



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**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**

**MODALIDAD: VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL**

**PRESENTADO POR:**

DAVID FELIPE CRUZ 504831

**DOCENTE ASESOR:**

JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA

**BOGOTÁ, D. C., 2020**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra)



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, que me han motivado y apoyado de todas las maneras posibles para poder culminar mi formación profesional.

A Natalia Camacho, Alejandra Ruiz y Rodrigo Vargas por ser mis compañeros de viaje y excursión a un nuevo país (Brasil) y nuevas experiencias.

A Aquellas personas que me han acompañado a lo largo del camino de elaboración de esta monografía y durante toda mi formación como profesional y persona, que me han brindado su apoyo y ánimo cuando lo he necesitado.

A mi tutor de proyecto de grado, que gracias a su acompañamiento, tiempo y dedicación incondicional han hecho posible este gran reto.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.1. Antecedentes .....	10
1.2 Justificación.....	12
1.3. Definición del Problema.....	16
1.4. Formulación del problema.....	16
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	18
2.1. Objetivo General .....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. MARCO REFERENCIAL .....	19
3.1. Marco Contextual .....	19
3.1.1. Presa en Bóveda Hidroeléctrica De Funil (Brasil).....	19
3.1.2. Presa en enrocado Hidroeléctrica del Prado. (Tolima - Colombia).....	21
3.2 Marco Teórico - Conceptual.....	22
3.2.1 Clasificación de las presas: .....	22
3.3. Estado del Arte .....	27
3.3.1 Antecedentes de fallas de presas.....	28
3.4. Marco legal.....	34
4. METODOLOGÍA .....	38
5. LIMITACIONES .....	47
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	48
6.1. Descripción y características Represa de Prado en Colombia.....	48
6.2. Descripción y características Represa de FUNIL (BRASIL).....	50
6.3. Comparación de las características De las Hidroeléctricas Funil y Prado .....	53
6.3.1 Ventajas y Desventajas Presas en Tierra y enrocado.....	56
6.3.2. Ventajas y Desventajas Presas doble arco.....	57
6.4 Costos de diseño y mantenimiento de las represas de Hidroprado y Funil.....	58

6.4.1 Evaluación comparativa de los costos de diseño y mantenimientos de la presa de prado Hidroprado .....	58
6.4.2. Evaluación Económica y Financiera de la Presa Hidroeléctrica Funil .....	59
6.5. Estimación de los Costos y Beneficios por medio de fórmulas y ecuaciones lineales .....	60
6.6. Colombia y sus tipos de presas.....	65
CONCLUSIONES .....	67
RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFIA .....	71
ANEXOS .....	75

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> MEDIOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA.....	13
<b>FIGURA 2.</b> REPRESA DE FUNIL - RÍO DE JANEIRO, REPRESA TIPO BÓVEDA....	19
<b>FIGURA 3.</b> DISEÑO DE LA PRESA FUNIL .....	19
<b>FIGURA 4.</b> PRESA DE PRADO, TOLIMA .....	21
<b>FIGURA 5.</b> DISEÑO CONSTRUCTIVO REPRESAS CON RELLENO DE TIERRA Y ENROCADOS .....	24
<b>FIGURA 6.</b> GUÍA DE LA VISITA REPRESA FUNIL.....	39
<b>FIGURA 7.</b> ENTRADA PRINCIPAL REPRESA FUNIL, OPERADA POR FURNAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SA .....	39
<b>FIGURA 8.</b> MURO DE CONTENCIÓN REPRESA FUNIL .....	40
<b>FIGURA 9.</b> GENERADOR ELECTRÓPTICO.....	40
<b>FIGURA 10.</b> CARRETERAS DE ACCESO A LA REPRESA .....	41
<b>FIGURA 11.</b> REBOSADERO REPRESA FUNIL.....	41
<b>FIGURA 12.</b> COMPUERTAS Y TÚNEL DE REBOSE .....	42
<b>FIGURA 13.</b> EMBALSE ARTIFICIAL DE LA REPRESA.....	42
<b>FIGURA 14.</b> MEDIDORES DE DILATACIÓN ZONA SUPERFICIAL Y SOBRE LA CORONA DE LA PRESA. ....	43
<b>FIGURA 15.</b> MEDIADORES DE DILATACIÓN ZONA INFERIOR CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	43
<b>FIGURA 16.</b> CASA DE MÁQUINAS .....	44
<b>FIGURA 17.</b> VISTA EXTERIOR REPRESA DE FUNIL TIPO DOBLE ARCO. ....	44
<b>FIGURA 18.</b> COMPUERTA HIDRÁULICA TIPO ORUGA .....	45
<b>FIGURA 19.</b> REPRESA HIDROPRADO .....	48
<b>FIGURA 20.</b> HIDROELÉCTRICA FUNIL.....	50
<b>FIGURA 21.</b> COSTOS FINALES DE LA PRESA (AUD 2016 Y (A) EL VOLUMEN DE LA PRESA.....	61
<b>FIGURA 22.</b> COSTOS FINALES DE LA PRESA (AUD 2016) Y (B) LA ALTURA DE LA PRESA.....	62
<b>FIGURA 23.</b> COSTO FINAL DE LA PRESA (2016 AUD) POR RENDIMIENTO DE DEPÓSITO ML Y ÁREA DE CAPTACIÓN .....	62
<b>FIGURA 24.</b> SOBRECOSTO DE CAPITAL (%) Y EL NÚMERO DE AÑOS PARA CONSTRUCCIÓN COMPLETA.....	63

