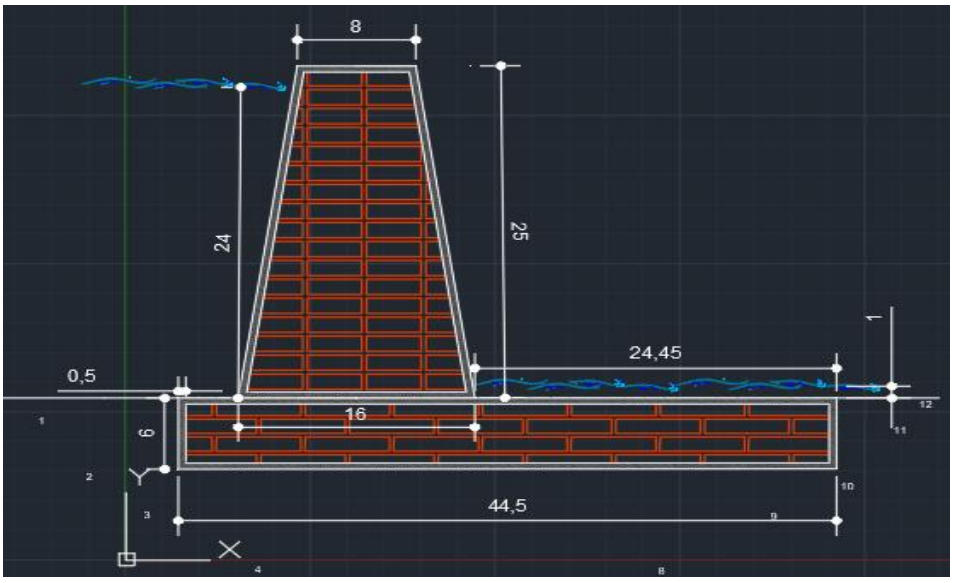
Tabla XXXV. **Centro de gravedad y resultante de fuerza bajo la presa**

Componente	**A, ton/mt**	**Ẍ**	**ȳ**	**ẌA*ton-mt**	**ȳA*ton-mt**
Rectángulo	10.36*44.5 =461.02	22.25	18.63	10,257.695	8,588.80
Triangulo	13.45*44.5/2 =299.26	14.83	8.96	4,438.025	2,683.3646
	ΣA=760.28			ΣẌA=14,695.72	ΣȳA=11,272.16

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Ẍ=14,695.72/760.28= 19.32 mt; ȳ=11,272.16/760.28=14.8263. En las coordenadas (19.32, 14.82) se encuentra el centro de gravedad del trapecio donde estará aplicada la fuerza de 760.28 toneladas.

Figura 46. **Sección de presa acotada**



Fuente: elaboración propia, realizado en el Autocard.

La sección de esta presa de gravedad de concreto está formada por rectángulos de 3x3x0.5 mts., fundiciones por bloques, recubierto con una capa de concreto armado en todo su perímetro, cimentado sobre roca y el nivel impermeable, está a 4 mts., bajo el cimiento, las fuerzas que estarán aplicadas sobre la presa serán los sedimentos.

El empuje horizontal de los sedimentos puede ser asumido como un fluido equivalente con 1,400 kg por metro cúbico, mientras la presión vertical es determinada asumiendo que los sedimentos son un suelo húmedo con densidad de 1,925 kg por metro cúbico. (AGIES NSE-5.1, 2018, p. 31)

Todas las fuerzas actuantes sobre la presa se determinarán, peso propio, empujes hidráulicos, sismo y sedimentos, que se describen en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. **Fuerzas actuales sobre presa**

Descripción	**Medidas (m)**	**W¹c concreto**	**unidad**
Cimiento	44.5*6*1	640.8	tonelada
Núcleo central cortina	8*25*1	480 ton	
Triángulos en cortina (2)	4*25/2+4*25/2	120+120=240	tonelada
		ΣWc= 1,360.8	tonelada
Peso de agua	4*24*1	96	tonelada
Peso de agua	4x24/2	48	tonelada
Sismo vertical=0.1212	=0.1212*1,360.8	165.05	tonelada
Sedimento vertical, h=4m, $F=h^2*\gamma^2sat/2$	$4^2*1,925/2$	15.4	tonelada
Subpresión	760.28	760.28	tonelada
Fuerzas horizontales			
$Ww=h^2*\gamma^3w/2$	$24^2*1000/2$	288	toneladas

