

Construcción de Presas: Avances, Desafíos y su Influencia en la Ingeniería Civil

Autor

Jose Luis Araujo Bermúdez

COD 1062403594



Monografía para Optar Por el Título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Civil Luis Fernel Viracacha Quintero

Universidad de Pamplona.

Facultad de Ingenierías y Arquitecturas.

Programa de Ingeniería civil.

Pamplona – Norte de Santander.

2024-2

Construcción de Presas: Avances, Desafíos y su Influencia en la Ingeniería Civil

Autor

Jose Luis Araujo Bermúdez

COD: 1062403594



Monografía para Optar Por el Título de Ingeniero Civil

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitecturas

Programa de Ingeniería civil

Pamplona – Norte de Santander

2024-2

Este mensaje lo dedico en primer lugar a Dios,
a mis padres por su amor infinito, por las noches
de desvelo pensando en mi futuro. Ellos no solo
me han brindado amor y apoyo incondicional a
lo largo de mi vida, sino que son la fuente de
inspiración que me impulsa a superarme al
máximo y a perseverar en la búsqueda de mis
metas.

Jose Luis Araujo Bermúdez

Agradecimientos

Al culminar este importante proyecto, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible que este sueño se convirtiera en una realidad.

A mis padres, William Enrique Araujo Calderón (QEPD) y Rosa Emilia Bermúdez, Zuleta quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios y su fe inquebrantable en mí. Cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo me motivaron a dar lo mejor de mí, incluso en los momentos en los que quise desistir.

A mis amigos, Leiner Luis, kendy, Anderson y todos aquellos quienes compartieron conmigo alegrías, retos y desvelos. Gracias por su compañía, por sus consejos y por estar ahí, ofreciendo siempre una palabra de ánimo o una mano amiga. Cada conversación, cada momento compartido. Este logro es el resultado del esfuerzo colectivo de todos ustedes, quienes, con sus palabras, su apoyo y su cariño dejaron una huella imborrable en mi vida. A cada uno, mi más sincero agradecimiento.

Tabla de contenido

Introducción.....	12
Capítulo I: Revisión Literaria	14
Antecedentes.....	14
Objetivos.....	22
Objetivo General:	22
Objetivos Específicos	22
Alcance	23
Capítulo II: Fundamentos teóricos y conceptuales.....	24
Mecánica de suelos	24
Suelos arcillosos	25
Suelos arenosos	26
Suelos rocosos	26
Suelos mezclados.....	26
Hidráulica	27
Flujo de alcance	27
Presión	27
Capacidad de almacenamiento	27
Presa	27

Tipos de presa	28
Aspectos Legales	36
Nacionales	36
Internacional	39
Capítulo III: Análisis de Técnica de Construcción	40
Manual de diseño y Construcción de pequeñas presas	40
Etapas de un proyecto	41
Grandes Presas (Guía técnica de seguridad de presas)	44
Normas españolas	44
Clasificación según el riesgo potencial	45
Valoración del riesgo	45
Terreno y materiales	46
Recomendaciones para proyectos	47
Capítulo IV: Estudio de caso y aplicación práctica.	55
Características Generales	55
Tipo de presa y técnicas de construcción	57
Excavación del sitio	58
Desviación del río	59
Materiales	60
Generación de energía	61

Capítulo V: Innovaciones y Tendencias.....	63
Inteligencia Artificial.....	63
Sostenibilidad en Proyectos.....	73
Economía.....	75
Materiales	83
Materiales amigables con el medio	87
Transformación en la Construcción de Presas.....	87
Sistemas de Monitoreo Inteligente	88
Tecnologías Clave en la Construcción Inteligente	88
Aplicaciones Prácticas.....	88
Tendencias Futuras	89
Conclusiones.....	89
Cimentaciones	89
Metodología.....	90
Modelo ITCN	90
Resultados.....	91
Aplicación Práctica.....	91
Conclusiones.....	91
Recomendaciones	93
Conclusiones.....	96

Referencias	97
-------------------	----

Lista de Figuras

Figuras 1	<i>Presa Sadd el-Kafara</i>	14
Figuras 2	<i>Presa de Marib</i>	15
Figuras 3	<i>Presa de Hidroituango</i>	18
Figuras 4:	<i>Perfil del suelo residual (en geotecnia)</i>	25
Figuras 5	<i>Partes de una presa</i>	28
Figuras 6	<i>Presa de gravedad</i>	30
Figuras 7	<i>Presa de arco de gravedad</i>	31
Figuras 8	<i>Presa de contrafuerte</i>	32
Figuras 9	<i>Diseño Constructivo represas con relleno de tierra y enrocados</i>	33
Figuras 10	<i>Presa de enrocado</i>	34
Figuras 11	<i>Presa de materiales sueltos</i>	36
Figuras 12	<i>Elementos constructivos de una presa</i>	41
Figuras 13	<i>Presa de Hoover</i>	57
Figuras 14	<i>Tipo de presa de la obra Hoover</i>	57
Figuras 15	<i>Presa de arco de gravedad de la obra</i>	58
Figuras 16	<i>Excavación en la obra</i>	59
Figuras 17	<i>Desviación del rio</i>	59
Figuras 18	<i>Vaciado de concreto</i>	60
Figuras 19	<i>Tubos de acero</i>	61
Figuras 20	<i>Torres de carga</i>	62
Figuras 21	<i>Turbinas y generadores</i>	62

Figuras 22 <i>Monitoreo de la salud estructural de presas con cuatro tipos de métodos de predicción de respuesta.</i>	65
Figuras 23 <i>Aplicación de ML y optimización en la determinación de la forma óptima de presas</i>	67
Figuras 24 <i>Esquema del flujo de trabajo basado en BIM para consultoría de diseño de aliviaderos.</i>	68
Figuras 25 <i>Desarrollo del umbral de la envolvente 2: las proporciones de las turbinas más pequeñas y más grandes por capacidad (MW) y capacidad hidráulica (HC)</i>	73
Figuras 26 <i>Sobrecosto de las presas en comparación con otros tipos de infraestructura</i>	78
Figuras 27 <i>Proceso investigativo parte a</i>	80
Figuras 28 <i>Proceso investigativo parte b</i>	81
Figuras 29 <i>Innovaciones técnicas en las presas RFC.</i>	85

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Presas en Colombia</i>	17
Tabla 2 <i>Tipos de suelo</i>	26
Tabla 3 <i>Factores que influyen en la selección de técnicas</i>	51

(Wenxuan, Xinbin, Junjie, & Fei, 2024)

Introducción

Cuando hablamos del mundo en que vivimos y hacemos referencia a la ingeniería civil, el agua se destaca como uno de los recursos más esenciales, tanto para la supervivencia humana como para el desarrollo de infraestructuras. En este contexto, las presas han tenido una importancia histórica significativa por su capacidad para gestionar este recurso vital, y su análisis será el tema central de esta monografía

El agua dulce, un recurso finito en el planeta, representa tan solo el 2,5% del volumen total de líquidos existentes en la Tierra (Maza Álvarez, 2004). Este porcentaje limitado ha llevado a la humanidad a buscar un equilibrio entre su oferta y demanda, destacándose las presas como una solución crucial, especialmente en regiones donde este recurso es escaso. A lo largo de los años, estas estructuras han combinado disciplinas como la mecánica de suelos, la resistencia de materiales y la hidráulica para alcanzar los avances técnicos y funcionales que conocemos.

De las primeras actividades que se han desarrollado en la sociedad en cuanto a construcción son las presas, ya que su objetivo es poder contener grandes cantidades de agua para distintos tipos de usos como lo son: abastecimiento de agua, control de inundaciones, generación de energía hidroeléctrica entre otros. Sin embargo, Aunque las presas ofrecen numerosos beneficios, también pueden generar impactos negativos, como la alteración de los ecosistemas acuáticos, la fragmentación de hábitats que dificulta el movimiento de especies, particularmente las migratorias, y contribuye a la disminución de la biodiversidad, también perjudica a las especies residentes de la zona. Además, el medio ambiente también resulta afectado, debido a la pérdida de bosques en las zonas intervenidas y problemas fluviales como la retención de sedimentos y la erosión del fondo de los ríos. Estas alteraciones,

sumadas a la dificultad de restaurar las condiciones naturales originales del entorno, representan desafíos importantes que deben ser atendidos.

A medida que la tecnología avanza, la ingeniería civil debe evolucionar a la par, enfrentando retos que antes parecían imposibles. Es fundamental que las soluciones actuales consideren aspectos clave como la sostenibilidad y el cambio climático.

Esta monografía tiene como propósito analizar las construcciones de presas, explorando sus fundamentos teóricos, su evolución en el transcurrir del tiempo y su impacto a nivel social y ambiental. Asimismo, busca enriquecer el conocimiento sobre el diseño y la construcción de estas estructuras. En este trabajo se miran ciertas innovaciones desde enfoques como lo son nuevas tecnologías, cimentación, usos de materiales amigables con el medio ambiente entre otros.

Capítulo I: Revisión Literaria

Antecedentes

A lo largo de los años se han ido adoptando nuevas tecnologías y nuevos métodos para la construcción de las presas en Colombia y a lo largo de todo el mundo, pero claramente todo tiene un inicio. Las primeras evidencias científicas de la construcción de las presas se pueden identificar en tiempos remotos en donde las civilizaciones como Egipto y la india poseían estas infraestructuras teniendo en cuenta que desde su creación hay algunas que hasta la fecha siguen existiendo.

En Egipto se encuentra la que hasta el momento es la presa más antigua que se ha podido construir denominada la presa Sadd el-Kafara, en donde por ser de las primeras no fue en todo caso la más exitosa por la falta de experiencia en la construcción de la misma (Ramos Bosque , 2015). Esta tiene una característica que fue construida totalmente en piedra, siendo el material más común para la fecha con una diferencia de altura total de unos 14 metros respectivamente desde el suelo.

Figuras 1

Presa Sadd el-Kafara



Nota. Esta figura muestra la presa a través de los años. Tomada de (maikelnai, 2009)

A partir de allí las civilizaciones dieron con un sin números de creaciones y empezaron a construir múltiples presas que para su tiempo era muy importantes como por ejemplo lo fue la presa Marib para los años 750 antes de cristo en Yemen la cual tuvo la particularidad de que esta presa fue hecha con materiales sueltos en donde su principal función era poder prestar un tipo de servicio a los proyectos de irrigación cuyo altura máxima de esta presa era de 20 metros respectivamente (Ramos Bosque , 2015).

Figuras 2

Presa de Marib



Nota. Esta figura describe la presa a través de los años. Tomada de (Carvajal, 2019)

Para los primeros años de las construcciones de estas eran en diseñadas básicamente con piedras, posteriormente en el año 1865 se empezó a ver de forma mucho más compleja la forma en la que se diseñaba y ejecutaban estas obras hidráulicas para emplear estructuras en mampostería y dejando la piedra y materiales sueltos, empleándose en países como lo son estados unidos, Francia y la gran bretaña dando ese paso.

Desde el año 1930 se estaba trabajando en una ingeniería moderna para poder transformar y dejar las construcciones de presas con materiales y técnicas de mampostería

para algo que tuviera más funcionalidad y muchos más beneficios a la hora de su implementación, por lo que uno de los mayores logros a nivel de ingeniería fue la presa Hoover construida en 1935 siendo este uno de las evoluciones más icónicas para ese tiempo. Se implementaba con ello las presas de concretos por lo que se permitió la genialidad y diversidad de con esto poder ejecutar presas mucho más grandes y eficientes. Esta construcción de la presa de Hoover no solamente era la más grande, sino que con los temas de transformación de energía fue la que más energía hidroeléctrica producía, con unas características de 221 metros de alto y de por sí con una base de 201 metros de espesor, sin duda de las mejores innovaciones hasta ese año (Mendoza Valverde, 2022).

Para esta época la mecánica de suelos ya era inminente en los estudios previos para los diseños de la construcción de las presas aportando así mayores avances y optando un mejor entendimiento de los enrocados y rellenos de suelos haciendo uso de la aplicación de equipos modernos para el movimiento de suelos.

Años siguientes la implementación de otros tipos de presas como lo es el de Arco durante la época de 1960 era algo notorio, por lo que en donde se tenía condiciones no favorables para las presas de gravedad como lo son terrenos rocosos o donde fueran de perfil montañosos no era útil o era poco eficiente, por ende, las presas de Arco eran de gran envergadura para la época. Entonces en el año 1968 se dio la creación de la presa más alta de Estados Unidos, con sus 235 metros de altura, siendo para la época algo innovador no solo en las técnicas sino también con la introducción del concreto con mayor resistencia que era el premezclado, aunque a través de los años esta obra en cuanto a seguridad sufrió muchos daños (Benavente, 2017).

En Colombia se han realizado distintos tipos de presas a lo largo de los años, dependiendo su tipo de uso, material y presa en el cual podemos encontrar las siguientes:

Tabla 1

Presas en Colombia

Presa	Año	Ubicación	Tipo
Represa Del Sisga	1951	Cundinamarca	Gravedad
Central Hidroeléctrica Calderas	1987	Antioquia	Gravedad
Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá	1995	Valle Del Cauca	De Arco Y Gravedad
Central Hidroeléctrica De Betania	1981	Huila	Gravedad
Presa Patángoras	2002	Antioquia	Gravedad
Central Hidroeléctrica Alto Anchicayá	1974	Valle Del Cauca	Gravedad
Porce III	2010	Antioquia	Gravedad
La Esmeralda - Embalse De Chivor	1975	Boyacá	Gravedad
Presa Guavio – Embalse Hidroituango	1990	Cundinamarca	Gravedad
Embalse Del Guájaro	2010	Antioquia	Gravedad
Embalse La Fe	1965	Atlántico	Gravedad
Central Hidroeléctrica Calima	1973	Antioquia	Gravedad
Central Hidroeléctrica De Río Prado	1966	Valle Del Cauca	Gravedad
Central Hidroeléctrica Charquito	1971	Prado	Gravedad
Represa Urrá I	1897	Cundinamarca	Gravedad
	1997	Córdoba	Gravedad

Nota. La tabla presentada menciona alguna de las presas que se han construido a lo largo de la historia de Colombia. Tomada de (Cruz, 2020)

La generación de energía es uno de los aspectos más importantes y de mayor relevancia en los países desarrollados o subdesarrollados debido a la capacidad de proveer energía renovable, en cuanto a eso la relevancia que tienen las presas, ya que una sus

funciones es poder crear y producirla mediante la hidráulica. De acuerdo a (Morales Esguerra, 2019) en Colombia para el año 2016 del 100% de energía que se generaba entre las renovables y no renovables solamente la hidráulica tenía un porcentaje de 71%. Manejando estos valores se puede decir que en su mayoría la energía era gracias a todo lo producido hidráulicamente y todo esto gracias a la gran medida de construcciones de proyectos hidroeléctricos por su rentabilidad en los mercados y necesidades.

Siguiendo esta parte energética, entra el caso de una de las presas que más ha dado de que hablar en el país y el mundo entero que es la central hidroeléctrica de Hidroituango, el cual es un megaproyecto de los más complejos en el país por sus desafíos técnicos, todos los problemas sociales y las dificultades que ha causado desde su construcción. Este proyecto incluyó la construcción básicamente de gran presa sobre el río Cauca siendo esta de tipo de gravedad con materiales de concreto y enrocado con una altura máxima de 220 metros respectivamente sobre el lecho del río.

Figuras 3

Presa de Hidroituango



Nota. Se muestra la presa de Hidroituango que actualmente se encuentra en funcionamiento. Tomado de (El espectador, 2022).

Entonces porque es tan importante para el país se puede preguntar uno, y es que la idea principal de este proyecto es que pudiera generar alrededor de 2.400 MW, o sea casi que el 17% de toda la energía que se puede producir en el país. De acuerdo a (El Espectador, 2023) Hidroituango para el año del 2023 ya estaba generando la mitad de su diseño inicial lo cual en números representa unos 1.200 MW o sea, un 8,5% de todo el país con tan solo un proyecto. A pesar de todos sus problemas ambientales y sociales que se han podido presentar, lo determinantes que son las presas para la generación de energía y alternativas renovables son un hecho.

¿Que desafíos representa para Colombia la construcción de presas?

La construcción de presas en Colombia, a pesar de sus potenciales beneficios en términos de generación de energía hidroeléctrica, suministro de agua y control de inundaciones, se enfrenta a una serie de desafíos complejos que abarcan dimensiones económicas, sociales, ambientales y regulatorias. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada uno de estos desafíos, respaldado por evidencia científica y estudios de caso.

Desafíos Económicos

Elevados costos de inversión: La construcción de grandes presas requiere inversiones significativas en infraestructura, maquinaria y mano de obra, lo que representa una carga financiera considerable para el Estado o para las empresas privadas.

Tasas de retorno a largo plazo: Los proyectos hidroeléctricos suelen tener largos períodos de construcción y recuperación de la inversión, lo que implica una alta incertidumbre en cuanto a los beneficios económicos a largo plazo.

Fluctuaciones en los precios de la energía: Los ingresos generados por la venta de energía hidroeléctrica están sujetos a las fluctuaciones del mercado energético, lo que puede afectar la rentabilidad de los proyectos.

Desafíos Sociales

Desplazamiento de comunidades: La construcción de grandes presas implica la inundación de vastas áreas de tierra, lo que conlleva el desplazamiento forzado de comunidades locales y la pérdida de sus medios de vida tradicionales.

Conflictos socioambientales: Los proyectos hidroeléctricos suelen generar conflictos entre las comunidades locales, las empresas constructoras y los gobiernos, debido a la percepción de que los beneficios de las presas no se distribuyen equitativamente.

Impactos culturales: La construcción de presas puede tener un impacto negativo en el patrimonio cultural de las comunidades locales, al inundar sitios arqueológicos o afectar prácticas culturales ancestrales.

Desafíos Ambientales

Fragmentación de ecosistemas: La construcción de presas fragmenta los ríos y los ecosistemas acuáticos, afectando la biodiversidad y los procesos ecológicos.

Alteración de los regímenes hidrológicos: Las presas modifican los patrones naturales de flujo de los ríos, lo que puede tener consecuencias negativas para la agricultura, la pesca y los ecosistemas acuáticos.

Emisiones de gases de efecto invernadero: Los embalses de las presas pueden emitir metano, un potente gas de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático.

Sedimentación y eutrofización: La acumulación de sedimentos en los embalses puede reducir su capacidad de almacenamiento y provocar problemas de eutrofización, afectando la calidad del agua.

Marco regulatorio complejo: La regulación de los proyectos hidroeléctricos en Colombia es compleja y puede variar según la escala del proyecto y la región geográfica.

Conflictos de intereses: Los intereses de los diferentes actores involucrados en los proyectos hidroeléctricos (gobierno, empresas, comunidades) pueden generar conflictos y dificultar la aplicación de las normas ambientales y sociales.