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> PRESAS EXISTENTES EN COLOMBIA .....	11
<b>TABLA 2.</b> ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN COLOMBIA .....	13
<b>TABLA 3</b> PORCENTAJE DE FALLAS DE ACUERDO CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	28
<b>TABLA 4</b> CASOS DE FALLA O ROTURA DE PRESAS EN EL MUNDO .....	30
<b>TABLA 5</b> ESTÁNDARES INTERNACIONALES APLICABLES A LOS PROYECTOS DE LAS GRANDES REPRESAS.....	34
<b>TABLA 6</b> INSTRUMENTOS INTERNACIONALES APLICABLES A LAS GRANDES REPRESAS.....	35
<b>TABLA 7</b> DESCRIPCIÓN COMPONENTE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRADO.....	49
<b>TABLA 8</b> CARACTERIZACIÓN HIDROELÉCTRICA FUNIL.....	56
<b>TABLA 9:</b> CARACTERIZACIÓN HIDROELÉCTRICA DE PRADO .....	54
<b>TABLA 10</b> COSTOS PRESA EN TIERRA .....	58
<b>TABLA 11</b> EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LA REPRESA FUNIL.....	59
<b>TABLA 12</b> RELACIÓN DE VOLUMEN - COSTOS.....	62
<b>TABLA 13</b> RELACIÓN ALTURA - COSTOS.....	62
<b>TABLA 14</b> RELACIÓN RESERVORIO - COSTOS .....	63
<b>TABLA 15</b> RELACIÓN COSTOS -RESERVORIO KM <sup>2</sup> .....	64

## INTRODUCCIÓN

En Colombia las actividades relacionadas con la construcción de presas iniciaron en 1951 con la obra del embalse del Sisga en Chocontá, Cundinamarca, desde ahí el país ha tenido un avance significativo en cuanto la construcción de presas para el abastecimiento de agua potable, el riego de cultivos y la producción de energía eléctrica. Tanto así que en la actualidad, las plantas hidroeléctricas representan el 68% de la oferta energética en el país.(ALCOGEN, 2017)

Actualmente, el país cuenta con 41 presas relevantes, de la cuales 28 son usadas para producir energía eléctrica, en las que se destacan Guavio en Cundinamarca produciendo 1250 MW de energía –siendo la presa que más MW produce en el país-, (Montes, 2019) San Carlos en Antioquia y Chivor en Boyacá. 9 son usadas para el abastecimiento de agua potable y 4 se usan para el riego de cultivos. (Palacios, 2013)

Sin embargo, se debe tener en cuenta el impacto económico y social que la construcción de presas representa para la comunidad adyacente a las obras. Como lo evidencia el desastre ocurrido con la presa de Hidroitungo, la construcción y el mantenimiento de estas obras es una innegable preocupación dentro del análisis de riesgos. En Colombia, la normatividad para el análisis de riesgos (rotura de presas) es casi nula, (RODRÍGUEZ, 2014)

La gestión de riesgos aplicada a la seguridad de presas ha sido estudiada, empleada y mejorada a nivel mundial, principalmente como resultado de eventos que se han presentado y que han ocasionado consecuencias, en algunos casos devastadores para las zonas de aguas abajo de las presas. En Colombia no solo se ha tenido el caso de Hidroitungo, a lo largo de



los años las presas han presentado variedad de problemas constructivos, no solo durante el proceso de construcción, si no luego de estar operando.

El país ha tenido complicaciones por la topografía, la geología o los cambios climáticos con la construcción y mantenimiento de estas obras, sin embargo, siempre se han implementado los mismos métodos constructivos utilizando el mismo tipo de presas, a pesar de que a nivel mundial existe una variedad de diseños de presas.

Básicamente, en el país se construyen presas de tipo gravedad, de tipo arco y gravedad, siguiendo una línea constante, esto por temas económicos y de experiencia, pero, como ha sido evidente no siempre es la mejor alternativa.

Las condiciones geológicas del país, y la existencia de materiales de alta calidad exigidos para la construcción de presas en concreto -incluyendo las presas en bóveda-, puede ser un factor importante del por qué se construyen siempre presas a gravedad.