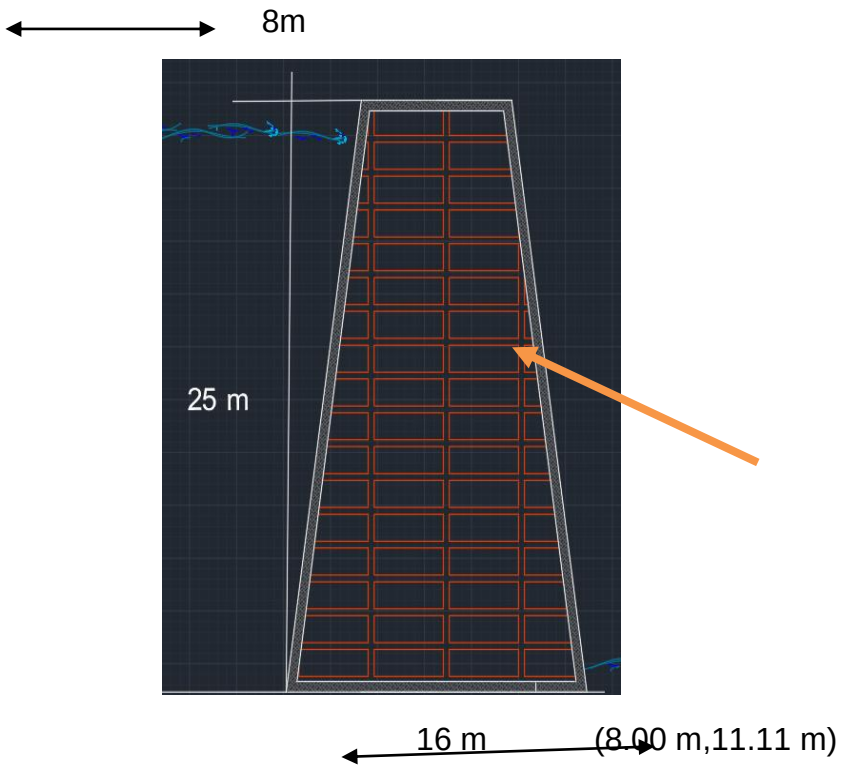
Continuación tabla XXXVI.

Pex, sismo sobre cortina=0.1132096*W	=0.1132096*1360.8	154.055	toneladas
Pew, sismo incremento y decremento de agua sobre cortina= 0.06603893γ^3 w*h^2	0.06603893*1000*4^ 2	1.0566	tonelada
Sedimento horizontal, h=4 m, F=h^2*γ^usedh/2	16*1400/2	11.2	toneladas
Descripción	Medidas (m)	W¹c concreto	Unidad
W¹c, peso específico concreto 4,000psi	2,400 kg/m3		
γ^2sat, sedimento saturado	1,925kg/m3		
γ^3w, peso específico agua	1000kg/m3		
γ^u, peso específico sedimento horizontal	1,400 kg/m3		

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Localización de centro de gravedad de cortina.

Figura 47. **Centro de gravedad de cortina de presa de gravedad**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

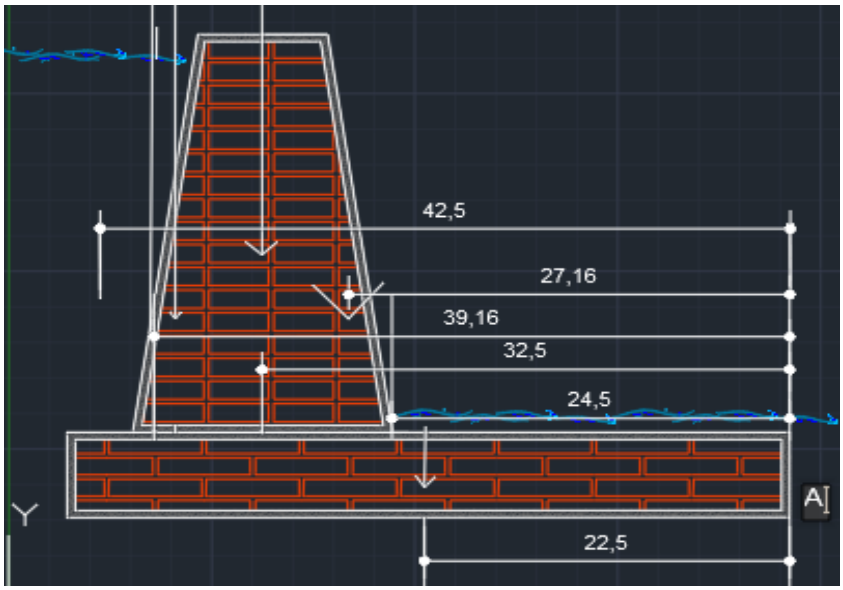
Tabla XXXVII. **Centro de gravedad de presa de concreto**

Configuración	Dimensiones m	Área m²	Ẍ	ȳ	A*Ẍ,	A*ȳ
Rectángulo	25*8	200	8	12.5	1600	2500
Triangulo 1	25*4/2	50	2.66	8.33	133.3	416.5
Triangulo 2	25*4/2	50	13.33	8.33	666.65	416.5
		Σ300 m²			Σ2,399.95	Σ3,333

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Ẍ=2399.95/300= 7.9999= 8m, ȳ=3,333/300= 11.11m, el centro de gravedad de la cortina está en la coordenada (8.00, 11.11).