Adaptación al cambio climático: La creciente incertidumbre asociada al cambio climático plantea nuevos desafíos para la regulación de los proyectos hidroeléctricos, ya que es necesario considerar los impactos potenciales del cambio climático en el diseño y la operación de las presas.

Objetivos

Objetivo General:

- Examinar los aspectos históricos, técnicos y ambientales de las construcciones de presas enfatizando los progresos y avances tecnológicos, metodologías de construcciones utilizadas a través de los años y su proyección a futuro.

Objetivos Específicos

- Revisar la evolución histórica de la construcción de presas desde sus orígenes hasta los avances tecnológicos modernos y futuros.
- Estudiar un caso práctico de construcción para examinar los grandes retos afrontados para la construcción de presas demostrando las lecciones aprendidas que pueden ser útiles para futuros proyectos.
- Revisar las innovaciones y tendencias en materia de la construcción de presas

Alcance

Esta monografía tiene como objetivo ofrecer un análisis sobre todos los aspectos relacionados con la construcción de presas, explorando su constante evolución, los fundamentos teóricos esenciales para su correcta construcción y las repercusiones socioeconómicas de su implementación. A partir de los primeros desarrollos en civilizaciones antiguas, se examinarán los hallazgos más relevantes que marcaron el inicio.

El enfoque teórico abordará los principios básicos que sustentan la ingeniería de presas, incluyendo aspectos clave como la hidráulica, la mecánica de suelos, la geotecnia y la resistencia de materiales. Se demostrará cómo ha evolucionado el conocimiento a lo largo del tiempo, los avances en los materiales utilizados en su construcción, y cómo estos proyectos contribuyen a la generación de energía y generan impactos positivos en diversos sectores. Asimismo, se analizarán los distintos tipos de presas que existen

Para ilustrar de manera clara y accesible estos principios y métodos, se incluye un estudio de caso que profundiza en la elaboración y construcción de una presa. Este análisis permitirá conocer a fondo los problemas que pueden surgir en la construcción de una obra de gran importancia, y los efectos que pueden generar en las sociedades, incluidos los impactos sobre los ecosistemas. Además, se observarán las innovaciones más recientes de las presas.

Capítulo II: Fundamentos teóricos y conceptuales

Para la elaboración tanto de los diseños previos como definitivos y posteriormente la construcción de las presas se requiere de poder comprender profundamente de la diversas teorías y principios de toda la ingeniería como tal ya que no solamente permiten un diseño que pueda prever una estructura que brinde seguridad sino también se pueda garantizar al máximo una eficiencia y eficacia en la producción y gestión del agua que en este caso es el pilar dando así generación de energía y salvaguardar la vida con la protección de inundaciones o cualquier tipo de incidencias que se puedan presentar para poner en riesgo la vida humana. Por eso la importancia de hacer hincapié en las siguientes disciplinas que son tenidas en cuenta para el contexto de las presas.

Mecánica de suelos

Claramente el suelo es el material de construcción más abundante dentro de la práctica de la ingeniería civil por lo que se usan en las estructuras como lo pueden ser vías, edificaciones, canales, rellenos, presas en otre otras. Por eso la necesidad de estudiar la fundamentación de los suelos desde diferentes perspectivas y necesidades para que puedan ser empleadas en la ingeniería.

La mecánica de suelo es una rama de la ingeniería geotécnica que estudia las propiedades y todo lo referente al comportamiento de los suelos bajo distintas y diferentes cargas. Esta también brinda la herramienta de poder solucionar muchos problemas de esta ingeniería de suelos (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

La mecánica de suelos también se aplica la hidráulica, con ella el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural y la estructura del suelo puede darse en diferentes maneras como podemos ver en la siguiente figura.

Figuras 4:

Perfil del suelo residual (en geotecnia).

MECÁNICA DE SUELOS		VI Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
		V Suelo sin humus	
		IV Completamente descompuesto	Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS		III Altamente descompuesto	
		II Parcialmente descompuesto	Fábrica estructural heredada.
MECÁNICA DE ROCAS		I Roca sana	Falla planar, en cuña o por caída.

Nota. Se describen todos los perfiles del suelo clasificándolos por su tipo de mecánica.

Tomado de (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

En la construcción de presas el poder conocer las propiedades del terreno siempre será crucial para poder determinar y dar garantías tanto en la estabilidad como en la seguridad de la estructura. Por ende, es las características más importantes a estudiar en cuanto a mecánica de suelos cuando se realiza las presas son las siguientes:

Suelos arcillosos

Estos suelos por lo general tienen una gran capacidad de retención básica del agua, pero a pesar de poseer esta capacidad pueden llegar a ser muy propensos a expandirse y contraerse logrando afectar de forma negativa cualquier estabilidad de una estructura (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

Suelos arenosos

Llegan a ser mucho menos propensos a comprimirse, pero por lo general poseen la característica de que tienen una baja capacidad de retener agua, pero por su particularidad pueden ser empleados en presas de tipo de enrocado (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

Suelos rocosos

De todos son los más ideales para la construcción de presas de gravedad o arco por sus bases muy estables. (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

Suelos mezclados

Estos combinan de forma equilibrada los suelos de tipo granular y arcillosos haciéndolos ideales para proyectos que requieren una solución versátil. (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

Tabla 2

Tipos de suelo

Tipo de suelo	Característica clave	Aplicación en presa
Arcilloso	Gran capacidad de retención de agua	Utilizado en núcleos de presas de tierra o enrocado
Arenoso	Baja capacidad de retención de agua	Utilizado en capas de drenaje o como base de suelo
Limos	Menor permeabilidad que los suelos arenosos, pero mayor que los suelos arcillosos.	Utilizado como materiales de relleno o refuerzo en presas de tierra.
Rocosos	Mayor resistencia en capacidad de carga Baja permeabilidad	Utilizado para presas de gravedad o arco
Mezclado	Excelente capacidad de drenaje y resistencia	Utilizado para rellenos o como soportes de la estructura

Nota. Tipos de suelos con sus aplicaciones en presa.

Hidráulica

Esta rama en cuanto al diseño de presa es de las más importante ya que influye precisamente en el diseño y construcción de la presa. Ya que se encarga del comportamiento del agua por ende la necesidad de determinar y predecir los movimientos, flujos de los ríos a los cuales se deben diseñar para que sean capaces las presas de poder gestionar todo el volumen necesario. En este punto para la presa es necesario gracias a la hidráulica determinar 3 puntos claves que son:

Flujo de alcance

Para realizar un diseño de presas claramente se debe establecer y determinar qué tipo de flujo se maneja o lleva consigo el caudal del río el cual incidirá en el diseño de dicha estructura

Presión

No es un secreto que el agua de acuerdo a su velocidad, su fuerza y su área va a ejercer dicha presión entonces allí a resistencia necesaria de los materiales que serán puestos a prueba

Capacidad de almacenamiento

Los embalses son diseñados para poder almacenar el agua y manejarlos, por lo que no se puede diseñar algo que no son capaz de sostener o almacenar. De allí lo importante de determinar el volumen del embalse de acuerdo al caudal que se proporciona en el río.

Presa

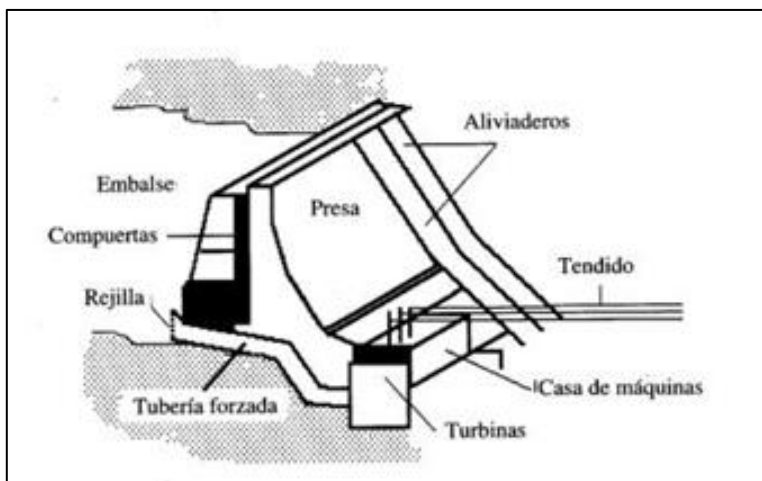
Según la CIGB (Comisión internacional de grandes presas) una presa la podemos definir como un tipo de barrera o de por sí una estructura que se puede posicionar y colocar

atravesando un curso de un río presente con el objetivo de poder manejar y controlar dicho cauce. Y se pueden considerar dos tipos de presas: Las grandes y las pequeñas.

Las grandes presas deben tener dimensiones superiores a 15 metros de altura desde la basa, su corona superar mínimo los 500 metros en donde el embalse ser superior a 1 hm³ con una capacidad de desagüe de al menos 2000 m³/s (Cruz, 2020). Por otro lado, las pequeñas presas básicamente serán aquellas que en principio no logran superar estos valores, o sea, que sean por debajo del mismo.

Figuras 5

Partes de una presa



Nota. Se describe las partes de una presa en general. Tomado de (Alamo, 2009)

Tipos de presa

De acuerdo a (Angelakis , y otros, 2024) existen varios tipos de presas en donde se encuentran las presas de terraplén en las cuales se encuentran las presas de tierra, presas enrocados y presas de enrocado con caras de hormigón. Y por otras partes también se encuentran las presas rígidas que son las de gravedad, hormigón compactado, las de tipo

arco y contra fuerte. Pero para la facilidad se contemplan 5 tipos de presas las cuales son las siguientes:

Presa de gravedad. Estas son aquellas que dependen directamente de su peso propio para poder resistir en gran magnitud la presión que está ejerciendo el agua sobre la misma. Básicamente se puede decir en otras palabras que es un muro recto para soportar toda la fuerza, o sea que la presión que ejerce el agua transfiere todas esas fuerzas de compresión verticales y las horizontales a todos los cimientos que estas poseen. Por ende, la resistencia de este tipo de presa depende de su peso y de cuan resistente sean los cimientos (Angelakis , y otros, 2024).

De allí el por qué la mayoría de presas construidas en la antigüedad eran de este tipo, por su gran resistencia y durabilidad. Con lleva consigo ciertas características como lo son:

- La estructura debe ser lo suficientemente pesada para no ceder frente a la presión del agua,
- Implementarse en terrenos planos
- La presa debe ser en su totalidad recto o poco curvado

Tienen grandes ventajas como lo son:

- Estabilidad y seguridad debido a su peso masivo
- Durabilidad siempre y cuando se haga con materiales de buena calidad
- Poco mantenimiento preventivo
- Ideales para ríos en donde los caudales son grandes y los flujos de agua por lo general son muy constantes

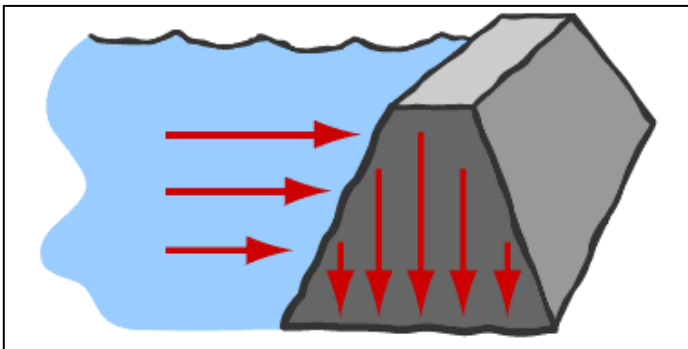
Aun así, con lleva grandes desventajas como lo puede ser

- Grandes cantidades de materiales como la mampostería o el hormigón

Altos precios para la construcción

Figuras 6

Presa de gravedad



Nota. Presa de gravedad en acción. Tomado de (Amador , 2016)

Presa de arco. Este tipo de presas como su nombre lo indica tienen una forma curvada en donde se transfiere la presión hacia los lados de las paredes que son rocosas en donde fueron construidas. Por su forma tiene una superficie curva convexa que mira directamente al agua. O sea, que las fuerzas que son generadas por la presión del agua se empiezan a transferir a los lados de la estructura mediante las líneas horizontales. Este tipo de presas también logran resistir de forma eficiente la presión del agua debido a su forma curvada que permite la transferencia de las fuerzas generadas por el agua almacenada a los cimientos de roca (Angelakis , y otros, 2024).

Debido a la forma que posee esta presa, se requieren mucho menos material que por ejemplo una de tipo de gravedad ya que se disminuyen las fuerzas necesarias que debe poseer la estructura para resistir. Consigo lleva las siguientes características:

- Transfiere las cargas hacia los lados
- Se permite la implementación de este tipo por lo general en terrenos rocosos o pendientes fuertes

Sus ventajas principales a la implementación de este tipo de presas son:

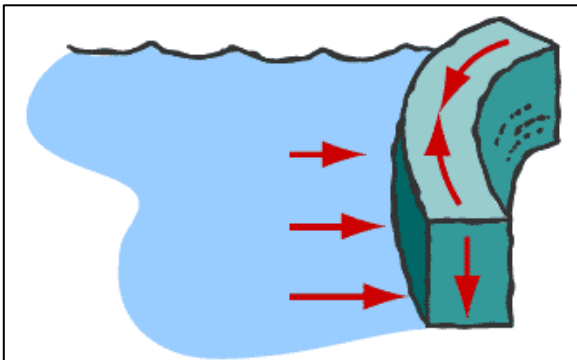
- Menos cantidad de material
- Menor volumen de tierra que será removida
- Mayor resistencia a terremotos

También posee desventajas las cuales son:

- Complejidad en el diseño y la implementación de la construcción
- Menor efectividad a la hora de construirse en terrenos planos
- Mayores gastos en el proceso de estudios y diseños para la implementación

Figuras 7

Presa de arco de gravedad



Nota. Presa de arco de gravedad en acción. Tomado de (Amador , 2016)

Presa de contrafuerte. Estas presas son estructuras que por lo general siempre van a combinar un diseño en donde la pared siempre tendrá un dimensionamiento mucho menor

o mas delgado con contrafuertes que gracias a estos van ayudar y van a poder distribuir las cargas hacia el suelo. Se puede decir que de forma estructural este tipo de presas consiste en un parámetro continuo aguas arriba pudiendo así soportar intervalos que son regulares por un contra de agua abajo. O sea, esta presa se puede considerar como si fuese una versión, pero en forma aligerada de una presa de gravedad. Lo que explicaría su similitud en el diseño (Cruz, 2020).

Se implementa normalmente cuando se requiere realizar una reducción del volumen de material utilizado, pero sin que este se logre afectar la estabilidad estructural de la presa.

Sus características principales son:

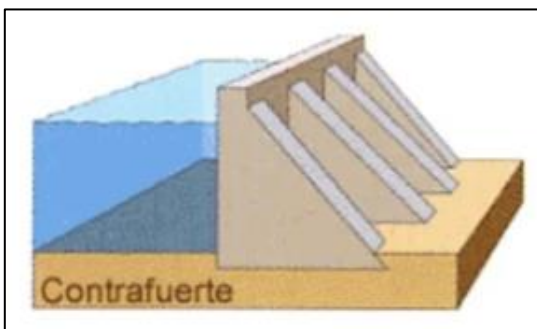
- Pared delgada con columnas de soporte o en su caso contrafuertes
- Menor cantidad de materiales que en la de gravedad

Sus ventajas fundamentales son:

- Estructura con menor volumen, más ligera y menos costosa que una de gravedad
- Implementada en lugares más inestables

Figuras 8

Presa de contrafuerte

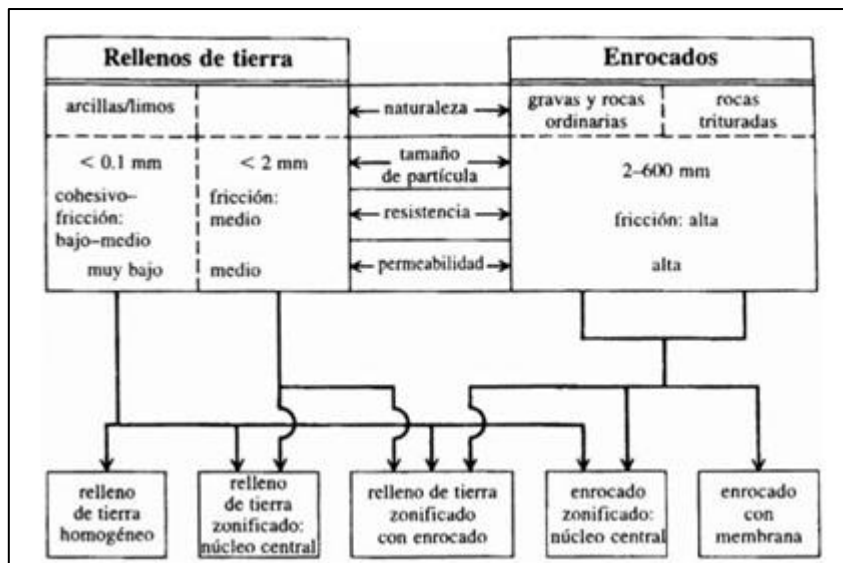


Nota. Presa de contrafuerte en acción. Tomado de (Amador , 2016)

Presa de enrocado. Son estructuras que principalmente están construidas por roca o grava y que son compactados de forma que se selle y se cree una estructura con mucha densidad lo que conlleva a que sea muy resistente. Por lo general, incluyen elementos discretos en relleno que son de tierra compactada, hormigón y una cantidad de membrana. Como se mencionó anteriormente, más del 50% del material que es relleno será la roca (Cruz, 2020). El diseño constructivo por lo general se ve de la siguiente manera:

Figuras 9

Diseño Constructivo represas con relleno de tierra y enrocados



Nota. Tomado de (Cruz, 2020)

Se implementa normalmente el concreto no es está tenido en cuenta ya que no tiene viabilidad por la disponibilidad de los recursos o cuando la viabilidad económica no lo permite.

Sus características principales son:

- Capas de rocas

- Implementado en valles que son de terrenos muy amplios
- Utilización de geotextiles para la permeabilidad

Sus ventajas fundamentales son:

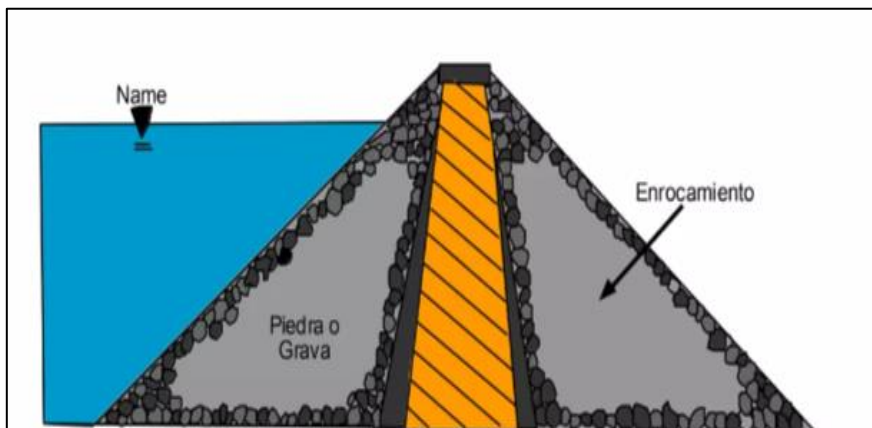
- Uso de materiales que son locales por su disponibilidad
- Mayor resistencia a presión
- Mayor economía y eficiencia en la construcción

Sus desventajas principales son:

- Pierde efectividad cuando se implementa en terrenos con mucha pronunciación de pendiente
- Filtración del agua por problemas de drenaje

Figuras 10

Presa de enrocado



Nota. Tomado de (Espinoza y otros, 2017)

Presa de material suelo. Como su nombre lo indica, son presas que se construyen con materiales que están sueltos y se conforman por tierra, arena, arcilla y rocas, pero de

menor tamaño que las utilizadas en la presa de enrocado. Tienen sección trapezoidal y son mucho menos esbeltas que las presas de fábrica y cada tipo de material que se implementa en la presa es colocada donde mejor pueda ejercer una función. Estas son el tipo de presas más común claramente por su construcción ya que los materiales que se intervienen se encuentran en su estado natural y no llevan una transformación de gran envergadura y sus requisitos son menos exigentes que los demás (Cruz, 2020).

Se implementan para los embalses mucho mas pequeños o que se encuentren por mucho en proporciones de tamaños medianos y que de por si el área a intervenir en donde los recursos que se encuentran presentes son limitados.

Sus características principales son:

- Construcción con materia prima de baja densidad
- Base ancha y cima mas estrecha
- Sistema de drenaje eficaz y eficiente

Sus ventajas principales son:

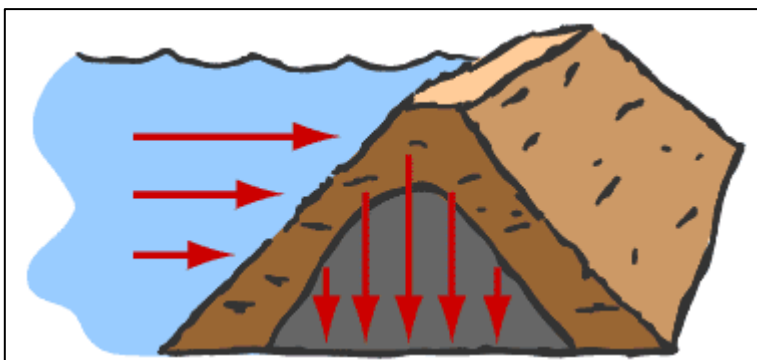
- Bajo costo en cuanto a la construcción debido al tipo de materiales que implementan o se requieren
- Cortos tiempos de construcción

Sus desventajas son:

- Menor durabilidad en el tiempo cuando se presentan caudales fuertes
- Mucho mantenimiento en cuanto las filtraciones

Figuras 11

Presa de materiales sueltos



Nota. Tomado de (Amador , 2016)

Aspectos Legales

En Colombia la construcción de presas actualmente se encuentra regulada y sujeta a un conjunto de normas y leyes que su objetivo principal es garantizar la estabilidad y viabilidad técnica de los proyectos, como también la protección de los recursos naturales, medio ambiente y las comunidades presentes en el territorio colombiano. Abarcan reglamentos en construcción, recursos disponibles y operaciones hidráulicas.

Nacionales

Ley 99 de 1993. Esta es la ley general ambiental, se creó con el fin de proteger y darle un manejo óptimo a los recursos naturales presentes en el territorio, incluyendo primordialmente el agua, por lo que una de sus obligaciones principales son realizar estudios ambientales con el fin de determinar qué afectación se puede generar de acuerdo a los proyectos previstos. De allí se puede sustraer el impacto en la construcción de presas, la cual se basa en que antes de iniciar cualquier proyecto con fin de presas que se elabore el

EIA (Estudio de impacto ambiental) en donde se identifique en este caso los efectos en el ecosistema, cambios de los caudales a tratar, fauna, flora, etc (Ley 99, 1993).

Ley 388 de 1997. Se determina el Ordenamiento territorial lo cual es un plan que ayuda a regular el uso del uso y su ocupación, dando en gran margen los lineamientos para la creación del POT en donde se debe describir el uso integral de los recursos hídricos y protección del medio ambiente (Ley 388, 1997).

Ley 1523 de 2012. Esta ley establece la gestión de riesgo de desastres en Colombia y predispone la gestión de riesgo para la mayoría de proyectos en infraestructura hidráulicas como las presas en donde es de carácter obligatorio incorporar planes sobre manejo de riesgos y contingencia por si se llega a presentar algún tipo riesgo en la construcción de la misma (ley 1523, 2012).

Decreto 1076 de 2015. Este es el decreto único reglamentario del sector ambiente y de desarrollo, el cual se establece toda la parte de gestión ambiental y aspectos para el manejo y gestión de los proyectos de tipo hidráulicos por lo cual se regulan de forma estricta las licencias ambientales para las obras hidráulicas. Se establecen las obligaciones de tener que apropiarse e implementar prácticas en donde el impacto ambiental sea lo menos dañino posible y las condiciones para que la gestión de los recursos sea el adecuado (Decreto 1076, 2015).

Reglamento de Seguridad de Presas de la ANLA. Este reglamento se emitió y fue otorgado por la Autoridad Nacional de licencias ambientales en donde se presenta el conjunto de normas, leyes y procedimientos en donde se establece que se deben garantizar la seguridad mientras esté en funcionamiento y tenga Vida útil una presa. Se puede obtener

información para regular los aspectos de construcción, mantenimientos, inspecciones y por ende monitoreo (ANLA, 2017)

Objetivos de desarrollo sostenible. A pesar de que estos objetivos no son considerados como tal una norma o guía para el diseño y aplicación de las presas, si se deben tener en cuenta a la hora de desarrollar una presa por el impacto que este puede tener en una población. Por consiguiente, se deben tener en cuenta los siguientes ODS.

- ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): La construcción de presas por su impacto tiene una relación directa con la provisión de agua, ya que no solamente se ve afectada por el consumo sino también para uso industrial y agrícola. Por ende, es crucial los proyectos como las presas para favorecer el uso óptimo de los recursos hídricos y puedan evitar daños a los ecosistemas acuáticos intervenidos.
- ODS 7 (Energía Asequible y no contaminante): Gracias a las presas que son utilizadas como generadoras de energía y fuentes renovables, representan en Colombia una parte significativamente importante en la gestión y generación de toda la energía producida en Colombia, entonces la importancia de diseñar presas que ayuden a generar energía que no sea contaminante y que se pueden mitigar los problemas ambientales.
- ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres): La construcción de las presas puede generar impactos a los ecosistemas que llegan a ser irremediables tanto acuáticos como terrestres, por eso se debe garantizar planes de manejo ambiental que ayuden a que estos impactos logren proteger los ecosistemas y pueden preservar las especies.

Internacional

Guía de Seguridad en Presas de la Comisión Internacional de Grandes Presas.

Esta es guía de construcción emitida por la ICOLD (International Commission on Large Dams) la cual es una organización de índole internacional que se encarga de proporcionar diferente tipo de directrices técnicas e indoles normativos para la operación y construcción de diseño de presas. Se establece, por ende, estándares internacionales de seguridad y operaciones teniendo en cuenta aspectos fundamentales como lo son los diseños en cuanto a la parte estructural, mantenimiento y vigilancia. A pesar de que no es tan vinculante, algunas de estas directrices sirven y aportan para el desarrollo de buenas prácticas en la construcción de presas.

Comisión Internacional de Grandes Presas. El CIBG es un manual de diseño de presas en donde es utilizado globalmente en muchos países del mundo siendo Colombia uno de los pises en los cuales se ha adoptado esta guía. Toca resaltar que no es exclusiva ni de carácter obligatorio, pero más sin embargo se puede considerar como una base referencial para aspectos técnicos importantes como lo son los diseños y por ende su construcción.

Capítulo III: Análisis de Técnica de Construcción

Como bien se sabe, las presas pueden clasificarse y tipificarse de acuerdo a muchos aspectos por lo cual se tienen distintos tipos de presas incluyendo su tamaño, diseño y materiales utilizados para su implementación. Se cuentan con presas que son consideradas de acuerdo a su tamaño grandes o pequeñas que no solamente involucran un desafío multidisciplinario tanto en los aspectos legales como lo técnico. De allí lo relevante e importante de las técnicas de construcción en cuanto a los tipos de presas existentes.

Cada paso del proceso siempre deberá ser vigilado y por lo general estandarizado para poder así generar y garantizar la eficacia, eficiencia, estabilidad y sostenibilidad del proceso de construcción de la presa a traves de los años.

Por eso, la relevancia de realizar la distinción de los enfoques utilizados para presas grandes como presas pequeñas, dando la salvedad que las pequeñas por lo usual o general siempre se utilizan en proyectos de zonas rurales o cuando son de riesgo y que las presas de gran tamaño de por sí es un proceso más complejo por su forma de operar y tienen que detallar puntos específicos como lo de elección de materiales, el diseño estructural, la gestión de riesgos y las consideraciones medioambientales.

Manual de diseño y Construcción de pequeñas presas

Principalmente cabe mencionar que este manual es utilizado e implementado principalmente en el país de Uruguay y ha sido adaptado a otros países por su utilidad y por su racionamiento en cuanto a la construcción de presas. El responsable de la creación, diseño y aplicación del mismo es la Dirección nacional de aguas de Uruguay siendo esta una guía de diseño particularmente para los represamientos hidráulicos como el riego.

Es importante mencionar que en el manual se anexan directamente todas las fórmulas de diseños y aspectos importante para la construcción de estos de las estructuras y de las presas.

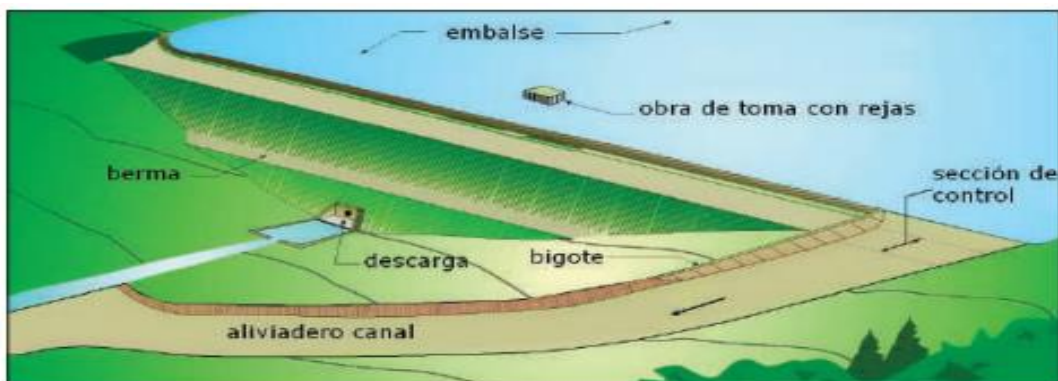
Etapas de un proyecto

De acuerdo a (DINAGUA, 2011) para las etapas de los proyectos principalmente se deben tocar 4 aspectos relevantes en donde se encuentran las Consideraciones generales, Seguimiento durante la construcción e informe de final de obra, Diseño hidrológico-hidráulico de las obras de vertido y por último Otros aspectos vinculados al diseño, construcción y mantenimiento de las obras.

Consideraciones generales. Cuando se hablan de las consideraciones se desglosan puntos como lograr definir los elementos constructivos de una presa, incluyendo la obra principal y definiéndola hasta los complementos que hacen que funcionen la misma. Se establece la demanda que se va a satisfacer definiéndola con todas sus características

Figuras 12

Elementos constructivos de una presa



Nota. Tomado de (DINAGUA, 2011)

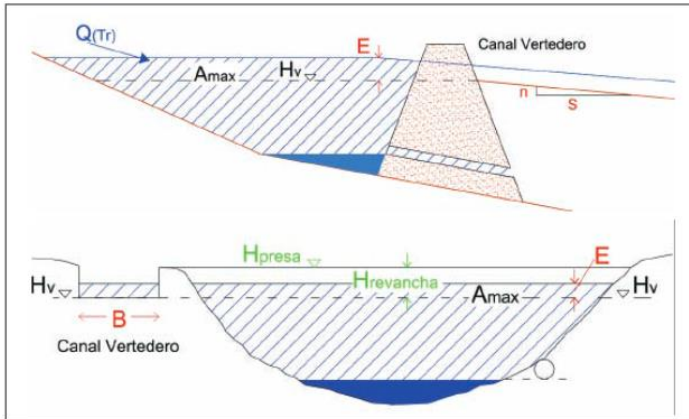
Se aprecian en las consideraciones los indicadores definiendo las capacidades nominales, se da una evaluación a la selección del sitio de la represa teniendo en cuenta puestos a favor y puntos en contra determinando rasgos como lo son la disponibilidad de material aceptable para la construcción de la represa. Se hablan sobre la fuente de agua de aporte a la represa incluyendo la evaluación de los suelos que se van a intervenir para la realización de dicha obra y se establece el seguimiento para la construcción del mismo contando con los informes final de construcción.

Dimensionamiento de volumen del embalse. Se enfoca como lo indica su nombre es determinar el volumen de agua que debe ser almacenado en el embalse para satisfacer la demanda de agua prevista. Por lo que este valor va a depender de muchos factores claves como tipos de topografía, las cotas del proyecto entre el inicio del vertedero y capacidad de cuenca para aportar al agua.

En cuanto al país de Uruguay se autoriza un valor de volumen máximo para poder embalsar los valores de cota de toma y el vertedero, pero claramente se debe considerar el aporte de la cuenca y derechos del agua.

Figura 13

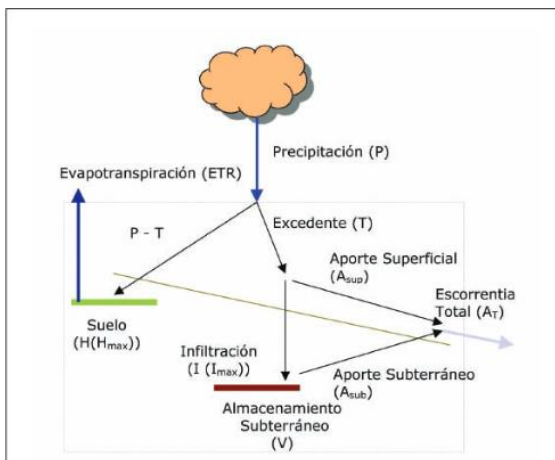
Descripción del vertedero



Nota. Tomado del (manual pequeñas presas Pag 42)

Diseño hidrológico-hidráulico de las obras de vertido. Se busca el dimensionamiento del volumen de los embalses ya que este ayuda a optimizar la inversión pudiendo así maximizar la eficiencia en cuanto al uso del recurso hídrico.

Figura 14



Nota. Modelo de precipitación escurrimiento, Tomado de (Temez, 1977)

El diseño que se realiza a las obras de vertido es una de las partes más críticas durante el desarrollo del embalse por su función principal de garantizar la expulsión y

evacuación de forma segura durante cualquier tipo de crecida por lo que es importante emplear balance hidráulico-hidrológico.

Otros aspectos vinculados al diseño, construcción y mantenimiento de las obras. Se describe la forma en cómo se debe plasmar el diseño estructural de la presa, o sea uno de los hitos más importantes, incluyendo todas las obras auxiliares desde su etapa constructiva hasta empezar con cada tipo de mantenimiento.

Grandes Presas (Guía técnica de seguridad de presas)

Esta es una guía que se emplea principalmente en las grandes presas en donde se referencia todas las obligaciones legales sobre la materia y la seguridad de las presas en servicio. Se encuentra basadas en distintas guías nacionales de España. Ya que, esta es una guía implementada netamente en el país anteriormente mencionado.

Normas españolas

Gracias a la escase de normas e irregularidades que existieron en España en cuanto a los recursos hídricos a través de los años, han sido necesarias regular estos procesos para poder emplear la correcta planeación y ejecución de las construcciones de presas. Todo comenzó con la ley de aguas de 1879 en donde se constituye la primera disposición oficial que se hizo en cuanto al carácter general de regulación y planificación del dominio público en cuanto a las represas. Luego alrededor del año de 1960 se redactaron nuevas normas en donde se constituyeron el germen de la instrucción para el proyecto de construcción y explotación de grandes pruebas. En 1985 se aprobaron las nuevas leyes de agua para posteriormente en 1996 se aprobó el reglamento técnico sobre la seguridad de presas y embalses (Seguridad de presas, 2006). Se tiene la siguiente disposición:

Institución para el proyecto construcción y explotación de grandes presas en 1967

Ley 29/1985 y reglamentos del dominio hídrico público en 1968, administración pública del agua y planificación hidrológica en 1988

Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses en 1996

Clasificación según el riesgo potencial

Se puede clasificar las presas en riesgo de falla como de posible falla de roturo o funcionamiento que no es debido de la presa. Según su reglamento se puede clasificar en las siguientes categorías:

- Categoría A: Presas cuyas roturas presentadas pueden afectar directamente a los núcleos urbanos o servicios que sean esenciales, produciendo daños materiales o ambientales.
- Categoría B: Presas cuyas roturas presentadas pueden ocasionar daños materiales y afectar a un número reducido de viviendas
- Categoría C: Presas cuyas roturas presentadas pueden ocasionar daños materiales de moderada de un numero moderado de importancia incurriendo solamente en las pérdidas de vidas.

Valoración del riesgo

Se relacionan dos artículos importantes en los cuales uno habla sobre las exigencias de seguridad y en otro se hablan sobre los daños en donde se logren producir con probabilidad de ocurrencia (Seguridad de presas, 2006).

El artículo 8 que es el primero que se nombró anteriormente decreta que:

- Las exigencias que sean de seguridad deben ir acorde con el tipo de riesgo

- Se analiza que las causas individual y combinada generen la falla de la presa

El 9 que es el segundo nombrado índice en que:

- Deben clasificarse los riesgos y se deberán evaluar los riesgos debido al evento presentado

Terreno y materiales

Se aplica que dependiendo lo complejo de la estructura se deben considerar los cimientos en donde el equipo geotécnico debe ser lo suficientemente flexible por su existen modificaciones dependiendo el tipo de detalles sobre la naturaleza y las propiedades que sean descubiertas sobre el terreno (Seguridad de presas, 2006).

Como todos los proyectos se deben interpretar los ensayos de laboratorio y claramente in situ para determinar e ilustrar los valores obtenidos ya que estos brindan datos a gran escala que ayudan a establecer características y parámetros de todo proyecto.

La realización de controles de asentamientos ayudará para para ir analizando como se comportará la estructura desde el inicio del proyecto hasta el final del proyecto y si se presentan o se establece que se encuentren visiblemente o previsible algún peligro que pueda afectar a la estructura de la presa se deben determinar para posterior aplicar medidas de protección de los taludes (Seguridad de presas, 2006).