Figura 48. **Distancia a los centroides donde se aplica la carga W**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

Tabla XXXVIII. **Momentos resistentes, desde punto A**

Descripción	Pesow, tonelada	Distancia (m)	Momento,Ton-m
Cimiento	640.8	22.5	14,418
Núcleo cortina	480	32.5	15,600
Triangulo cortina 1	120	27.16	3,259.20
Triangulo cortina 2	120	37.83	4,539.6

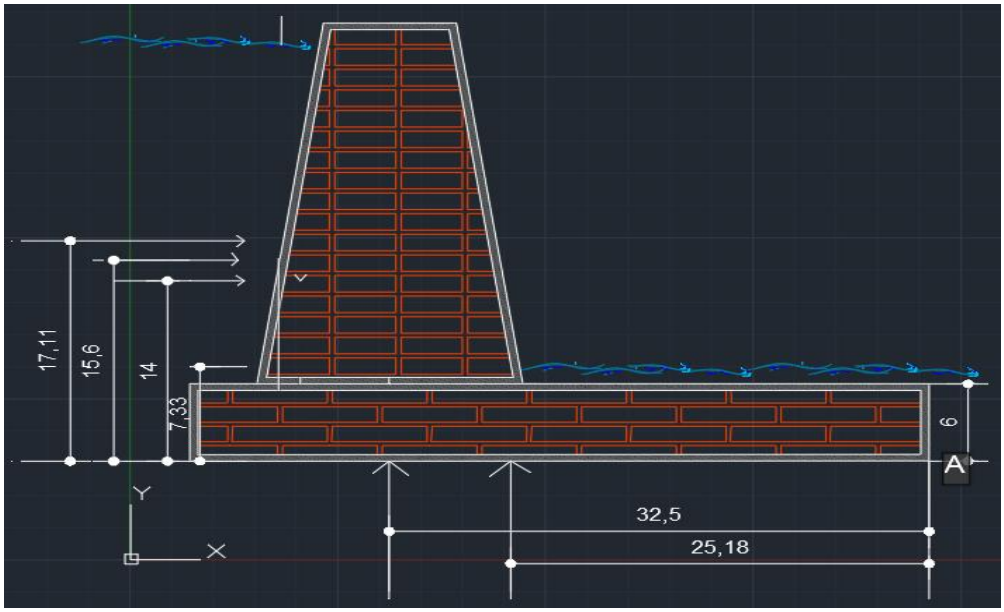
Continuación tabla XXXVIII.

Peso de agua	96	42.5	4,080
Peso de agua	48	39.16	1,879.968
Sedimento vertical	15.4	41.83	644.18
			ΣMR=44,420.948

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Se procede a calcular los momentos actuantes, las fuerzas que podrían provocar el volcamiento de la presa.

Figura 49. **Momentos actuales desde punto A**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

Tabla XXXIX. **Momentos actuales desde el punto A**

Descripción	Fuerza actuante, tonelada	Distancia (m)	Momento, ton-m
Sismo vertical	165.05	32.5	5,364.125
Subpresión	760.28	25.18	19,143.85
Presión de agua sobre cortina	288	14	4,032
Pew, incremento decremento de agua sobre cortina por sismo	1.0566	15.60	16.4829
Descripción	**Fuerza actuante, tonelada**	**Distancia (m)**	**Momento, ton-m**
Pex, fuerza sísmica horizontal	154.055	17.11	2,635.88
Sedimento junto a cortina, 4m	11.2	7.33	80.77
	ΣMa= 31,273.1029		

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

Con base a los Momentos Resistentes y los Momentos Actuantes se calculará el factor de volteo.

FV= ΣMr/ΣMa=44,420.948/31,274.46=**1.42.**

Esto indica que nuestro factor de volteo está correcto, para cimentaciones en roca sana o inyectada y con anclajes del cimiento hacia la roca está establecido que el factor de volteo debe estar entre 1-1.5.

Coeficiente contra el deslizamiento, tenemos la siguiente tabla sobre los factores usados para los coeficientes de deslizamiento, también el factor fs de volteo.

Tabla XL. **Coeficiente de deslizamiento para las diferentes condicione de la cimentación**

Materia	Coeficiente de seguridad contra deslizamientos	Coeficiente mínimo de seguridad que se sugiere, fs	Coeficiente de rozamiento y corte
Concreto sobre concreto	0.65-0.80	1- 1.5	4
Concreto sobre roca profunda, superficie limpia e irregular	0.80	1- 1.5	4
Concreto sobre roca, algunas laminaciones	0.70	1- 1.5	4
Concreto sobre grava y algunas arenas gruesas	0.40	2.5	-
Concreto sobre arena	0.30	2.5	-
Concreto sobre esquisitos	0.30	2.5	-
Concreto sobre limo y arcilla	*	2.5	-

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

La presa de este documento de investigación, esta cimentada sobre roca y a una profundidad de 6m, su categoría entonces estaría en concreto sobre roca profunda, con factores de deslizamiento 0.80 y factor fs (volteo) 1-1.5, se verá si se cumple con el factor de deslizamiento, el factor de volteo cumple según está tabla.

El peso de toda la estructura se multiplicará por el factor 0.8 de deslizamiento, dividido dentro de las fuerzas horizontales y nos determinará si cumple con no deslizarse.

ΣFv= 1,520,20 ton – 760.28 ton (fuerza de subpresión) =759.92 ton ΣFh=454.31 ton.

Está considerada la fuerza horizontal del sismo, el factor de deslizamiento quedará así: Coeficiente de deslizamiento = 759.92*0.80/454.31= 607.936/454.31=1.33.