Con los materiales de todo el proyecto se deben incluir precisa y detalladamente las instrucciones para la protección en contra un factor negativo que afecta directamente y es el deterioro de los componentes estructurales de las presas, incluyendo que se deben realizar diseños estructurales con sobre espesores adecuados para compensar dicha corrosión.

Recomendaciones para proyectos

Exigencias legales. Cuando se emplea un proyecto de presa se deben contemplar algunas condiciones en cuanto a la parte técnica de acuerdo a unas etapas o fases del proyecto. Principalmente es que las fases de un proyecto de embalses se debe estructurar de la siguiente manera:

- Proyecto
- Construcción
- Puesta en carga
- Explotación
- Puesta fuera de servicio

En la parte de coordinación y control se debe contar con el equipo técnico para desarrollar las actuaciones necesarias mediante el cual se puedan cumplir con la seguridad.

Todas las obras y las actividades necesarias para la construcción de las presas deben estar claras y bien definidas en cuanto a la parte documental en cuanto al dimensionamiento de la obra.

Se deben contemplar los documentos de estudios previos y anteproyectos elaborados previamente para que cuando se necesite sea de fácil acceso. En estos documentos se debe presentar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, o sea el estudio de prefactibilidad y factibilidad. Por lo que se deben incluir posteriormente los siguientes estudios generales:

- Objetivo de la presa

- Viabilidad técnica
- Geografía, geología y medio de la cuenca o río
- Redes de comunicación
- Zonas de riesgo por posibles inundaciones
- Datos para la formulación de matriz o planes de seguridad y riesgo

Para los estudios obligatorios específicos de la presa:

- Topografía
- Curvas de volúmenes
- Estudio de avenidas
- Análisis hidráulico
- Estudios geológicos
- Caracterización de los materiales
- Estudios de estabilidad de cimientos
- Planificación y procesos constructivos para la ejecución de la obra.
- Sistemas de comunicación

Para los estudios relacionados con la influencia del entorno:

- Afectaciones a la población
- Reposición de servidumbres
- Calidad del agua
- Afectaciones socioeconómicas
- Erosión de las cuencas o ríos
- Programa de vigilancia ambiental

Contenido y alcance. El procedimiento y los objetivos que se han planteado deben ser objetos de legislación en donde se debe corresponder al organismo o en consecuencia a la entidad pública lo que es la aprobación de todos los documentos de diseño y por otro lado una autorización autenticada para poder construir (Seguridad de presas, 2006).

El proyecto como mínimo debe contener los siguientes documentos:

- Cálculo de memoria
- Planos definitivos
- Pliego de condiciones
- Presupuesto

Tipología y cimientos. Las estadísticas han demostrado que los fallos que se presentan en los cimientos son los principales responsables de la primera origina. De allí se recomienda que las presas deben realizarse los cimientos sobre macizos rocosos ya que estos permiten que tengan un comportamiento determinado que no afecta tanto a las presas. Se presenta que los mecanismos de rotura que se deben tener presente son:

- Agotamiento de la resistencia al corte
- Agotamiento de cimientos plásticos

Uno de los tratamientos que son utilizados habitualmente son las denominadas pantallas de inyección y por otro lado el drenaje. Ya que las pantallas cumplen una función la cual es reducir en cantidad el numero filtraciones presentes (Seguridad de presas, 2006).

La excavación de galerías es otra práctica habitual en donde estas galerías interesen ambos labios y su relleno con hormigón armado sea accesible para su aplicación y observación.

Recomendaciones aplicables a la presa (técnicas de construcción). Para las recomendaciones se pueden considerar significativamente todas las presas que sean construidas tanto en hormigón o mampostería de tal manera que estas puedan agruparse a su tipología.

Presa de gravedad.

- Concreto convencional: Consiste en colocar el concreto en capas de forma sucesivas, que se vierten y compactan una tras otra. Es un método tradicional eficaz, aunque requiere un control preciso para evitar la formación de grietas térmicas.
- Concreto compactado con rodillo (RCC): Este es una de las aplicaciones innovadoras que básicamente se basa en un concreto de baja consistencia, que se coloca y compacta usando maquinaria pesada. Es más rápido y económico.
- Impermeabilización: Incluyen la instalación de juntas selladas y cortinas de inyección de modo que ayude a prevenir filtraciones de agua futuras.

Presa de material suelto.

- Compactación de materiales: Se utilizan los rodillos vibratorios y otro tipo de maquinaria de índole especializadas y los materiales se empiezan a colocar en capas bien definidas.
- Construcción de núcleos impermeables: Los núcleos por lo general se implementan de arcilla compactada para así de una forma segura lograr garantizar la impermeabilidad.

- Uso de filtros y drenajes: Se instalan para poder controlar de forma eficaz y eficiente el flujo de agua interna recolectada y así poder reducir la presión de filtración.

Presa de arco.

- Encofrados especializados: Se emplean unos moldes que se encuentran precisados para dar la figura geométrica del arco, garantizando y proporcionando así la uniformidad en toda la estructura y potencializando la resistencia.
- Concreto de alta resistencia: Diseño de mezclas de alta resistencia cuidando que la dosificación cumpla con el objetivo propuesto.

Presas mixtas:

Algunas presas combinan técnicas adaptadas a las características del terreno o la necesidad del proyecto, como presas con cimientos de gravedad y coronas de arco.

Tabla 3

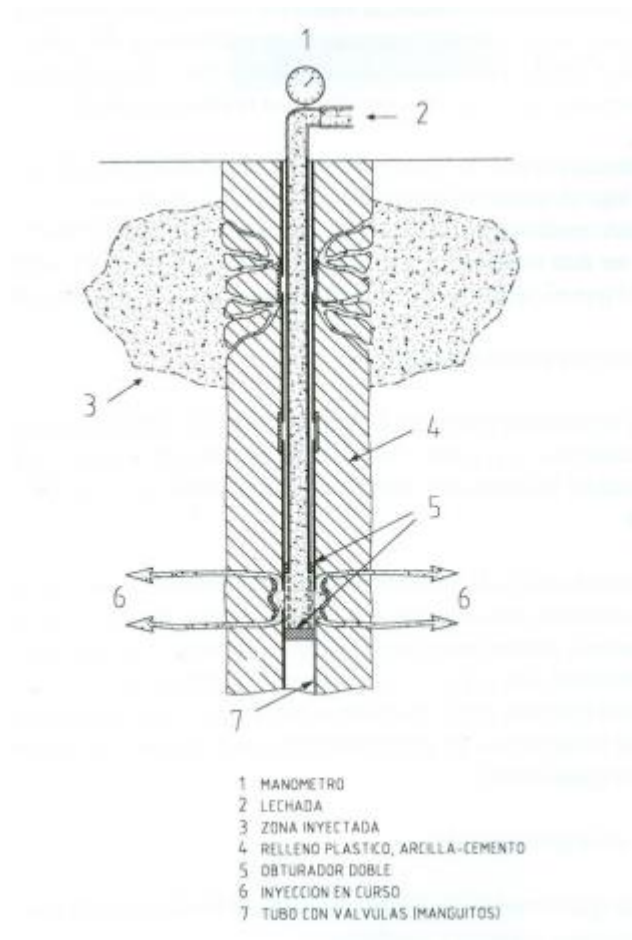
Factores que influyen en la selección de técnicas

Factor importante	Concepto
Geotecnia	Técnicas de cimentación y tratamiento
Disponibilidad de recursos	Distancia hasta materia prima
Clima	Afecta a los tiempos y métodos constructivos
Sostenibilidad	Se debe tener viabilidad económica y ser prudentes con el medio ambiente

Nota. Tomado de (Seguridad de presas, 2006).

Excavaciones y tratamientos de los cimientos. Cuando se esté trabajando en obra la Dirección de obra debe realizar principalmente la vigilancia y los controles de las voladuras y demás trabajos que tengan que ver o comprometan directamente con la excavación, chequeando efectivamente las exigencias, de forma y por su puesto la de calidad, que ha de cumplir la roca de cimentación.

Figura 15



Nota. Inyección de suelo, Tubos-magnitud

Es importante recalcar que no se debe olvidar que todas las exigencias requeridas de norma deben estar totalmente adaptadas a todo lo que se puede conseguir y múltiples ocasiones es el propio terreno el que impone todas las diferentes formas y dimensiones definitivas que se aplicarán.

Todos estos los estudios que sean de índole geológicos previos, útiles para la planificación de las excavaciones, pueden complementarse siempre y cuando estos sean durante la ejecución mediante inspecciones y ensayos "in situ".

En las presas de materiales sueltos se debe tener en cuenta que la calidad de la roca de cimentación suele ser inferior por obvias razones a las de una simple presa de fábrica. Existen algunos casos prácticos donde existen cauces con depósitos muy gruesos, lo que hace poco común el uso de explosivos. Entonces en este tipo de casos, sé que las condiciones de excavación van a llegar a variar según sea si trata de la cimentación del núcleo, las pantallas o los espaldones. Es crucial que la cimentación del núcleo sea impermeable, lo cual se puede conseguir excavando hasta llegar a la roca o mediante la consolidación e impermeabilización del terreno subyacente.

Cuando se trata de cimentaciones, los plintos y rastrillos de las pantallas van a requerir algunos tratamientos similares a los de las presas de hormigón, lo que conlleva a un tratamiento de consolidación de manera previa a lo que es la construcción del cuerpo de la presa, o bien a partir de la galería perimetral, si existe. Cuando son excavaciones subterráneas, como las galerías y pozos, en este caso se realizarán con las técnicas adecuadas para este tipo de trabajos, aportando información valiosa sobre el comportamiento del terreno.

Toda excavación que se demuestre que quedará oculta debe reflejarse en planos más precisos y con mayor detalle, siendo así que se indiquen claramente los accidentes de tipo geológico que sean más relevantes y con mayor la calidad de la roca en cada zona, complementados con información fotográfica. Estos datos por obvias razones son de lo más cruciales para el análisis del comportamiento futuro y la realización de posibles tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje, así como para el estudio de filtraciones y supresiones durante el llenado del embalse. Además, debe registrarse cualquier tratamiento específico de las cimentaciones (como el puenteado de fallas, llaves de hormigón, anclajes, etc.), cuya descripción formará parte del Archivo Técnico y de la Memoria de la Construcción.

Capítulo IV: Estudio de caso y aplicación práctica.

Existen a lo largo de la historia muchos ejemplos prácticos de presas que han sido innovación de acuerdo al año de aplicación y como cambiaron la esencia de los diseños y ejecución de los mismos. En este caso se analiza la construcción de la presa Hoover, la cual en el momento de su creación fue una de las más significativas e importante para estados unidos y el mundo entero por sus grandes desafíos y su aplicación.

La elección de esta presa se basa de acuerdo a su gran transcendencia en el campo de la ingeniería civil, pero esta no solamente destaca por sus características generales y por su gran capacidad hidroeléctrica, sino que se aplicaron avances en su momento por lo que se puede decir que marcó de forma significativa a la ingeniería hidráulica en este caso y para la actualidad sigue siendo un referente en este caso.

La importancia de este caso en general es determinar aspectos técnicos importantes por lo fundamental de sus diseños estructurales y sus técnicas de construcción para la ejecución de la presa.

Características Generales

Esta presa se encuentra ubicada en el río colorado, por lo que está en la frontera que limita entre los estados de nevada y Arizona en el país de los estados unidos.

Principalmente se llamaría presa de Boulder, pero finalmente se le denomino con el nombre de Hoover en honor a Herbert Hoover.

Se construyó principalmente por una necesidad ya que el río de colorado para los años previos de la construcción sufría constantemente a derrames y desbordamientos del río ya que sufrió muchos fenómenos de deshielo debido a todas las montañas que se

encontraban cercanas y presentes en sus alrededores. Cabe recalcar que para ese momento no existían recuentos o estructuras de la magnitud como la que se necesitaban para poder mitigar los daños que se estaban efectuando. Por lo que fue una de las necesidades básicas incluyendo todos los beneficios potenciales que estos podrían obtener en no solo el suministro y control que podían ejercer sobre el agua, sino también la generación de energía eléctrica que se podía producir y así verse beneficiadas las comunidades alrededor de California (Llor Mendoza, 2012).

Esta presa se empezó a construir en el año de 1931 y se terminó el proyecto para el año de 1936, por lo que esta infraestructura demoró 2 años menos del tiempo que se había planteado principalmente gracias a las técnicas de construcción implementadas que hicieron que el proyecto fuera mucho más eficaz y eficiente.

Posee las siguientes características

- Ubicación: Río Colorado
- Propósito del proyecto: Control de inundaciones, suministro de agua potable y de riego, y generación de energía hidroeléctrica.
- Periodos de construcción: 1931-1936
- Altura: 221,4 metros
- Longitud de la cresta: 379,2 metros
- Grosor de la base: 200 metros en su base
- Capacidad de almacenamiento: 35,2 millones de Acre-pies
- Cantidad de hormigón: 3,33 millones de m³
- Área del lago embalsado: 639 km²
- Capacidad hidroeléctrica: 2,080 megavatios

Figuras 16

Presa de Hoover



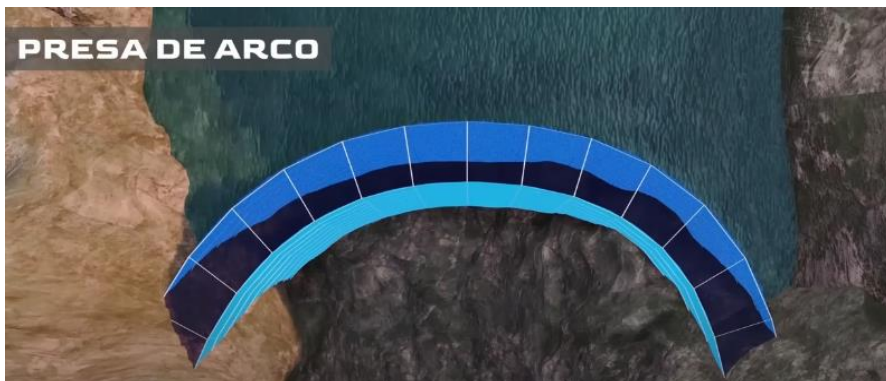
Nota. Fotografía tomada desde las alturas. Tomado de (Loor Mendoza, 2012).

Tipo de presa y técnicas de construcción

Uno de los grandes retos era suponer que tipo de presa se podía aplicar al río por las características que se brindaba en el río y por la forma de la corriente del mismo. Por lo que decidieron que la mejor solución para abordar el río era implementar una presa de tipo de arco de gravedad como se puede ver en la siguiente figura

Figuras 17

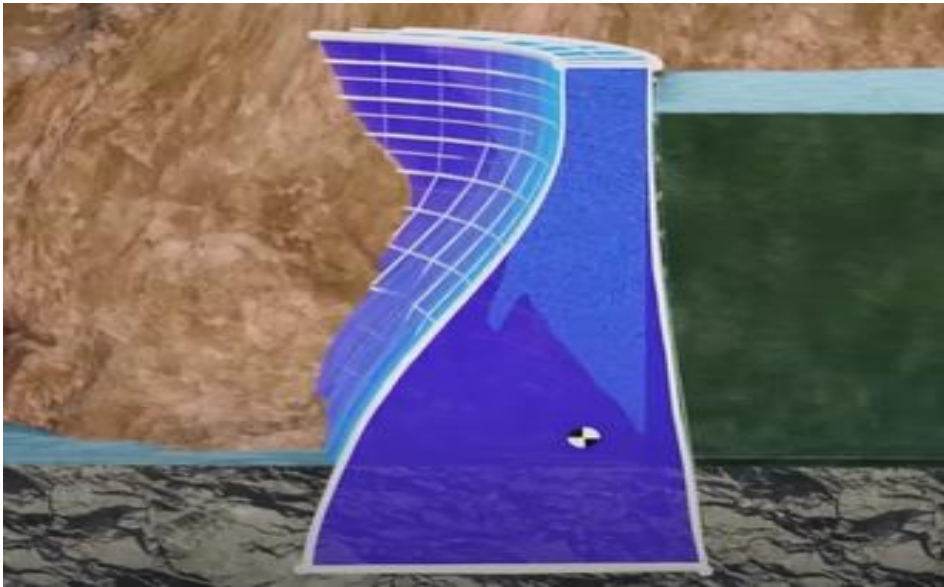
Tipo de presa de la obra Hoover



Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 1,44 de Lesics española, 2022.

Figuras 138

Presa de arco de gravedad de la obra



Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 2,41 de Lesics española, 2022.

Se presentan a continuación los métodos y técnicas utilizados para la elaboración de la idea principal del proyecto:

Excavación del sitio

Una de las primeras tareas que se realizaron para poder implementar el diseño básico de la presa de arco fue remover las rocas que se encontraban erosionadas para los muros de Montañana que ayudan a transmitir los esfuerzos. Todo este trabajo que se realizó fue parte fundamental ya que la excavación de tierra y rocas fue necesaria para que así se pudiera garantizar una base sólida y con estabilidad de donde se iba a fundir la presa.

La excavación de la misma se hizo en forma de arco para que pudiera consigo tener la misma forma arqueada que llevaría la presa en donde se hicieron a través de dinamitas para que fuera más fácil el proceso (Loor Mendoza, 2012).

Figuras 19

Excavación en la obra



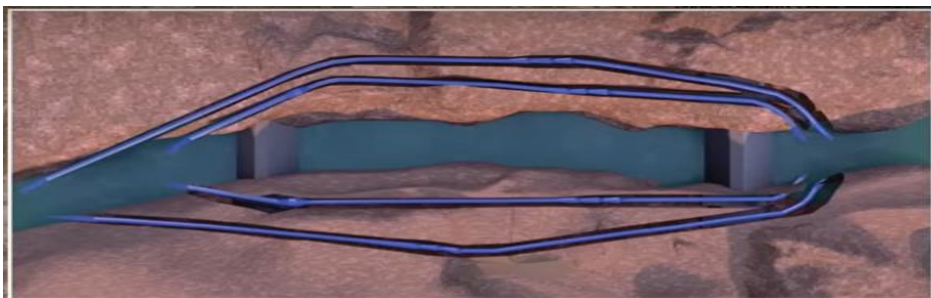
Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 5,37 de Lesics española, 2022.

Desviación del río

Como se requiere la construcción en seco entonces el río fue desviado previamente para poder realizar todos los trabajos requeridos en campo

Figuras 20

Desviación del río



Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 6,01 de Lesics española, 2022.

Materiales

Concreto. Como es bien sabido este es uno de los proyectos en donde mayor uso del concreto se ha implementado como se dice en sus características generales. Fue un desafío en cuanto a la producción y saber manejar todo ese tipo de material puesto que los ingenieros que participaron de la construcción calcularon que si el concreto necesario para poder suplir la estructura era vaciada en una operación continua entonces los tiempos de fraguado demorarían años por la temperatura ambiente y de por sí al estar en contacto con el agua subiría la temperatura formando posteriormente agrietamiento y fallas en el concreto. Por lo que decidieron simplemente construir básicamente una serie de ménsulas de forma trapezoidales que logran permitir la disipación del calor de hidratación (Loor Mendoza, 2012).

Figuras 21

Vaciado de concreto

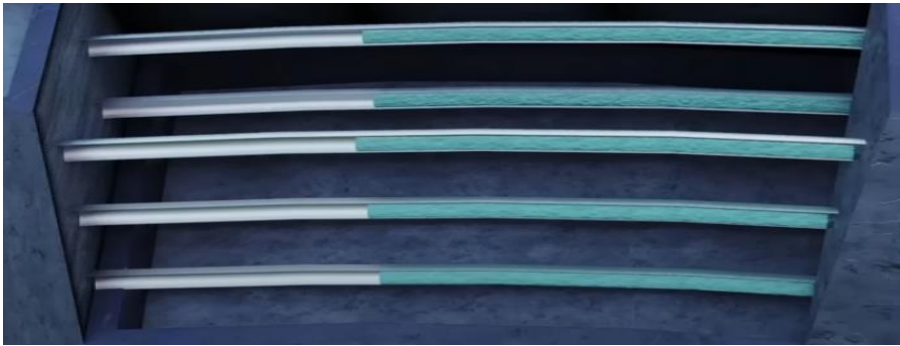


Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 6,45 de Lesics española, 2022.

Además de esto se incrustaron tubos de acero en donde se transportaba agua, lo cual facilito el enfriamiento interno para el fraguado y disipación de la energía

Figuras 22

Tubos de acero



Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 7,01 de Lesics española, 2022.

Uno de los grandes riesgos asumidos para la construcción de la presa fueron las condiciones extremas que tuvieron que pasar todos los trabajadores presentes en la construcción ya que las temperaturas podían alcanzar valores hasta de 45°C y las grandes alturas de trabajo. Mas sin embargo la innovación con los tubos de enfriamiento para el momento de su aplicación fue un antes y un después por lo que se permitió desde allí realizar construcciones en donde el enfriamiento del concreto y su correcto fraguado no fuera un problema (Loor Mendoza, 2012).

Generación de energía

Una de las principales necesidades a parte del control de las inundaciones fue la de la producción y generación de energía, por lo que después del reto de la construcción de la presa, vino la creación de la hidroeléctrica para ponerla en función que realmente es la mayor aplicación que tiene la presa (Loor Mendoza, 2012).

Figuras 23

Torres de carga

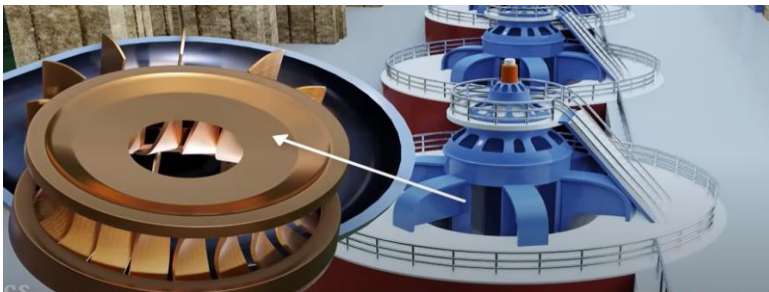


Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 7,32 de Lesics española, 2022.

Estas torres de control, internamente contienen unas compuertas que su función principal es regular el caudal de agua que entra a la hidroeléctrica siendo conectadas por unos túneles que son las encargadas de trasladar el agua hasta las turbinas que usan para la generación de la energía. Entonces el agua de las tuberías forzadas logra que se giren 17 turbinas denominadas verticales logrando girar lo que son los generadores de energía eléctrica en donde se produce toda la electricidad necesaria (Loor Mendoza, 2012).

Figuras 24

Turbinas y generadores



Nota. Tomado de un fotograma del video Todos los secretos de la Maravilla de la Ingeniería, minuto 8 de Lesics española, 2022.

Capítulo V: Innovaciones y Tendencias

Las presas y todo lo relevante a ello en cuanto a su diseño, técnicas y ejecución han ido experimentando muchos avances significativos a través de los años aumentando su importancia para el campo de la ingeniería civil. Pero, los criterios de aceptación en cuanto a la eficiencia, sostenibilidad y por supuesto la seguridad debe ir adoptando una adaptación a los nuevos desafíos.

Este capítulo se centra en revisar todas las innovación y aplicaciones que han ido surgiendo poco a poco y como el uso de las herramientas de inteligencia artificial se han sumado para la efectividad de los diseños. Factores como el cambio climático, la creciente demanda de agua y la protección de los ecosistemas han impulsado a los ingenieros a buscar nuevas soluciones. La innovación, en este sentido, se ha convertido en una herramienta clave para afrontar estas demandas de manera eficiente y sostenible.

También exploraremos cómo la tecnología ha mejorado los procesos constructivos gracias a herramientas digitales como el modelado BIM, que optimiza tanto el diseño como la ejecución. Además, se hablará sobre el empleo de tecnologías modernas, como drones y sensores inteligentes, para garantizar la seguridad de las presas y monitorear su desempeño.

Inteligencia Artificial

Para hablar de inteligencia Artificial (IA) es contundente saber a que se refiere este tipo de inteligencia y que aspectos positivos puede traer a la rama de la ingeniería civil y en general al mundo investigativo. La IA se puede definir como un conjunto de sistemas de software diseñado por humanos que ante un objetivo esta actúa en la dimensión tanto física como digital. En otras palabras, es un campo de la informática que se enfoca basciamente en crear tipos de sistemas para que se puedan realizar tareas en donde normalmente es

necesaria la inteligencia humana en donde están aspectos como el aprendizaje, la razón y por último la percepción (Comisión Europea, 2023.)

Ahora para la aplicación en la ingeniería hidráulica para el diseño de presas es importante ya que El aprendizaje automático, una rama de la IA, permite desarrollar modelos predictivos que simulan con precisión el comportamiento de las presas bajo diversas condiciones. Esto supera las limitaciones de los métodos físicos tradicionales, que a menudo son costosos y complejos.

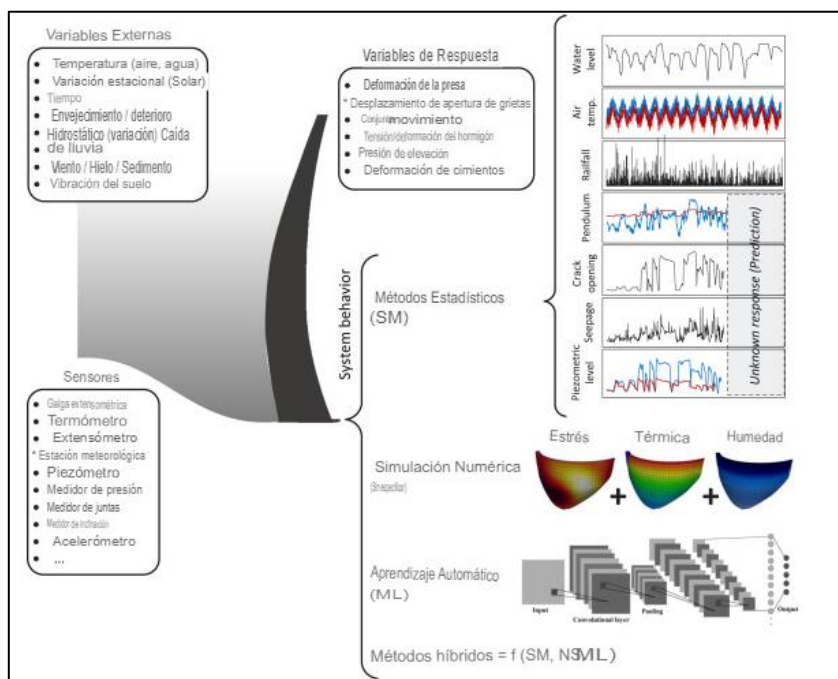
Según (Hariri-Ardebil y otros, 2023) la IA ofrece soluciones avanzadas al procesar grandes cantidades de información, identificar patrones ocultos y detectar anomalías, tareas que a menudo escapan a las capacidades humanas o requieren mucho tiempo con métodos tradicionales. Ellos desarrollaron una investigación en donde utilizaron inteligencia artificial para aplicarlas en distintos campos del diseño de presas.

Una de sus aplicaciones es el sistema de vigilancia y alerta temprana de la seguridad de las presas, en donde para esta investigación se utilizan algunos algoritmos de esta inteligencia para poder estudiar y analizar los datos y poder detectar a tiempo si se previenen daños y problemas estructurales. Para poder detectar estos datos que son de los sensores se clasifican en categorías en donde dan veredictos normales si no existe ningún tipo de problema o anomalía si puede incurrir algún daño.

Otro enfoque de este tipo es cuando se utilizan algoritmos de aprendizaje de tipo no supervisado para identificar tipos de patrones o valores extraños en los datos de los sensores y con ello se puede identificar el posible peligro que pone en riesgo la seguridad de la presa.

Figuras 25

Monitoreo de la salud estructural de presas con cuatro tipos de métodos de predicción de respuesta.



Nota. Variables y métodos para la aplicación de la IA en sistemas de seguridad de presa.

Tomado de (Hariri-Ardebil y otros, 2023)

Como se puede ver en la figura anterior el monitoreo de una presa hidraulica incluye muchas variables como lo son las variables externas, las de respuesta y mas de 9 sensores para la aplicación de los cuatro metodos distintos de predicción del comportamiento del sistema. Entonces la parte estaditica de los modelos y ecuaciones planteadas se basan en datos de entrada como lo es: El nivel del agua, Temperatura ambiente del aire, Temperatura ambiente de la lluvia, variación estacional del sol, deterioro, vibración del suelo y precipitaciones, con variantes de salida como lo son: La deformación de la presa, el

desplazamiento de la abertura de la grieta, movimiento de la junta, tensio/deformación del hormigón y la deformación de la cimentación.

También se aplican la IA para mejorar la velocidad y precisión de las simulaciones aplicando los métodos de ML. Los algoritmos de aprendizaje automático se pueden usar para detectar cuáles son los parámetros más importantes en una simulación, lo que ayuda a reducir tanto el número de simulaciones necesarias como el tiempo que lleva hacer los cálculos. Esta técnica se suele aplicar en el análisis de sensibilidad.

Usando algoritmos de aprendizaje automático, se puede hacer mucho más ligero el trabajo de los métodos tradicionales de Monte Carlo, lo que hace que el análisis de los sistemas de presas sea mucho más rápido y eficiente. Estos algoritmos pueden entrenarse con grandes cantidades de datos para predecir cómo va a responder la presa en diferentes situaciones, lo que reduce la necesidad de hacer simulaciones numéricas que toman mucho tiempo. Además, los modelos de ML también se pueden usar para hacer predicciones o estimaciones (Hariri-Ardebil y otros, 2023).

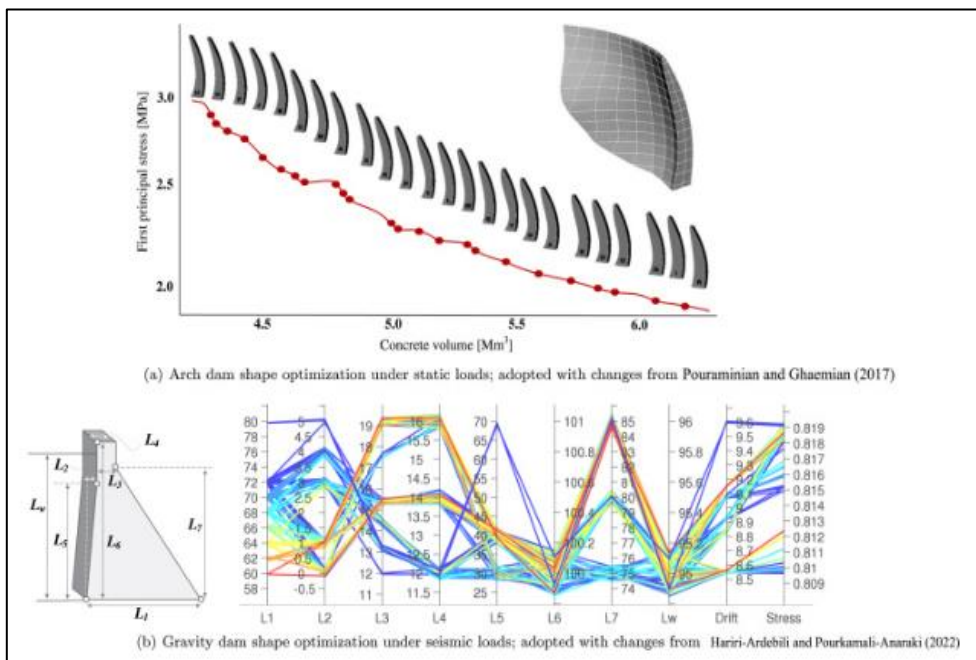
Otra aplicación de la IA es la optimización de la generación de la energía hidroeléctrica ya que esta puede predecir los valores de los caudales presentes de la presa para así una mejor utilización de las turbinas. Por ende, es útil para la programación utilizada de la energía hidroeléctrica ya que por ejemplo estos algoritmos pueden predecir utilizando datos netamente históricos y con los sensores sean en tiempo real y así aplicar métodos como el de redes de memoria a corto plazo para estimar de acuerdo a sus ecuaciones el futuro de los flujos de agua (Hariri-Ardebil y otros, 2023)..

Las herramientas de la IA facilitan mucho la optimización y el diseño de presas y las estructuras hidroeléctricas analizando características como datos clave sobre el entorno y los materiales. El machine learning permite predecir cómo reaccionará la presa ante

situaciones como inundaciones o terremotos, acelerando el proceso de diseño con simulaciones avanzadas. También, mediante algoritmos de optimización, se puede encontrar el diseño más adecuado, teniendo en cuenta aspectos como costos, impacto ambiental y la generación de energía (Hariri-Ardebil y otros, 2023).

Figuras 26

Aplicación de ML y optimización en la determinación de la forma óptima de presas



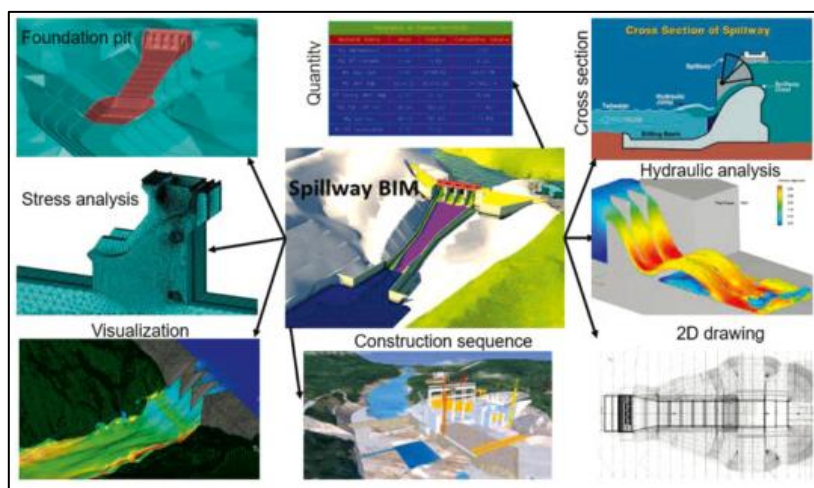
Nota. Tomado de (Hariri-Ardebil y otros, 2023).

La modelación Bim siendo una representación digital es una metodología que a día de hoy se utiliza en cualquier proyecto de ingeniería civil para poder tener una mejor visualización y poseer información sobre toda su geometría, configuración, propiedades y todas las relaciones con los componentes que hacen parte de la estructura. Esta metodología no es tan sencilla como se piensa ya que conlleva consigo unos pasos muy importantes para la creación de esta.

Gracias a la IA se puede optimizar la eficacia y eficiencia de la metodología BIM (Building Information Modeling) ya que en la fase del diseño la IA se permite la facilidad de crear los modelos por ejemplo en 3D de una presa, obteniendo muchos mejores detalles y obteniendo simulaciones y análisis de los rendimientos de esta. Incluso no solamente para el diseño solamente, sino también para que el momento de ejecutarse la construcción de la presa puede coordinar todo el proceso de la misma para si en algunas fases de la construcción se presentan problemas se puedan prever con tiempo y se puedan actualizar el progreso de dicha ejecución.

Figuras 27

Esquema del flujo de trabajo basado en BIM para consultoría de diseño de aliviaderos

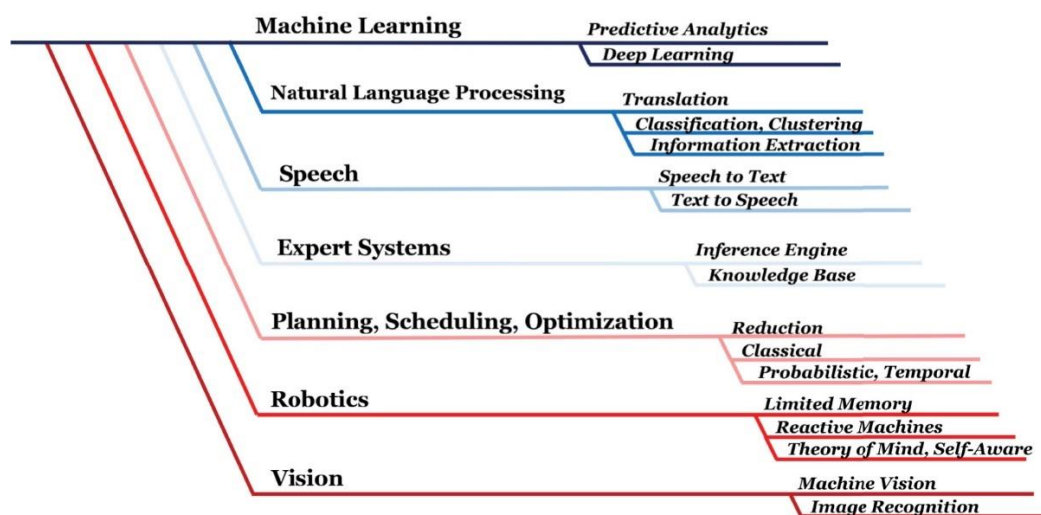


Nota. Tomado de (Hariri-Ardebil y otros, 2023).

En el artículo “The role of artificial intelligence and digital technologies in dam engineering: Narrative review and outlook” se habla de Un grupo de expertos internacionales (comisión internacional de grandes presas, ICOLD) se reunió para analizar el comportamiento futuro de una presa de arco de hormigón específica, la presa de Yuan Suan en Taiwán. Los participantes, divididos en 18 equipos, utilizaron modelos

informáticos sofisticados y datos reales para predecir cómo se comportaría esta estructura a corto y largo plazo. El objetivo era evaluar la precisión de diferentes métodos de predicción y mejorar nuestra comprensión de estos complejos sistemas.

Figura 28



Nota. Tipos de inteligencia artificial, Tomado de (Hariri-Ardebil y otros, 2023).