En resumen, se tiene los dos factores que nos indican que la presa de gravedad de concreto, con una altura de 25 mts., y un embalse de 24 mts., de altura, no sufrirá volteo ni se deslizará, por los siguientes valores:

Factor de volteo= Fv= 1.42
Coeficiente de deslizamiento**=** 1.33

Se considera como presa mediana superior a 15 mts., y menor a 29 mts., a por lo tanto esta presa de gravedad de concreto es una presa mediana.

No se consideró cálculos de soporte del suelo porque se cimento en roca profunda, considerado en los estudios geotécnicos.

La presa se consideró con un recubrimiento o piel de 50 cm de grosor en todo su perímetro, estos armados en fundiciones masivas, se utiliza el acero mínimo indicado y según ACI318-05 (1996), indica que “en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera esfuerzo de tracción excepto en lo establecido en 10.5.2, 10.5.3 y 10.5.4, el As proporcionado de debe ser menor que el obtenido…” (p. 131).

Ecuación 22

As, min= f’c^1/2*bw*d/(4*fy)

Ecuación 23

Pero no menor 1.4*bw*d/fy

Donde:

f’c= 281kg/cm2

bw= 100 cm

d=43 cm

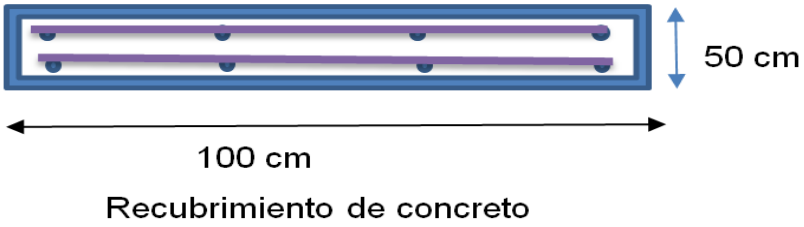
fy= 4227 kg/cm2

Sustituyendo en la fórmula As, min = f’c^1/2*bw*d/(4*fy) = 281^1/2*100*43/(4*4227) = 4.263 cm2.

Y en formula 1.4*100*43/4227= 1.42 cm2, se usará el mayor acero, 4.263 cm.

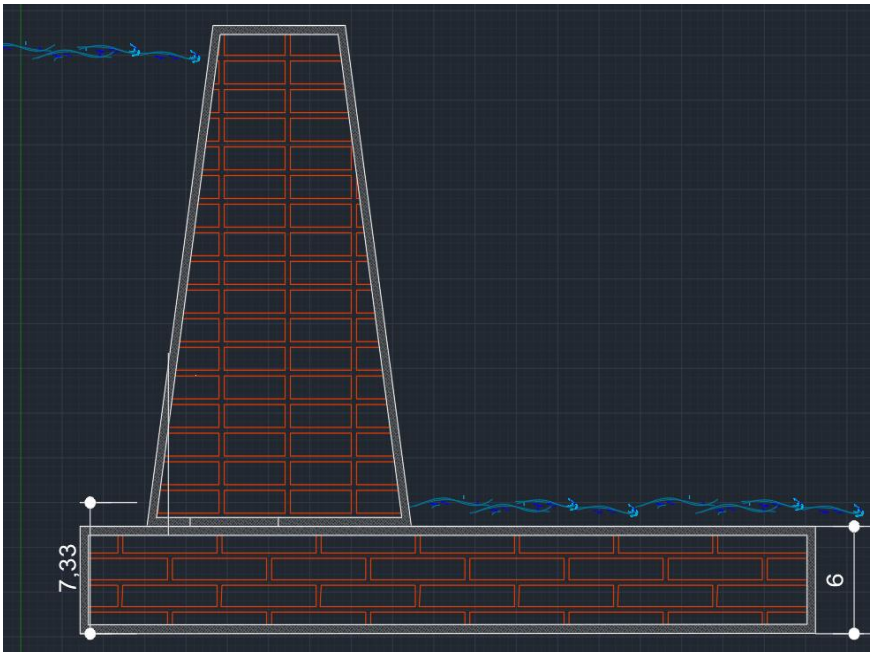
Área # 4= (0.5*2,54) *3.1416/4=1.266 cm2, 4#4= se usarán 4#4 superior @ 25 cm a/s e inferior, como acero para evitar grietas tanto de tracción como de flexión.

Figura 50. **Sección de recubrimiento de presa**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

Figura 51. **Elaboración con el recubrimiento de concreto perimetral en cotina y cimiento**



Fuente: elaboración propia, realizado en Autocard.

En relación a la resistencia del concreto usado tenemos que para las presas de gravedad no se necesita usar alta capacidad a compresión como se usa en otras estructuras en las que es común usar f'c = 210 kg/cm^2 o f'c = 281kg/cm^2, en las presas de gravedad se requiere una resistencia baja que está en 2.0 a 3.0 Meganewton/m2, (1 Meganewton/m2 = 10.1972kg/cm2, entonces resulta que se debe usar un concreto con su valor más alto = 3* 10.1972 kg/cm2, nos da 30.5916 kg/cm2, esta afirmación es la que se expone.