Los resultados del taller evidenciaron una considerable dispersión en las predicciones, atribuible a la incertidumbre inherente a los modelos utilizados. La mayoría de los participantes emplearon técnicas de aprendizaje automático, ya sea de forma aislada o combinadas con otros métodos. Sin embargo, ningún modelo de aprendizaje automático resultó ser superior en todas las variables y plazos evaluados

Metodología

El artículo se basa en una revisión narrativa y un análisis bibliométrico de la literatura existente sobre la intersección de la inteligencia artificial (IA) y la ingeniería de presas. La metodología incluye:

1. Búsqueda de Literatura: Se realizó una búsqueda en la base de datos "Web of Science Core Collection" utilizando palabras clave relacionadas con presas y tecnologías de IA,

como "inteligencia artificial", "aprendizaje automático", "gemelos digitales", "drones", entre otros. Se identificaron inicialmente 3363 documentos.

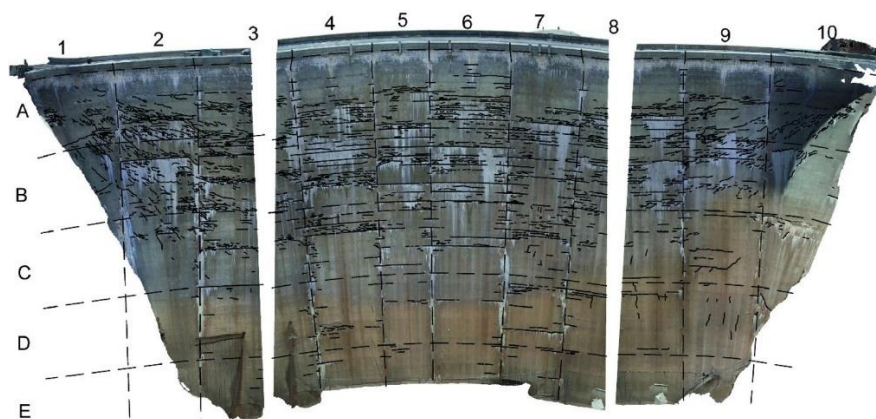
2. Filtrado y Selección: Se llevó a cabo un proceso de selección para filtrar los documentos relevantes, revisando títulos y resúmenes, lo que resultó en la inclusión de aproximadamente 550 artículos en el análisis.

3. Análisis Bibliométrico: Se utilizó un enfoque de mapeo científico para analizar la distribución de los artículos en diferentes campos y su interconexión, destacando las áreas más prominentes como Ciencias Ambientales, Geociencias y Recursos Hídricos.

4. Revisión de Casos de Estudio: Se revisaron casos de estudio específicos que ilustran la aplicación de IA en la ingeniería de presas, enfocándose en el monitoreo de salud estructural, optimización de operaciones y mantenimiento.

Figura 29

Mapeo de fisuras de una presa de hormigón basado en un sistema aéreo no tripulado.



Nota. Foto tomada de salomón (2021)

Resultados

Los resultados del estudio indican que la IA tiene un impacto significativo en la ingeniería de presas, con aplicaciones en:

- Monitoreo de Salud: Implementación de gemelos digitales y plataformas de monitoreo que permiten la recopilación y análisis de datos en tiempo real, mejorando la detección de anomalías y la gestión de riesgos.
- Predicción de Comportamiento: Desarrollo de modelos de aprendizaje automático que predicen el comportamiento de presas bajo diferentes condiciones, lo que ayuda en la planificación y respuesta ante emergencias.
- Optimización de Recursos: Uso de IA para optimizar la operación de plantas hidroeléctricas, mejorando la eficiencia en la generación de energía y la gestión del agua.

Aplicación Práctica

Las aplicaciones prácticas de la IA en la ingeniería de presas incluyen:

- Inspección con Drones: Uso de drones equipados con IA para realizar inspecciones visuales de presas, facilitando la identificación de problemas estructurales.

Figura 30



Nota. Gemelo digital de Diablo Dam, (captura de pantalla adoptada de Roberts 2022).

- Sistemas de Alerta Temprana: Implementación de sistemas de monitoreo que utilizan IA para generar alertas sobre posibles fallas estructurales, permitiendo una respuesta rápida por parte de los ingenieros.

- Simulaciones de Comportamiento: Aplicación de modelos de simulación para evaluar el impacto de diferentes escenarios de carga y condiciones ambientales en la estabilidad de las presas.

Recomendaciones

El artículo ofrece varias recomendaciones para la implementación efectiva de IA en la ingeniería de presas:

1. Mejora de la Gestión de Datos: Se debe establecer un sistema robusto de gestión de datos que garantice la calidad y disponibilidad de la información necesaria para el análisis.
2. Transparencia Algorítmica: Es crucial promover la transparencia en los algoritmos utilizados, asegurando que los ingenieros comprendan cómo se toman las decisiones basadas en IA.
3. Consideraciones Éticas: Se deben abordar las implicaciones éticas de la implementación de IA, garantizando que se respeten los derechos y la seguridad de las comunidades afectadas por las presas.

Conclusiones

El artículo concluye que la inteligencia artificial tiene el potencial de transformar la ingeniería de presas, mejorando la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de estas infraestructuras críticas. Sin embargo, para aprovechar plenamente estos beneficios, es necesario superar desafíos como la disponibilidad de datos, la transparencia de los algoritmos y las consideraciones éticas. Se enfatiza la importancia de la colaboración interdisciplinaria y la investigación continua para avanzar en la integración de la IA en la práctica de la ingeniería de presas.

Sostenibilidad en Proyectos

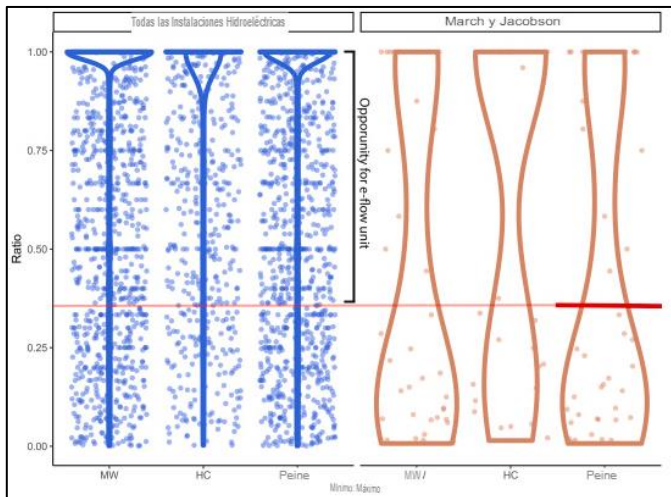
Actualmente se busca que los proyectos siempre cumplan con una parte sostenible sea de cualquier índole el proyecto y más cuando hablamos de obras civiles como las presas que la idea es que perduren a través del tiempo y estos tengan efectos positivos duraderos.

Según (Garrett , McManamay, & Witt, 2023) la energía hidroeléctrica representa en grandes proporciones la mayor parte de la cartera de la energía renovable de todo el planeta tierra teniendo en cuenta que a pesar de ser así puede causar muchos efectos negativos sobre el medio ambiente y la biodiversidad del planeta. Uno de los componentes mas importantes para tener mucho mayor sostenibilidad en los proyectos de presas y la generación de energía hidroeléctrica es la presencia de flujos ambientales. Los autores propusieron analizar la posibilidad de aprovechar los caudales aguas abajo de las presas existentes mediante la instalación de unidades de flujo eléctrico (E-flow) en donde el principal objetivo es optimizar el uso de estos flujos, actualmente subutilizados, para generar electricidad, considerando las características particulares de cada planta hidroeléctrica, como la capacidad de las turbinas.

Se modernizaron las instalaciones hidroeléctricas existentes con tecnologías como las turbinas E-flow, haciendo posible el poder ampliar la generación eléctrica de manera sostenible y responsable. Esta es una propuesta que ofrece una solución equilibrada entre el desarrollo energético y la protección del medio ambiente.

Figuras 31

Desarrollo del umbral de la envolvente 2: las proporciones de las turbinas más pequeñas y más grandes por capacidad (MW) y capacidad hidráulica (HC)



Nota. Tomado de (Garrett , McManamay, & Witt, 2023)

La investigación muestra que aproximadamente el 10% de las plantas hidroeléctricas en EE.UU. tienen las condiciones necesarias para generar hasta 1,8 TWh de energía adicional a partir de más de 700 MW de capacidad, utilizando los flujos ambientales que actualmente no se aprovechan. En los casos donde no se dispone de datos hidrológicos detallados, se recurrió a métodos estadísticos para identificar el potencial restante, lo que reveló que el país podría obtener entre 12 y 66 TWh adicionales mediante la optimización del uso de estos flujos en su flota hidroeléctrica. Aunque estas cifras representan un incremento modesto en comparación con la producción hidroeléctrica total, la integración de turbinas especializadas para E-flows puede tener impactos significativos. Estas turbinas no solo pueden cubrir la demanda energética interna de las plantas, sino también optimizar el rendimiento energético en períodos de baja demanda. Además, su alta capacidad operativa permite aumentar la eficiencia general del sistema eléctrico.

las turbinas de flujo eléctrico presentan una oportunidad única para revitalizar la flota hidroeléctrica de EE.UU., aumentará su contribución a la transición energética y cumplir con los objetivos climáticos internacionales. Con incentivos gubernamentales,

avances tecnológicos y una planificación cuidadosa, estas iniciativas pueden transformar la generación hidroeléctrica en un modelo más eficiente y sostenible. Este es un llamado urgente a la acción, ya que el momento para implementar estas soluciones es ahora, frente a la creciente presión para alcanzar las metas del Acuerdo de París y otros compromisos. Aprovechar los E-flows en plantas existentes evita los impactos ambientales asociados con la construcción de nuevas represas, mientras se mejora la eficiencia de las infraestructuras actuales. Sin embargo, para implementar este cambio de manera exitosa, se deben superar desafíos técnicos y económicos. Esto incluye mejorar el monitoreo de los caudales aguas abajo, optimizar el diseño de las turbinas según las condiciones específicas de cada planta y reducir los costos a través de enfoques modulares.

Economía

Los proyectos de ingeniería civil que se basan en el diseño y ejecución de las presas tienen considerables retos económicos debido a sobrecostos y retrasos en los cronogramas, lo que puede amenazar la viabilidad financiera y técnica de estas infraestructuras. De acuerdo con diversos estudios que se han realizado anteriormente, los sobrecostos pueden llegar a promediar valores en un 96% y los retrasos llegan a un 44% del tiempo previsto. En el caso específico de Brasil, las presas hidroeléctricas registraron un sobrecosto promedio de 97.53% y un retraso promedio de 74.28%. Este problema es un fenómeno común en los países en desarrollo, en donde el 60% de los proyectos están sobre presupuestados más del 20%. Así, en regiones desarrolladas como Australia, los sobrecostos en proyectos de presas oscilan entre el 49% y el 120%. (Amies, Senaratne , & Jin , 2023)

Dichos problemas se ven agravados por la falta de estimaciones de costos y beneficios basadas en hechos concretos, condiciones económicas inestables, marcos

regulatorios débiles y la poca participación de la comunidad a la que pertenecen las presas en el proceso de planificación. Sin embargo, sistemas y mecanismos innovadores en economía y tecnología podrían reducir estos problemas. Por un lado, la implementación de modelos avanzados de evaluación de riesgos financieros permitirá a los inversores anticipar y prevenir los sobre costos inminentes desde el principio (Amies, Senaratne , & Jin , 2023)

Además, el uso de tecnologías avanzadas en los métodos constructivos, como las herramientas digitales y los sistemas modulares, optimizan los costos de materiales y tiempos de construcción.

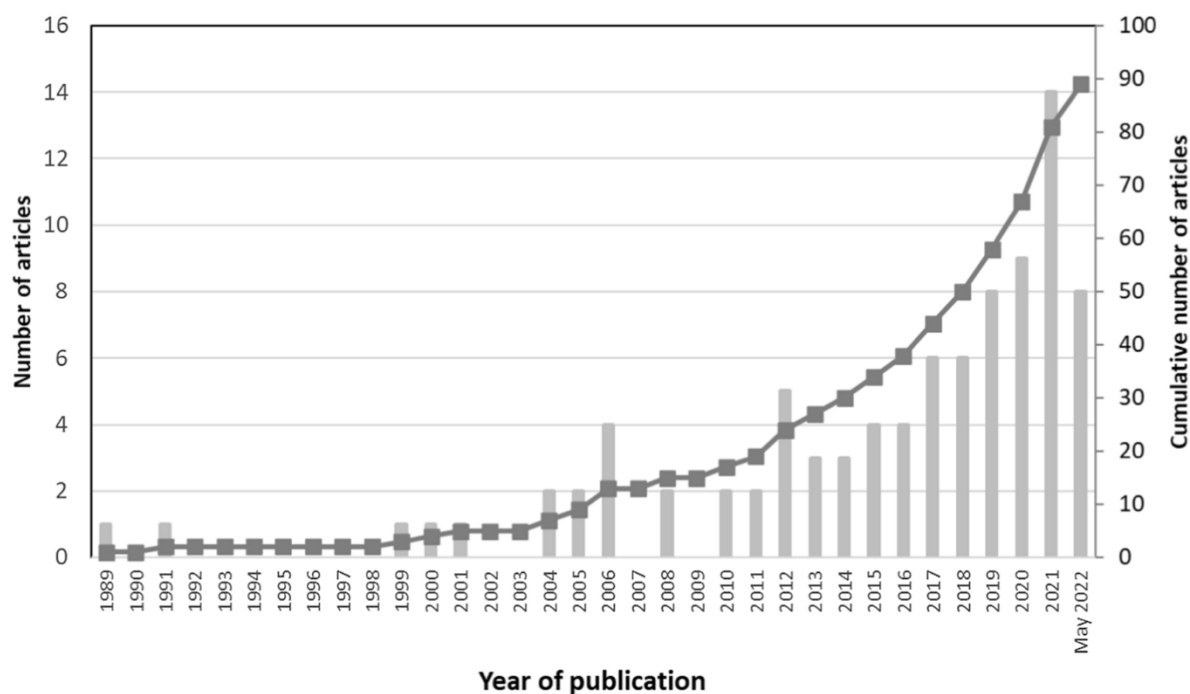
En el artículo que tiene como título "Success factors for dam engineering industry: systematic literature review and conceptual classification" se habla de la revisión sistemática de la literatura que busca identificar y clasificar los factores críticos de éxito (FCE) en proyectos de ingeniería de presas. La metodología se puede desglosar en varias etapas clave:

1. Definición del Alcance: Se estableció un marco claro para la revisión, enfocándose en la identificación de FCE que afectan el éxito de los proyectos de presas. Esto incluyó la consideración de factores económicos, sociales y ambientales.

2. Búsqueda de Literatura: Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas y bibliográficas, resultando en la recopilación de 1582 artículos de investigación primaria. Esta búsqueda se centró en publicaciones que abordaran el éxito de proyectos de infraestructura, con un enfoque particular en la ingeniería de presas.

3. Criterios de Inclusión y Exclusión: Se aplicaron criterios rigurosos para seleccionar los artículos relevantes. De los 1582 artículos, se eligieron 89 que cumplieran con los criterios de inclusión, que incluían la relevancia temática y la calidad metodológica.

Figura 32



Nota. Numero de artículos de revistas seleccionados por año para la lista de FCE.

4. Extracción de Datos: Se llevó a cabo un proceso sistemático de extracción de datos de los artículos seleccionados. Esto implicó la identificación de variables clave, temas recurrentes y la categorización de los FCE.

5. Análisis Temático: Se utilizó un enfoque de análisis temático para identificar patrones y relaciones entre los FCE. Este análisis permitió agrupar los factores en categorías significativas, facilitando la comprensión de su interrelación.

6. Clasificación Conceptual: Se aplicó la teoría de organización temporal para clasificar los FCE en diferentes dimensiones del proyecto, como la planificación, el diseño,

la construcción y la operación. Esto resultó en un modelo de clasificación conceptual que ayuda a visualizar cómo los FCE se integran en el ciclo de vida del proyecto.

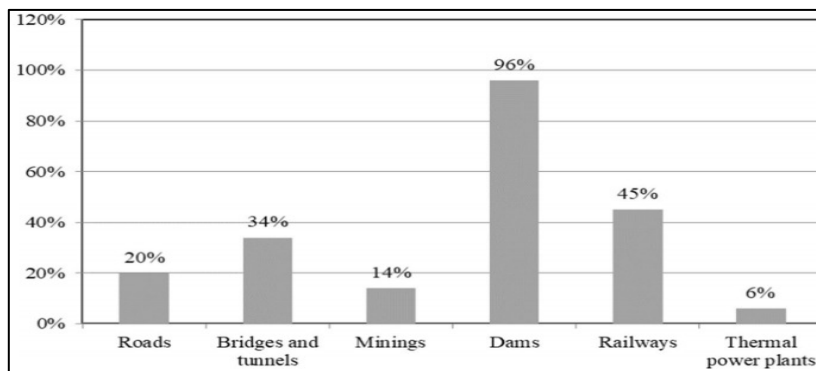
Casos de Estudio

Aunque el estudio no se centra en un caso específico, se considera que los hallazgos son aplicables a una variedad de proyectos de ingeniería de presas en diferentes contextos geográficos, especialmente en Australia. La investigación destaca que:

- **Diversidad de Proyectos:** Los FCE identificados son relevantes para una amplia gama de proyectos de presas, lo que sugiere que los factores pueden ser universales o adaptables a diferentes contextos.
- **Comparación con Otros Sectores:** Se identificaron veintiocho factores de éxito que se derivaron de estudios en sectores de infraestructura relacionados, lo que proporciona un contexto comparativo y una base para la aplicación en la ingeniería de presas.

Figuras 33

Sobrecosto de las presas en comparación con otros tipos de infraestructura



Nota. Tomado de (Amies, Senaratne , & Jin , 2023)

Un estudio realizado por investigadores de la Universidad de Oxford ofrece una visión amplia sobre la eficacia de los grandes proyectos de ingeniería de represas. Según sus hallazgos, el 80% de estos proyectos enfrenta retrasos significativos, con demoras promedio del 44%. Además, los costos suelen superar lo presupuestado en un 96%, lo que evidencia un grave problema de planificación y gestión en comparación con otros tipos de proyectos. Lo más preocupante es que, a pesar de las lecciones que los desarrolladores aseguran haber aprendido, el desempeño general de los proyectos.

Estos resultados subrayan la necesidad de una gestión más rigurosa y estratégica en la planificación y ejecución de las represas, incluyendo una mejor estimación de costos, plazos y metas, para garantizar que estos proyectos sean sostenibles y eficientes en todos los aspectos.

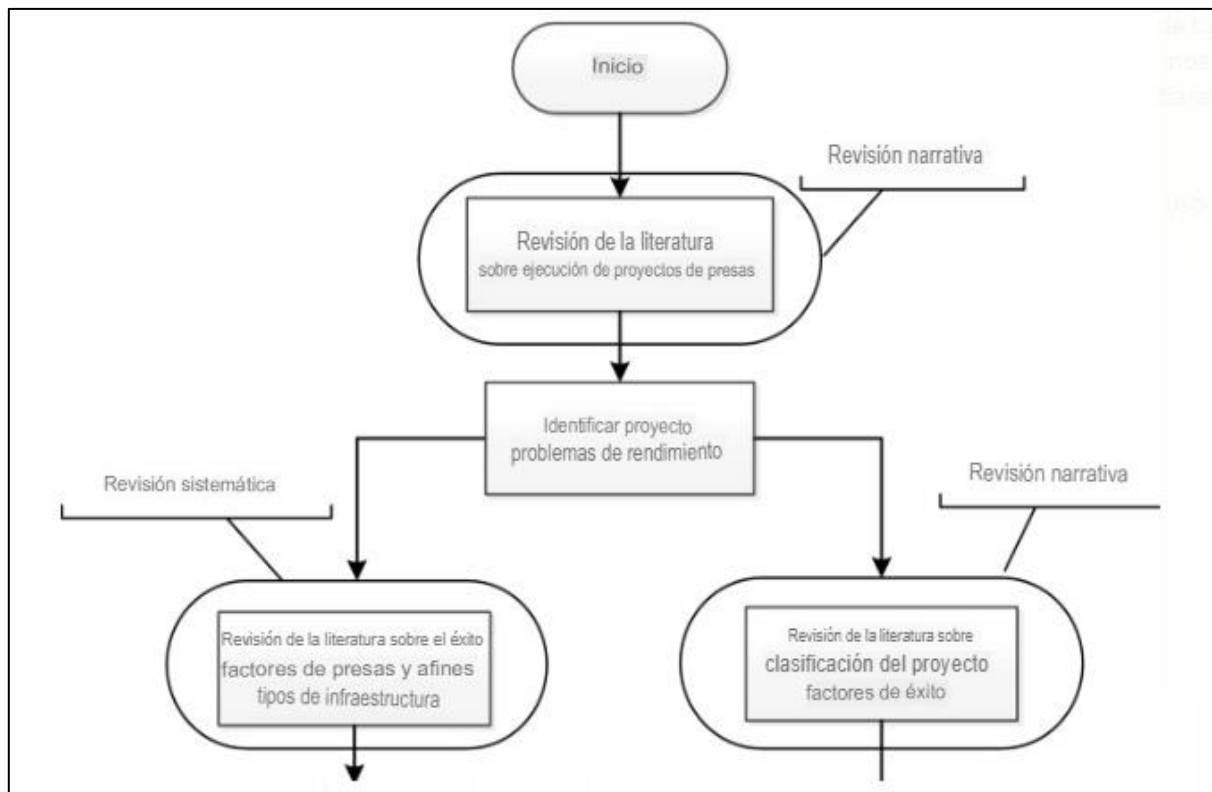
Otro estudio sobre el desempeño de las represas hidroeléctricas en Brasil reveló que, en promedio, los costos finales superaron en un 97,53% las estimaciones iniciales, y los sobrecostos en el tiempo alcanzaron el 74,28%. Por su parte, Awojobi y Jenkins llevaron a cabo una investigación en 33 países en desarrollo que mostró que el 60% de las represas hidroeléctricas tenían sobrecostos superiores al 20% del presupuesto originalmente planteado.

Además, un análisis reciente de Baurzhan y colaboradores, enfocado en 57 proyectos financiados por el Banco Mundial, evidencia que el 70% de las represas estudiadas se enfrentan a sobrecostos. En más del 80% de los casos, los plazos también se extendieron significativamente, lo que elevó los costos totales de \$48 mil millones a \$64 mil millones.

Estos datos ilustran un patrón recurrente de falta de precisión en la planificación y ejecución de proyectos de represas hidroeléctricas, lo que subraya la necesidad de adoptar enfoques más rigurosos en la gestión de costos y tiempos.

Figuras 34

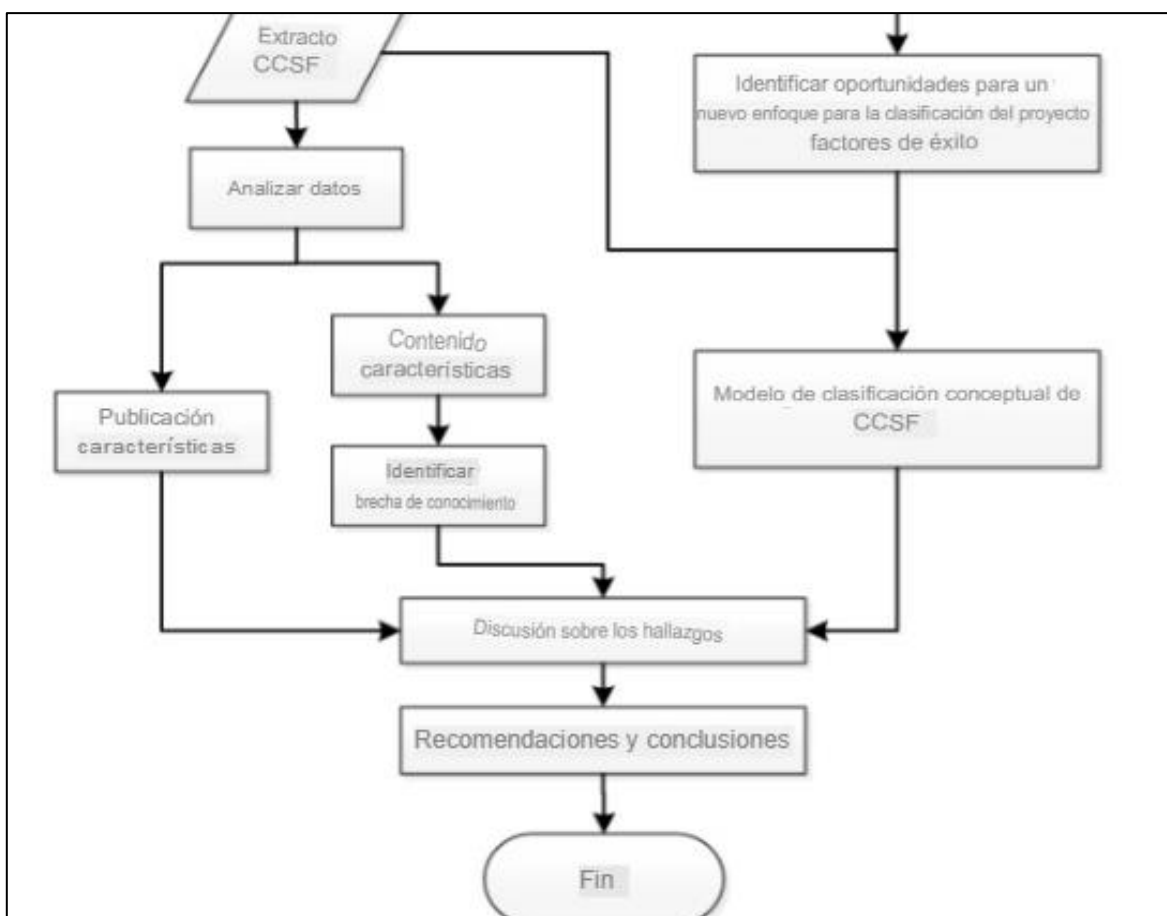
Proceso investigativo parte a



Nota. Tomado de (Amies, Senaratne , & Jin , 2023)

Figuras 35

Proceso investigativo parte b



Nota. Tomado de (Amies, Senaratne , & Jin , 2023)

También, la vinculación directa de comunidades con la etapa de diseño de las presas puede prevenir conflictos y dar apoyo unánime a la iniciativa, que redundará en menores costos por interrupción. En síntesis, más allá de procurar la economía de los proyectos de presas, estas fomentarían medidas una planificación más adecuada, inclusiva y sostenible.

Recomendaciones

El estudio ofrece varias recomendaciones clave para mejorar la gestión de proyectos de presas:

1. Investigación Adicional: Se sugiere realizar investigaciones más específicas para identificar FCE en diferentes fases del proyecto, lo que podría proporcionar una comprensión más matizada de cómo los factores influyen en el éxito en cada etapa.

2. Consultas con Expertos: Se recomienda llevar a cabo estudios Delphi, que involucren a expertos en gestión de proyectos, para validar y refinar la lista de FCE. Esto ayudaría a asegurar que los factores identificados sean relevantes y aplicables en la práctica.

3. Desarrollo de un Marco de Trabajo: Se aconseja desarrollar un marco de trabajo que integre los FCE identificados en la práctica de gestión de proyectos de presas. Este marco podría servir como guía para los gerentes de proyectos en la planificación y ejecución de proyectos.

4. Capacitación y Desarrollo: Se sugiere que las organizaciones involucradas en proyectos de presas inviertan en capacitación y desarrollo de habilidades para asegurar que los equipos de proyecto comprendan y puedan aplicar los FCE de manera efectiva.

Conclusiones

El estudio concluye que, a pesar de la importancia crítica de los proyectos de ingeniería de presas, existe una notable falta de investigación sobre los factores que determinan su éxito. Las conclusiones clave incluyen:

- Necesidad de un Enfoque Basado en Evidencia: La identificación y clasificación de los FCE proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y prácticas en la gestión de proyectos de presas. Esto es esencial para abordar los problemas de sub-rendimiento en la industria.

- Impulso a la Mejora Continua: La investigación destaca la importancia de un enfoque sistemático y basado en evidencia para mejorar la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura crítica, lo que podría llevar a una mejora significativa en el rendimiento general de los proyectos de presas.

- Perspectivas Futuras: Se enfatiza que el próximo paso en la investigación doctoral será utilizar la lista de FCE identificados para determinar cuáles son críticos para el éxito del proyecto en cada una de las cuatro fases de los proyectos de ingeniería de presas en Australia: planificación, diseño, construcción y operación.

Materiales

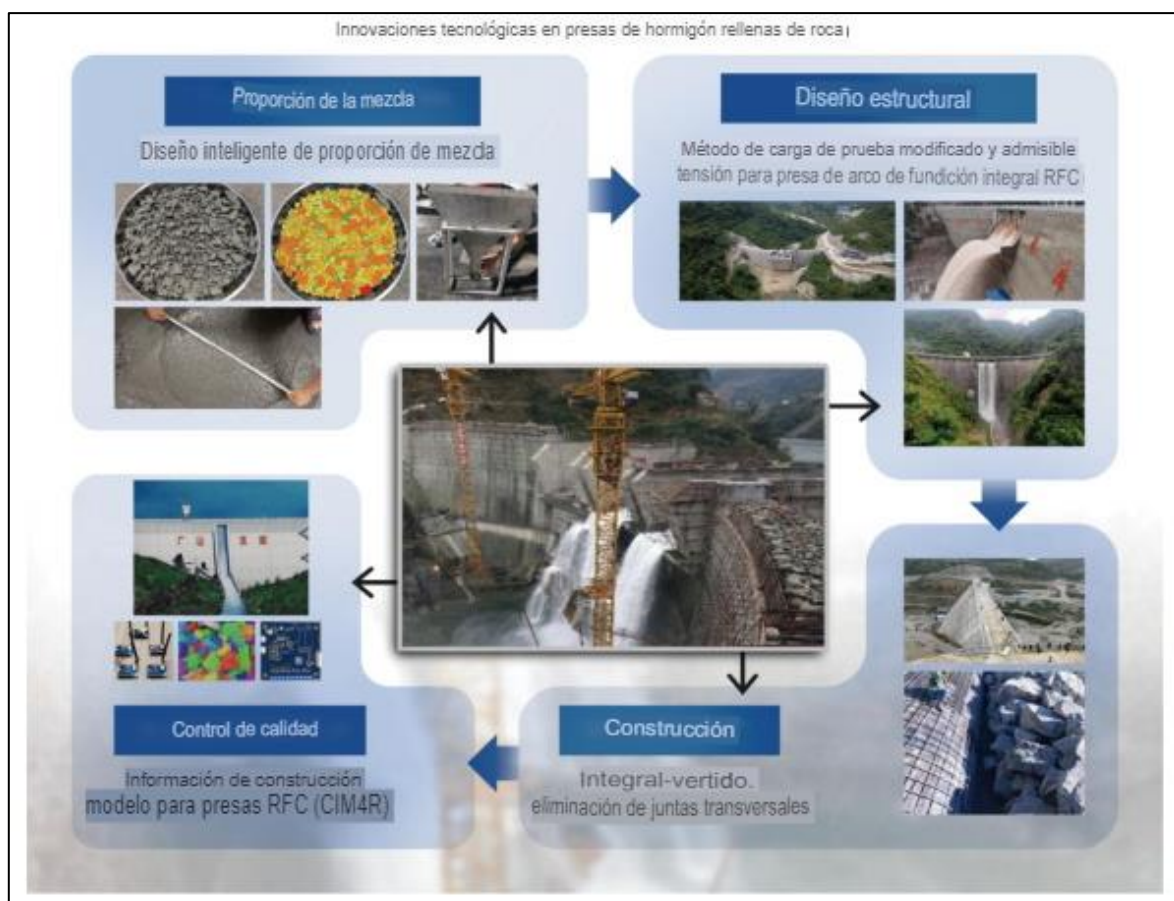
La combinación de concreto relleno de roca, RFC, con concreto autocompactante de alto rendimiento, HSCC, es una de las innovaciones clave en la construcción de presas. En este caso, el RFC rellena los huecos entre las grandes rocas precolocadas. Dado que el RFC tiene un uso de cemento relativamente bajo, la cantidad de consumo de cemento total, y por tanto, los costos y las emisiones de carbono disminuyen significativamente en comparación con el diseño tradicional que utiliza principalmente ligantes cementosos. Además, el RFC elimina la necesidad de tuberías de enfriamiento al minimizar el calor de hidratación y la retracción, lo que simplifica el proceso constructivo. Desde el punto de vista económico, la construcción de embalses de RFC resulta entre un 10 y un 30% más barata que la construcción de un embalse de hormigón armado (Jin y otros, 2024).

Desde la perspectiva de la construcción, se encuentra el uso de materiales sustitutivos locales como la ceniza volante o el polvo de piedra caliza, inserto en la mezcla HSCC con la mejora de algunas propiedades y la reducción directa del calor de hidratación. En regiones donde la ceniza volante es escasa, como se señala en la presa Songlin, el uso de

polvo de piedra caliza resulta ser una solución técnicamente viable y económicamente rentable. Además, la introducción de materiales locales ha resultado en el uso de arenisca roja en la presa Qiyi, lo que ha llevado a una disminución de los costos, después de pruebas específicas que demuestran su resistencia. La creación de software especializado para la optimización de mezclas de HSCC ha resultado en proporciones adecuadas para las condiciones locales, lo que ha mejorado la consistencia del concreto y la facilidad de aplicación. Incluso el uso de agregados más pequeños de hasta 150 mm ha simplificado el proceso de construcción y asegurado que se compacta adecuadamente. Dichas innovaciones no solo optimizan el uso de recursos locales y disminuyen los costos, sino que presentan un impacto ambiental objetivo, es decir, reducir las emisiones de CO₂ en un 72% cuando se producen materiales y en un 51% cuando se fabrica la represa. Por lo tanto, el RFC ahora puede considerarse una solución sostenible y económica para la construcción de presas, lo que allana el camino para tecnologías más inteligentes y automatizadas en el futuro. (Jin y otros, 2024).

Figuras 14

Innovaciones técnicas en las presas RFC.



Nota. Tomado de (Jin y otros, 2024).

El artículo titulado "A Brief Review of Rock-Filled Concrete Dams and Prospects for Next-Generation Concrete Dam Construction Technology" ofrece una visión integral sobre la tecnología de los muros de concreto rellenos de roca (RFC) y su evolución en la construcción de presas.

Caso de Estudio

El artículo se centra en la experiencia de China en la construcción de presas RFC, donde se han llevado a cabo más de 100 proyectos exitosos. Un caso destacado es el Datugai RFC

gravity dam, que tiene una altura de 41 metros y una monolito de más de 130 metros de ancho, lo que representa una innovación significativa en comparación con las presas de concreto convencionales, que suelen tener un ancho de aproximadamente 20 metros. Este diseño elimina las juntas transversales y las zonas impermeables, lo que mejora la integridad estructural y reduce el riesgo de filtraciones.

Los proyectos mencionados, como el Datugai RFC gravity dam, se han desarrollado en diversas provincias de China, incluyendo Guizhou. La implementación de esta tecnología ha sido respaldada por el Instituto de Investigación y Diseño de Zunyi, que ha liderado el diseño y la construcción de estas presas innovadoras.

Recomendaciones

El artículo sugiere varias recomendaciones para la implementación y mejora de la tecnología RFC:

1. Monitoreo y Control de Calidad: Se enfatiza la importancia de un sistema de monitoreo robusto que incluya sensores para medir la presión de elevación, la temperatura y la deformación en tiempo real. Esto es crucial para garantizar la seguridad y el rendimiento de la presa durante su construcción y operación.
2. Uso de Inteligencia Artificial: Se recomienda la integración de modelos de información de construcción basados en inteligencia artificial (CIM4R) para optimizar la gestión de proyectos, mejorar la calidad del material y facilitar la toma de decisiones en el sitio de construcción.

3. Investigación Continua: Se sugiere que se realicen más investigaciones sobre la compactación del vertido y el efecto de las rocas grandes en las propiedades mecánicas del concreto, para consolidar aún más el conocimiento en esta área.

Conclusiones

El artículo concluye que la tecnología de las presas RFC representa un avance significativo en la construcción de presas, ofreciendo beneficios en términos de costos, sostenibilidad y eficiencia. La baja huella de carbono y el bajo consumo de cemento hacen que esta técnica sea ambientalmente amigable. Además, se destaca que la experiencia acumulada en China puede servir como modelo para la adopción de esta tecnología en otros países, promoviendo un desarrollo sostenible en la construcción de infraestructuras hidráulicas.

Materiales amigables con el medio

El artículo " Tecnologías clave y tendencias de desarrollo futuro de la construcción inteligente de presas de tierra-roca" de Yujie Wang y colaboradores, publicado en septiembre de 2023 en el Journal of Intelligent Construction”, aborda las tecnologías clave y las tendencias futuras en la construcción inteligente de presas de tierra y roca.

Transformación en la Construcción de Presas

La construcción de presas de tierra y roca ha pasado de métodos manuales a un enfoque más inteligente, impulsado por avances en tecnologías de información como la computación en la nube, el Internet de las Cosas (IoT) y el big data. Esto ha permitido un control más refinado y una mejor gestión de la calidad en los procesos de construcción.

Sistemas de Monitoreo Inteligente

Se han desarrollado sistemas de monitoreo en tiempo real que permiten la gestión dinámica y el control de calidad durante la construcción de presas. Estos sistemas son capaces de identificar materiales, controlar la compactación y realizar pronósticos de advertencia temprana.