Los esfuerzos de compresión en una presa de gravedad por las cargas primarias son muy bajos, rara vez exceden 2.0-3.0 Mn m^-2, excepto en las estructuras más grandes. No obstante, se recomienda un factor Fc, con respecto a la resistencia de la compresión mínima especificada en el concreto, бc; Fc> = 3, es un criterio común, aunque rara vez crítico. Algunas autoridades (USBR, 1976) relacionan los valores recomendados de Fc con la combinación de cargas aplicadas, pero la califican en términos de máximo absoluto como se muestra en la tabla 3.9. (Novak, et all, 2001, p. 117)

Tabla XLI. **Combinación de carga factor de segundo mínimo a la resistencia a compresión**

	Fc (concreto)	**Fᵬ (Roca)**
Normal	3.0($б_{max}$<10Mn/m2)[a]	4.0
Inusual	2.0($б_{max}$<15Mn/m2)[a]	2.7
Extrema	1.0	1.3
[a] $б_{max}$ es el esfuerzo de compresión máximo permisible		
Tabla 3.9 (Novak, 2001, p. 117)		

Fuente: elaboración propia, realizado en Word.

La resistencia baja a compresión requerida por el concreto de presas de gravedad de altura mediana nos explica así Novak *et al.* 2001 “Los paramentos aguas arriba y aguas abajo son planos con corte cero y, por consiguiente, planos de esfuerzo principal” (p.107).

La afirmación anterior explica que los esfuerzos cortantes producidas por el agua es cero y por consiguiente el único esfuerzo es la presión del agua sobre el paramento o muro inclinado de la presa, si el peso del agua es de 1000 kg/m^3, si se multiplica por un ancho unitario de 1m, 1000kg/m^2 es igual a 0.10 kg/cm^2, es decir que este es el esfuerzo del agua sobre el concreto. Como un factor de seguridad se aplica la siguiente ecuación de esfuerzo mínimo que debe haber en una presa.

Ecuación 24

$$Б_{min} = (k_{d'} * Ɣ_{w} z * - б'_{t}) / F'_{t}$$

Donde:

$K_{d'}$ = factor de drenaje, si es efectivo $k_{d'} = 0.4$, $k_{d'} = 1.0$, si no hay drenes presentes, $б'_{t}$ es la resistencia a tensión del concreto, como no debe existir tracción este valor se puede tomar como cero

$Ɣ_{w}z$= el peso específico del agua sobre el paramento arriba

F'_{t}= es el factor de carga según la combinación de carga

Esta es la ecuación que define el esfuerzo mínimo sobre el concreto del paramento aguas arriba del concreto.

Por factores de seguridad la mayoría de las presas utilizan un concreto de 180 kg/cm^2, dividiéndole en un factor de 1.6 dando el siguiente valor, 180

kg/cm^2/1.6= 112.5 kg/cm^2, este es el valor tomado en el cálculo de esta presa de gravedad.

En cuanto al deslizamiento nos indica Novak *et all*. 2001 "$F_{ss,}$ puede definirse como la relación de la suma de todas componentes de las fuerzas horizontales ΣH, con relación a la suma de todas las fuerzas verticales, ΣV, en el plano considerado, es decir para un plano horizontal". (p.107).

Ecuación 25

$$F_{ss}= \Sigma H/ \Sigma V$$

Es el caso del cálculo de esta presa, se consideró su cimentación horizontal, sigue indicando Novak *et all*. 2001 "No se debe permitir que F_{ss}, exceda 0.75 para la combinación de cargas normales especificada en un concreto bien construido" (p.108). Otros autores como colocan la ecuación 25 como fs= ΣV*0.80/ ΣH y que su valor este entre 1.25 y 1.50, en este cálculo nos dio un valor ya determinado en la página 136 de este documento, un valor de 1. 33, con Novak, el valor F_{ss}, no debe ser mayor que 0.75, ingresando los valores calculados en esta ecuación es, $F_{ss=}$ ΣH/ ΣV= 454.31 ton/759.92 ton= 0.5978, <0.75, en ambas ecuaciones se cumple con lo establecido respecto al deslizamiento.

CONCLUSIONES

1. El presente documento de tesis ha hecho un recorrido histórico y actual de las presas, construidas por diversas culturas en el mundo, usando los materiales disponibles y con las herramientas que tenían a su disposición en esas épocas hasta llegar a la actualidad con todos los avances en conocimiento y tecnología. Los antecedentes históricos confirman que ha sido una necesidad constante el aprovechamiento de los recursos hídricos en el pasado y sigue vigente en la actualidad y futuro. También se investigaron y se documentó cada uno de los pasos a seguir para seleccionar las áreas optimas donde sería factible realizar una presa, ya sea para embalse, para riego, consumo humano o generación de energía eléctrica, esto sería determinado por los estudios de factibilidad y de las diversas diciplinas técnicas que se involucran en la construcción de una presa.

2. Se determino las condiciones que debe tener una cuenca hidrográfica para la ubicación de un proyecto de presa, se indicó el estudio que debe hacerse para la evaluación de las entradas de caudal y las salidas de agua que habrá según sea la naturaleza del proyecto, también se determinó que el estudio de estos volúmenes determinará la altura de la cortina de la presa. Se definió en el estudio de la cuenca que es un caudal ecológico el fin que se persigue con dejar este caudal libre y que no sea utilizado en los volúmenes de la presa ya sea para agua potable, riego o generación eléctrica. Se hizo énfasis en tomar muy en cuenta la conservación de la ecología de todo lo que abarca el área que ocupara la presa y sus

alrededores, el volumen de agua que almacenara y mantener siempre en lo posible la reforestación de todas las áreas que sean posibles de utilizar para este fin.

3. Se definieron cada uno de los tipos de presa que existen y que se ha utilizado y se siguen utilizando, desde las presas de tierra hechas con material del lugar, las presas de gravedad y de concreto, las presas de concreto con contrafuertes y las más utilizadas para presas de gran altura, presas de concreto de arco. En cada una de estas presas se definió como estructuralmente resisten el empuje de agua y otras fuerzas que actúan sobre una cortina de concreto. En cuanto a cada tipo de presa realizada se investigó que parámetros se usan y que ciencias y profesiones deben participar en los estudios previos de estos proyectos, Geólogos, Geotécnicos, Ingenieros en Hidráulica, Ingenieros Civiles, Ingenieros Estructurales, así como conservadores del medio ambiente, se hizo énfasis en que en los estudios geológicos no se debe tener limitaciones económicas ya que la falla de una presa generalmente se da por fallas geológicas, mala evaluación de las rocas donde se cimentara y el costo de una obra de presa que tenga falla es muy alta y no se puede considerar reparaciones porque el costo de subsanar fallas es más alto que hacer el proyecto.

4. Un factor muy importante que se determinó en el proceso constructivo es que las presas de gravedad, debe trabajar toda su estructura a compresión se debe eliminar toda tracción en la estructura por tal razón los bloques de concreto que componen la presa no llevan acero, únicamente llevan acero las estructuras secundarias como drenes, galerías y canales, las fundiciones se hacen en bloques sin conexiones entre ellas deben estar separadas y sus uniones van selladas con una membrana llamada *Water*

Stop, material elástico y los espacios se llenan con *graut.*

5. Otro factor a tomar en cuenta es que las presas de gravedad, de mediana altura no necesita alta resistencia a compresión, los valores determinados máximos llegan a 30.59 kg/cm2, por factores descritos de seguridad se toma un valor de 112.5 kg/cm2, tabla ya ubicada en la página 158.

6. Se investigo las diversas técnicas que se usan para el desvió de ríos y lograr trabajar en el lecho del cauce, se investigó que el movimiento de maquinaria comienza en los laterales de las cuencas y posteriormente en el lecho seco del rio cuando este ya vacío, previamente el río ha sido desviado ya sea hacia un nuevo cause, lo más alejado posible de las obras o hacia un túnel, esto lo determina la forma de la cuenca, si la presa esta entre una altura de 5 mts a 15 mts y las condiciones del lugar permiten que se encause el rio a la mitad de su lecho, puede ser una reducción alta en costo, construir la mitad de la presa con sus instalaciones y luego desviar el río hacia canales ya construidos, mientras se hace la parte restante de la presa.

7. En cuanto al proceso constructivo se determinó que es fundamental que los estudios geológicos cubran no solo el lugar del embalse y presa si no también las fallas que puedan existir en los accesos a la obra y los lugares de extracción de material, si los estudios geológicos determinan que son óptimos los materiales del lugar y se pueden utilizar, roca, gravas y arena. Las áreas de oficinas, bodegas de materiales y centros de pruebas de materiales deben estar en óptimas condiciones, si la naturaleza del proyecto es de gran magnitud, es necesario dotar de dormitorios al personal que laborara en diversos turnos. Se determino que siempre debe haber un equipo de contingencia para cualquier accidente o falla tanto en

la presa como en sus alrededores debe ser un factor de mitigación para cualquier eventualidad.

8. Según lo investigado una mitología de construcción de presas para nuestra región seria utilizar las presas de gravedad de concreto, que pueden ser menores a 15 mts., de altura su cortina de embalse, manejando estas presas consideradas pequeñas, se puede bajar los costos en el desvió de los ríos ya que se puede trabajar la mitad de la presa y encausar el rio solo en la mitad de su cuenca y construirlas en 2 partes, siempre que la topografía y estudios geológicos los avalen. Generalmente en este tipo de presas no hay necesidad de movilización de comunidades ni alteración significativa del entorno del medio ambiente. Presas con altura de 5 mts., como la Presa de Mezapa en Honduras, el caudal que recibe es de 3 m3/seg., potencia instalada de 8.8 MW y produce una energía de 42 GW al año, (1GW= mil millones de vatios), el salto bruto o caída está en 378 mts., de altura y el neto en 348 mts., es adecuado para la topografía montañosa de Guatemala. Se concluye que esta puede ser solución energética y suministro de agua en diversos lugares de la República.

RECOMENDACIONES

1. Es importante que se utilice los medios utilizados en la construcción de presas de acuerdo a los antecedentes históricos y evaluar lo positivo y negativo que ha representado este tipo de obras en el mundo, en cuanto control de inundaciones, aprovechamiento de aguas de lluvia que no se escurran hacia el mar, la mayor parte, y la generación de energía eléctrica tan fundamental para el progreso y desarrollo de las naciones.

2. De acuerdo al estudio realizado en las presentes tesis se determinaron medidas, diseños, estructura, estudio de ubicación en la construcción de una presa entre otros, que permiten ayudar y apoyar al análisis de la creación y construcción de futuras presas, ya que no hay mucha información al respecto tomando las recomendaciones y planteamientos sobre las presas, al no existir mucha información al respecto.