Tecnologías Clave en la Construcción Inteligente

El artículo destaca varias tecnologías clave:

- **Modelado de Información de Construcción (BIM):** Se utiliza para la descomposición fina de modelos en plataformas web, facilitando la visualización y gestión de la construcción.
- **Identificación Rápida de Tamaños de Partículas:** Se emplean tecnologías de imagen digital y reconocimiento para evaluar la gradación de materiales de manera eficiente.
- **Compacción Inteligente:** La integración de tecnología de conducción autónoma en maquinaria de construcción permite un control preciso del proceso de compactación.
- **Evaluación en Tiempo Real:** Se utilizan modelos de aprendizaje automático y redes neuronales para evaluar la calidad de la compactación de manera precisa.

Aplicaciones Prácticas

El artículo presenta ejemplos de implementación de estas tecnologías en proyectos reales, como la construcción de la presa Chushandian, donde se ha mejorado la calidad y eficiencia de la construcción mediante el uso de tecnologías inteligentes.

Tendencias Futuras

Se anticipa un desarrollo continuo hacia la construcción de presas digitales y gemelos digitales, que permitirán una gestión más efectiva y una mejor planificación en las fases de construcción y operación. Se espera que la digitalización y la inteligencia artificial sigan transformando la industria de la construcción de presas.

Conclusiones

La investigación concluye que la integración de tecnologías digitales y de inteligencia artificial en la construcción de presas de tierra y roca no solo mejora la eficiencia y calidad de la construcción, sino que también proporciona un marco sólido para el desarrollo de proyectos de presas de alta complejidad en el futuro. Los resultados de esta investigación ofrecen referencias valiosas para la construcción y desarrollo de proyectos de presas de alta calidad, contribuyendo al desarrollo económico y la estabilidad social en las áreas de construcción de presas.

Cimentaciones

El artículo presenta un modelo innovador para monitorear y predecir el comportamiento de la presión de filtración en los cimientos de presas, utilizando una combinación de descomposición de modo variacional (VMD) y una red convolucional temporal mejorada (ITCN). La presión de filtración es crucial para la seguridad de las presas de concreto, ya que afecta su estabilidad. Sin embargo, los datos de presión pueden verse contaminados por ruido debido a la complejidad del entorno donde se encuentran las presas, lo que dificulta las predicciones precisas.

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Hohai, ubicada en Nanjing, China, específicamente en el Laboratorio Estatal Clave de Hidrología, Recursos Hídricos y Ingeniería Hidráulica, así como en el Colegio de Conservación de Agua e Ingeniería Hidráulica de la misma universidad.

Metodología

Eliminación de Ruido: Se aplica un método de eliminación de ruido que combina VMD y análisis de paquetes de wavelet. La VMD descompone la señal en varios componentes, y el análisis de wavelet se utiliza para limpiar los componentes más afectados por el ruido.

Modelo ITCN: Se desarrolla un modelo de red neuronal convolucional temporal mejorada (ITCN) para predecir la presión de filtración. Este modelo se optimiza mediante experimentos que correlacionan el tamaño del campo receptivo con la presión de filtración en los cimientos de la presa.

Comparación de Modelos: Los resultados del modelo ITCN se comparan con tres métodos de referencia: redes neuronales recurrentes (RNN), redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM) y modelos de regresión. Se utilizan indicadores como el error cuadrático medio (MSE) y el error absoluto medio (MAE) para evaluar la precisión de las predicciones.

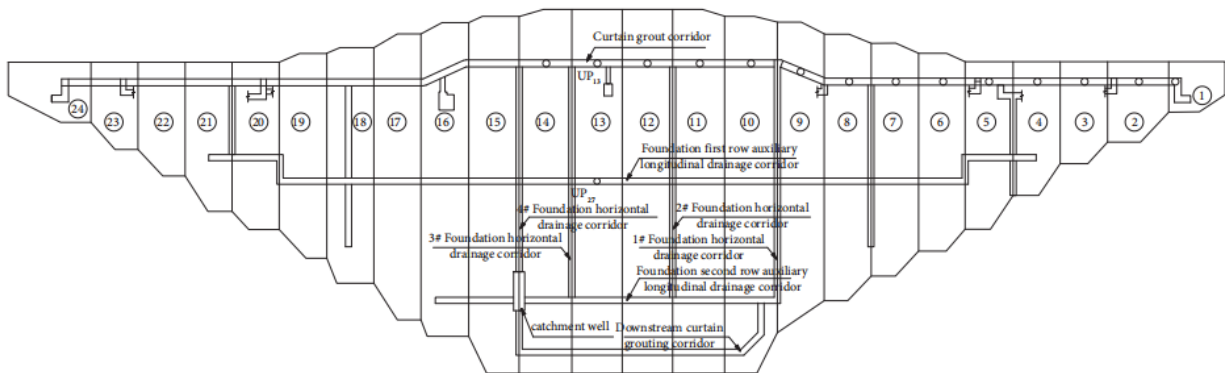
Resultados

Los resultados muestran que el modelo ITCN tiene una alta precisión y flexibilidad, superando a los modelos de referencia. Los indicadores del modelo ITCN son significativamente menores en comparación con los modelos LSTM y RNN, así como con el modelo de regresión.

Aplicación Práctica

El estudio se aplica a una presa de gravedad alta, donde se monitorea la presión de filtración en puntos específicos. Se recopilan datos de presión y variables ambientales, y se realiza un análisis exhaustivo para determinar el nivel óptimo de descomposición y el umbral de eliminación de ruido, lo que resulta en datos más precisos.

figura 37



Conclusiones

Eficiencia del Denoising: La combinación de VMD y análisis de wavelet mejora la calidad de los datos, lo que se traduce en una mayor precisión en las predicciones.

Modelo ITCN: El modelo ITCN, con su arquitectura flexible y capacidad para manejar datos de series temporales, demuestra ser superior a otros métodos tradicionales y de aprendizaje profundo.

Recomendaciones para Futuras Investigaciones: Se sugiere que en proyectos de nuevas presas se considere el uso de métodos de aprendizaje automático para construir modelos de monitoreo, especialmente en situaciones donde los conjuntos de datos son limitados.

En resumen, el artículo destaca la importancia de un enfoque innovador para el monitoreo y pronóstico de la presión de filtración en presas, combinando técnicas avanzadas de procesamiento de señales y aprendizaje profundo para mejorar la seguridad y estabilidad de estas estructuras críticas.

Recomendaciones

En base a lo tratado y establecido en la monografía se establecen algunas recomendaciones que podrían ayudar al diseño y ejecución de los proyectos de construcción de presas con el fin de optimizarlos. Por ejemplo, en primer lugar, se considera importante mejorar la formación y la capacitación de los especialistas involucrados en la implementación de represas. Por lo tanto, cabe mencionar que, en primer lugar, estas personas deben ser los ingenieros y técnicos, ya que la capacitación de los equipos multidisciplinarios que trabajan en tales instalaciones durante todas las etapas del trabajo, desde la planificación y hasta la operación y mantenimiento.

La demostración de inteligencia artificial es el conocimiento actual y antecedentes de ingeniería de materiales. Esto implica que se necesita garantizar una exposición constante a las nuevas técnicas, materiales y regulaciones. Además, hay que crear conciencia sobre las nuevas tecnologías emergentes que la inteligencia artificial y el modelado de información de construcción han evidenciado. La inteligencia artificial en la ingeniería de presas puede revolucionar la toma de decisiones en todos los ámbitos durante el ciclo de vida de los proyectos. Desde el diseño hasta la operación, los modelos de IA pueden buscar a través de grandes volúmenes de datos en busca de signos de posibles fallos estructurales, mejorar la planificación y reducir el gasto de recursos. Por ejemplo, los algoritmos IA pueden detectar patrones en la respuesta de las presas al cambio climático favoreciendo el descubrimiento de riesgos. Pueden ayudar a descubrir fallas y tomar medidas preventivas antes de que ocurra un colapso catastrófico.

A partir de la revisión sistemática de la literatura y de la evidencia obtenida de la SLR sobre los factores determinantes del éxito de los proyectos de ingeniería de presas, las

siguientes recomendaciones podrían contribuir al desarrollo exitoso de futuros estudios en este campo y crear oportunidades para la optimización de la mejora y rendimiento de los proyectos en el futuro:

Realizar un mayor número de estudios detallados de análisis e investigación de los factores críticos de éxito en cada una de las etapas del proyecto. Para tal fin, es crucial obtener una mejor comprensión de los factores de éxito críticos existentes y actuar siguiendo las recomendaciones del estudio de los usuarios y sus validaciones identificadas y propuestas en la SLR.

Es importante destacar que la clasificación de los factores de éxito debe ajustarse a una planificación específica en función de que las prioridades y los riesgos cambian a medida que progresa el proyecto. Idealmente, se deben realizar estudios adicionales para que las encuestas o las opiniones de los expertos de la industria permitan obtener sugerencias sobre los CR y los CS durante cada fase: . Debe: Desarrollar un modelo dinámico de clasificación A Incorporar herramientas friso de gestión avanzada C: Promover la capacitación continua en todos los estilos de proyecto y de gestión de tecnología La complejidad Contribuir a la formación de un equipo interdisciplinario y reunir a expertos externos El complejo Evaluar el desempeño del proyecto en curso Una vez que se haya implementado Realizar estudios comparativos y estudios de casos basados en proyectos anteriores.

a continuación, se proponen algunas estrategias concretas para su implementación en proyectos de construcción de presas, enfocadas en la capacitación del personal.

Impartiendo cursos intensivos en temas como inteligencia artificial aplicada a la ingeniería, gestión de riesgos en proyectos hidroeléctricos, y sostenibilidad ambiental.

Organizar talleres y seminarios para compartir las últimas tendencias y mejores prácticas en el sector, realizar visitas a proyectos exitosos para conocer de primera mano las tecnologías y metodologías utilizadas.

En el desarrollo de competencias digitales se podían implementar estrategias como:

Plataformas de e-learning: Crear plataformas en línea para facilitar el acceso a materiales de estudio y cursos interactivos.

Simuladores virtuales: Desarrollar simuladores virtuales para que los ingenieros puedan practicar el diseño y la operación de presas en un entorno seguro y controlado.

Redes profesionales: Fomentar la creación de redes profesionales para que los ingenieros puedan compartir experiencias y conocimientos.

Conferencias y congresos: Participar en eventos académicos y profesionales para mantenerse actualizado sobre los últimos avances en el sector.

Conclusiones

Las presas son una pieza esencial para mejorar la calidad de vida y el crecimiento de las comunidades donde se construyen. No solo aseguran el suministro de agua para beber, cultivar alimentos y desarrollar actividades industriales, sino que también producen energía hidroeléctrica, una alternativa más limpia y renovable frente a los combustibles tradicionales. Sin embargo, para que realmente cumplan su propósito, es necesario planificarlas de manera responsable, buscando siempre maximizar sus beneficios mientras se reducen los impactos negativos en las personas y el medio ambiente.

La implementación y aplicación materiales como el concreto compactado con rodillo (RCC) y los núcleos impermeables hechos con arcilla compactada ha transformado la manera de construir presas. Estas soluciones no solo hacen que los proyectos sean más rápidos y económicos, sino que también disminuyen las emisiones de carbono y aumentan la resistencia y durabilidad de las estructuras. Gracias a estos avances, ahora es posible construir presas más sostenibles y eficientes, incluso en áreas donde los recursos son escasos.

La construcción de presas ofrece un sin número de beneficios, su construcción también puede causar impactos ambientales importantes, como la modificación de ecosistemas acuáticos y terrestres, la disminución de la biodiversidad y el desplazamiento de poblaciones. Por eso, es crucial aplicar enfoques sostenibles, como diseñar flujos de agua controlados y utilizar tecnologías que reduzcan los efectos negativos sobre el medio ambiente, garantizando a su vez el uso responsable de los recursos hídricos.

La IA realmente está transformando el mundo de la construcción y operación de presas. Gracias a modelos y sistemas de monitoreo inteligentes, es posible optimizar el

diseño estructural, anticipar cómo funcionará la presa en diversas condiciones y detectar posibles problemas en tiempo real. Esto no solo mejora la seguridad de las presas, sino que también aumenta su eficiencia operativa, permitiendo que respondan mejor a cambios climáticos y de demanda.

El uso de tecnologías avanzadas, como las turbinas de flujo ambiental (E-flow), ha sido un gran paso hacia una generación de energía hidroeléctrica más sostenible. Estas innovaciones aprovechan los caudales de agua disponibles para generar más energía sin necesidad de nuevas construcciones, lo que ayuda a reducir el impacto ambiental y a minimizar las intervenciones en el entorno natural.

El crecimiento de la población y la falta de agua, las presas jugarán un papel clave en la gestión de los recursos hídricos y la producción de energía. No obstante, su éxito dependerá de la habilidad de los ingenieros para incorporar tecnologías sostenibles, diseños que sean resistentes a cambios y modelos de gestión que prioricen tanto el bienestar de las comunidades como la protección del medio ambiente.

Referencias

Alamo, E. (2009). *PRESAS DE GRAVEDAD*. Obtenido de Universidad nacional de Santa:
chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/http://biblioteca.uns.edu.pe/saladoce
ntes/archivoz/publicacionez/represas_de_gravedad_aplicacion__tmp4ab639d7.pdf

Amador , A. (16 de Febrero de 2016). *Principales tipos de presas y su clasificación*.

Obtenido de <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>

Amies, P., Senaratne , S., & Jin , X. (4 de Enero de 2023). *Factores de éxito en la industria de la ingeniería de presas: revisión sistemática de la literatura y clasificación conceptua*. Obtenido de Springer: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-022-01022-4#Abs1>

Angelakis , A., Baba, A., Valipour , M., Dietrich , J., Kransilnikoff, J., Bilgic, E., . . .

Ahmed, A. (17 de Mayo de 2024). *Presas de agua: desde la antigüedad hasta la actualidad y el futuro* . Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1889>

Benavente, R. (2 de Febrero de 2017). *El confidencial* . Obtenido de La ingeniería que ha evitado (de momento) una inundación catastrófica en California:
https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2017-02-16/presa-oroville-california-desalojo-200-000-personas_1332606/

Carvajal, G. (12 de Marzo de 2019). *La Gran Presa de Marib, una de las maravillas de la ingeniería de la Antigüedad*. Obtenido de
<https://www.labrujulaverde.com/2019/03/la-gran-presa-de-marib-una-de-las-maravillas-de-la-ingenieria-de-la-antigüedad>

Cruz, D. F. (2020). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS TIPO BÓVEDA, RESPECTO A LA*

TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS EN TIERRA Y ENROCADO. Obtenido de Repository Universidad Catolica : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/537075a6-25d2-45fe-b237-c626c2a30ce0/content>

DINAGUA. (2011). *Manual de diseño y construcción de pequeñas presas*. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/Manual%20Pequeñas%20Presas%20V1-v1_01.pdf

Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. (2016). *GEOMECÁNICA PARA INGENIEROS*. Obtenido de Repositorio Universidad Nacional : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/introduccion.pdf>

El Espectador. (31 de Octubre de 2023). *Hidroituango ya está generando nueva energía comercial con turbinas 3 y 4*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/economia/empresas/hidroituango-ya-esta-generando-nueva-energia-comercial-con-turbinas-3-y-4/>

Espinoza , G., Faria, D., Mendez, L., & Navarro, Y. (2017). *Presas de enrocado*. Obtenido de Universidad de zulía : <https://es.slideshare.net/slideshow/presas-de-enrocado/73188158>

Europea, C. (19 de Abril de 2023). *Qué es la Inteligencia Artificial*. Obtenido de Plan de recuperación, Transformación y Resiliencia: <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-inteligencia-artificial-ia-prtr>

Garrett , K., McManamay, R., & Witt, A. (Marzo de 2023). *Aprovechar el poder de los caudales ambientales: mantener la integridad de los ecosistemas fluviales y*

aumentar el potencial energético de las represas hidroeléctricas. Obtenido de Science Direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122009303>

Hariri-Ardebili , A., Mahdavi , G., Nuss, L., & Lall, U. (Noviembre de 2023). *El papel de la inteligencia artificial y las tecnologías digitales en la ingeniería de presas:*

revisión narrativa y perspectivas. Obtenido de Science Direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197623009971>

Jin, F., Huang , D., Lino, M., & Zhou, H. (Enero de 2024). *Breve reseña de las presas de hormigón rellenas de roca y perspectivas para la tecnología de construcción de*

presas de hormigón de próxima generación. Obtenido de Science Direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809923004769>

Loor Mendoza, D. (2012). *PRESA HOOVER: CONSTRUCCIÓN Y PATOLOGÍA DE UN*

ÍCONO DE LA INGENIERA. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/presa-hoover-aci-daniela-loor-2-pdf-free.html#DanielaAlexandraLoorMendoza>

maikelnai. (13 de Febrero de 2009). *Sadd el-Kafara, la primera presa de la historia*.

Obtenido de <https://maikelnai.naukas.com/2009/02/13/sadd-el-kafara-la-primera-presa-de-la-historia/>

Maza alvarez, J. (2004). *La necesidad de construir presas* . Obtenido de

<https://iwaponline.com/IA/article/11/4/445/68399/La-necesidad-de-construir-presas>

Mendoza Valverde, Y. (2022). *Características técnicas sobre la presa de Hoover* . Obtenido de Universidad privada Antenor Orrego:

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-antenor-orrego/metodologia-de-la-investigacion/caracteristicas-tecnicas/15718115>

Morales Esguerra, E. (2019). *Deficiencias regulatorias sobre los efectos secundarios de la generación de energía eléctrica: Un análisis del caso Hidroituango*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d5ca7bf-6c98-430e-abc5-f7e281d1338f/content

presas, C. N. (2006). Guía técnicas de seguridad de presas. *Colegio de Ingenieros* . España.

Ramos Bosque , D. (Agosto de 2015). *PRESAS DE TIERRA* . Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ribuni.uni.edu.ni/2367/1/80910.pdf

Sharma, S., Waldman, J., Afshari, S., & Fekete, B. (16 de nov de 2018). *Status, trends and significance of American hydropower in the changing*. Obtenido de ScienceDirect: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271969/1-s2.0-S1364032118X00185/1-s2.0-S1364032118307305/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEGEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQDw6mTtw9fTmhLWmn8zGhbU5XdpsZYUUVR5c0igh5U59gIhANGEMtljav3v1SO4udZ%2BpNLhpXtRA1d4cXJxCs2Iy0>

Wenxuan, C., Xinbin, W., Junjie, L., & Fei, K. (02 de sep de 2024). *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*. Obtenido de ScienceDirect: <https://pdf.sciencedirectassets.com/781313/1-s2.0-S2772991524X00055/1-s2.0->

S2772991524000410/main.pdf?X-Amz-Security-

Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEGEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDizHlCQgXhX

vk6sZb7y4Q64njAOpfhNjZPvvOAH8kSrwIgJsjt2uMz4P1KVjumSxvwA3A3y80q

Aso2W6nti0OBBnIq