3. El estudio de profesiones tan unidas a la Ingeniería civil, como Geología, Geotecnia e Hidrología, debe recalcarse siempre ya que van unidas al desarrollo de grandes y pequeñas presas, todo el diseño estructural, será optimo y de gran calidad si están unidas a conocimientos aplicados de estas diciplinas en las cuencas de los ríos, la ubicación optima de estas áreas se determinarán si es factible o no desarrollar este tipo de proyectos.

4. Dentro del tipo de presas que serán factibles de hacer, se deben basar en el suministro que será capaz de proporcionar los ríos de las cuencas,

y en el suministro que dará a lo proyectado. Así se podrá definir el tipo de presa, si su altura es pequeña < 15 mts., o mediana < 29, podrá ser una presa de gravedad de concreto, si sobrepasa los 30 mts., su altura, por lo económico y la tipología de la cuenca se podrá utilizar una presa de concreto de arco, esto para presas de gran altura y caudales mayores. Estos serán uno de los parámetros a tomar en cuenta.

5. Una de las reducciones mayores que se puede hacer en el desarrollo de una presa es las obras provisionales para el desvió de los ríos, ya que el costo de estas desviaciones, algunas veces alcanzan casi el costo del proyecto, se cuida que inundaciones imprevistas no lleguen a las obras y causen daños irreparables. Por lo tanto, se debe ver que, en el desarrollo de una presa, se pueda utilizar la mitad del río, haciendo su cauce de agua solo en la mitad de su cuenca y la otra parte trabajarla, el costo de su desvió no será tan alto y el río seguiría en su cauce natural. Esta recomendación es para presas de pequeñas a medianas.

6. En cuanto al proceso constructivo se recomienda que los estudios geológicos cubran todas las áreas de acceso a las obras, acceso a fuentes de materiales y accesos rápidos en casos de emergencia, es fundamental que en el proceso constructivo siempre haya presente un equipo de prevención de desastres pequeños y grandes para su mitigación inmediata, tanto aguas arriba, antes de la presa, como en aguas abajo, después de la presa.

7. En cuanto al proceso constructivo se recomienda que los estudios geológicos cubran todas las áreas de acceso a las obras, acceso a fuentes de materiales y accesos rápidos en casos de emergencia, es fundamental que en el proceso constructivo siempre haya presente un

equipo de prevención de desastres pequeños y grandes para su mitigación inmediata, tanto aguas arriba, antes de la presa, como en aguas abajo, después de la presa.

8. Para nuestro país, Guatemala, es recomendable la construcción de presas pequeñas y grandes, por la tipología del país y el aprovechamiento de los ríos deberían ser para las comunidades de esos lugares, estas poblaciones deberían manejar y administrar la energía generadas por las presas asi los beneficios serian directos hacia ellos y tendrían la responsabilidad de cuidar el entorno ecológico, reforestación y cuidados de la vida silvestre en esos lugares. Por lo tanto, se debe proceder a tener profesionales con conceptos claros de la construcción de presas.

REFERENCIAS

1. Academia Nacional de Ciencia (2007). *Embalses o reservorios*. *Apenas está comenzado*. Recuperado de https://cutt.ly/GE2WqEI.

2. American Concrete Institute (1996). *Hormigón en masa*. Informado por el *Comité 207 de ACI*. Recuperado de https://cutt.ly/MTqSE1b.

3. Agencia EFE. (2019). *En Centroamérica la gestión del agua es un asunto que Apenas está comenzado*. Recuperado de https://cutt.ly/wEIv5AG.

4. Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica. (2018*). Dujiangyan, el Sistema de riego más antiguo del mundo*. Recuperado de https://cutt.ly/1EIIuOI.

5. Amador, Á. (2020*). Principales tipos de presas y su clasificación.* Recuperado de https://cutt.ly/KEIBdn7.

6. Anderson, E. (2013*). Desarrollo hidroeléctrico y servicios ecosistémicos en Centroamérica*. Recuperado de https://cutt.ly/tEEGVEH.

7. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), *(2018). Normas de Seguridad Estructural 2018* Recuperado de https://cutt.ly/oTqS5iw.

8. Admin. (2019) *La presa del Purrón de Coxctlan Puebla, Marca el inicio de*

la agricultura de riego en Mesoamérica. Diario El Uno. Recuperado de https://cutt.ly/2EIOQjT.

9. AGIES (2018) Demandas Estructuras y Condiciones. Páginas 32-39. Recuperado el 12 de agosto 2021 de https://www.agies.org/bibliotecas/.

10. AGIES (2018) Presas de Tamaño y Altura Limitados. Páginas 33-36. Recuperado el 12 de agosto 2021 de https://www.agies.org/bibliotecas/.

11. Cancho, J. (2010). *Aplicación del programa ANSYS para los análisis de Estabilidad y estados de esfuerzos en presas de gravedad de concreto* Recuperado de: https://cutt.ly/DRFf2CX.

12. Castillo, G. (2019). *Apuntes de procesos constructivos II parte II*. Recuperado de https://cutt.ly/9RHSj33.

13. Castro, M. (2012). *Descubren una presa hitita de 3250 años de antigüedad*. Recuperado de: https://cutt.ly/3EIQ9Nl.

14. Cimentaciones y excavaciones en presa (s.f.). Recuperado de: https://cutt.ly/BRHKC2L.

15. Diseño hidrológico para embalses (2021). Recuperado de: https://cutt.ly/FRfTpbu.

16. Escorrentía (s.f.). Recuperado de: https://cutt.ly/uE2WziT.

17. Estado Plurinacional de Bolivia. Ministerio de Relaciones Exteriores (2010). *El vivir bien como respuesta a la crisis global*. Recuperado de: https://cutt.ly/WRgDFIt.

18. Flores, J. (1970). *Estudios hidrológicos necesarios para el diseño de presas pequeñas*. Recuperado de: https://cutt.ly/aRdUp3P.

19. Flórez, V. (2017). *Presas de gravedad. Tipologías clásicas y esquema resistente*. Recuperado de https://cutt.ly/IRdfv4z

20. Flórez, V. (2018). *Presas arco*. *Tipologías y sistema estructural.* Recuperado de: https://cutt.ly/jRdkF3L.

21. Fundación Endesa (2013). *Funcionamiento de una central hidroeléctrica* Recuperado de: https://cutt.ly/qRfMCDE.

22. García, J. (2016). Los embalses y presas más antiguos de Europa: Prospina, Cornalvo y Arguis. Recuperado de: https://cutt.ly/eEIWFxA.

23. González, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. Recuperado de: https://cutt.ly/jRdY7e6.

24. IBERISA. (2021). NX Nastran. Recuperado de: https://cutt.ly/eRF8M9Z.

25. Instituto Nacional de Electrificación (INDE). (2020). Chixoy: el proyecto hidroeléctrico, más grande de Guatemala. Recuperado de: https://cutt.ly/0E2mTJR

26. Locken. (2017). El agua en la historia de la civilización del hombre.

Recuperado de: https://cutt.ly/3EIYI2v.

27. Los hititas se adelantaron a su tiempo en la construcción de presas. (2012). Recuperado de: https://cutt.ly/GEIbLkD.

28. Llorente, F. (2020). Los embalses más antiguos de España y del mundo. Recuperado de: https://cutt.ly/TEEj5na.

29. Mateo, R. (2020). Tipos de Presas I: presas de fábrica. Recuperado de: https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas.

30. Morfometría (s.f.). Planes y Programas. Recuperado de: https://www.cvc.gov.co

31. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO), (2021). AQUASTAT- Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura. Recuperado de: https://cutt.ly/CRdU1Hi.

32. Paredes, A. (2015). Aspectos geológicos y geotécnicos en la seguridad de presas. Recuperado de: https://cutt.ly/DRdPYoI.

33. Pérez, J. (1994). Esfuerzos inducidos empresas arco-gravedad en operación por la acción térmica medioambiental: una aportación a su análisis y evaluación. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de: https://cutt.ly/jEEBkbK.

34. Presas de gravedad. Tipologías clásicas y esquema resistente. (2017). Recuperado de: https://cutt.ly/OE2Qsmz.

35. Presas o represas. (s.f.) Recuperado de: https://cutt.ly/eE2WOar.

36. Presas y sus obras hidráulicas. (s.f.) Recuperado de: https://cutt.ly/HRdPCH6.

37. Roca, J. (07 de julio de 2021). La AIE pide una revisión de la política hidroeléctrica para lograr crero neto para 2050. El periódico de la energía. Recuperado de: https://cutt.ly/2E2Qtvm.

38. Roca, J. (15 de julio de 2021). Las 10 hidroeléctricas más grandes del Mundo. El periódico de la energía. Recuperado de: https://cutt.ly/2E2Qtvm.

39. Rull, E. (2019). De donde obtendremos el agua en el futuro. Recuperado de: https://cutt.ly/tERwZshSalazar, D. (2016). Estos son los países de Centroamérica con la generación de electricidad más sucia. Recuperado de: https://cutt.ly/FEIchg9.

40. Sandoval, W. (2012). Presas de tierra y enroscamiento. Recuperado de: https://cutt.ly/zEIJifC

41. Sarmiento, C. (2009). Manual de requisitos y estudios necesarios para la construcción de una presa (Tesis de grado, Universidad Nacional de Santander). Recuperado de: https://cutt.ly/zRdOfIc.

42. Servicio Geológico Mexicano (2017). Rocas metamórficas. Recuperado de: https://cutt.ly/8TqSJbO.

43. Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). (2018). El 75 % de la energía en Centroamérica proviene de fuentes renovables. Recuperado de: https://cutt.ly/YEReHW0.

44. Universidad Rafael Landívar. (2005). Situación del Recurso Hídrico en Guatemala. Recuperado de: https://cutt.ly/OEA6Izh.

45. Uribe, L. (s.f.). Características del diseño y construcción de la presa Ralco en Chile. Recuperado de https://cutt.ly/iRD1fmu.

46. Valdivielso, A. (2021). ¿Qué tipos de presa hay?. Recuperado de: https://cutt.ly/nRdUfAi.

47. Yepes, V. (2020). Contención de aguas mediante ataguías. Recuperado de: https://cutt.ly/3RHADNp.