La geomorfología colombiana, está compuesta por 3 cordilleras que en términos de tiempo geológico, se considera rocas de formación reciente y en proceso de respuesta a los eventos estructurales y los efectos bioclimáticos, haciendo zonas del país inestable y vulnerable ante fenómenos climáticos que puede afectar directa e indirectamente las obras de infraestructura. (IDEAM, 2010) .

Este proyecto analiza la historia constructiva de las presas en Colombia, las problemáticas a lo largo de la historia, tanto en el proceso constructivo como en el momento en que entran en operación. También, se hace una comparación entre 2 tipos de represas desde el punto de vista: constructivo, operativo y de rentabilidad.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

La construcción de presa en Colombia, se ha visto rodeado por controversias que han generado este tipo de infraestructuras sobre el medio ambiente y la población en caso específicos la construcción de la Hidroeléctrica de El Quimbo, afectó directamente alrededor de 11000 hectáreas. (Rico, 2018)

En algunos casos estas afectaciones socios ambientales se logran mitigar e incluso, es posible mejorar las condiciones en las que inicialmente se encuentra la zona. Caso puntual, durante la construcción de Hidromiel, se logró recuperar y aumentar la extensión de recuperación del área afectada para el desarrollo de este proyecto. (Rico, 2018)

Sin embargo, en términos generales la construcción de este tipo de infraestructuras representa un costo económico además de afectar el entorno social y ambiental y que en muchos casos no se tienen en cuenta o se subestiman cuando se está analizando la construcción de estos macro proyectos. (Rico, 2018).

En su mayoría, las grandes presas en Colombia están construidas en tierra y su principal uso es el de generación de energía. En **Tabla 1** Presas Existentes en Colombia se presenta un consolidado de las grandes presas existentes en el país, según material y tipo de presa y en él se presenta una matriz con un mayor desglose de información de estas.

**Tabla 1** *Presas Existentes en Colombia.*

<b>ID</b>	<b>Presas</b>	<b>Año</b>	<b>Localización</b>	<b>Tipo</b>
<b>Presas De Concreto</b>				
<b>1</b>	Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá	1995	Valle Del Cauca	De Arco Y Gravedad
<b>2</b>	Tenche	1962	Antioquia	De Arco Y Gravedad
<b>3</b>	Central Hidroeléctrica Calderas	1987	Antioquia	Gravedad
<b>4</b>	Represa Del Sisga	1951	Cundinamarca	Gravedad
<b>Presas En Concreto Compactado Con Rodillo - CCR</b>				
<b>5</b>	Central Hidroeléctrica De Betania	1981	Huila	Gravedad
<b>6</b>	Presas Patángoras	2002	Antioquia	Gravedad
<b>Presas En Enrocado Con Cara De Concreto</b>				
<b>7</b>	Central Hidroeléctrica Alto Anchicayá	1974	Valle Del Cauca	Gravedad
<b>8</b>	Embalse Sara Brut (Guacas)	2002	Valle Del Cauca	Gravedad
<b>9</b>	Porce III	2010	Antioquia	Gravedad
<b>10</b>	Presas De Golillas - Embalse De Chuza	1982	Cundinamarca	Gravedad
<b>11</b>	Presas Salvajina	1984	Cauca	Gravedad
<b>Presas En Enrocado Con Núcleo Permeable</b>				
<b>12</b>	Embalse Chisacá	1950	Cundinamarca	Gravedad
<b>13</b>	Embalse De La Copa	1990	Boyacá	Gravedad
<b>14</b>	Embalse El Hato	1992	Cundinamarca	Gravedad
<b>15</b>	La Esmeralda - Embalse De Chivor	1975	Boyacá	Gravedad
<b>16</b>	Presas Cantarrana	2007	Cundinamarca	Gravedad
<b>17</b>	Presas Chingaza		Cundinamarca	Gravedad
<b>18</b>	Presas Guavio - Embalse	1990	Cundinamarca	Gravedad
<b>19</b>	Presas San Rafael	1994	Cundinamarca	Gravedad
<b>Presas Mixtas CCR-Tierra</b>				
<b>20</b>	Porce II	2001	Antioquia	Gravedad
<b>21</b>	Hidroituango	2010	Ituango, Antioquía	Gravedad
<b>Presas En Tierra</b>				
<b>22</b>	Embalse Del Guájaro	1965	Atlántico	Gravedad
<b>23</b>	Embalse Del Muña	1948	Cundinamarca	Gravedad
<b>24</b>	Embalse Del Neusa	1952	Cundinamarca	Gravedad

Continuación **Tabla 1** Presas Existentes en Colombia.

<b>ID</b>	<b>Presa</b>	<b>Año</b>	<b>Localización</b>	<b>Tipo</b>
25	Embalse La Fe	1973	Antioquia	Gravedad
26	Embalse La Regadera	1934	Cundinamarca	Gravedad
27	Embalse Playas	1987	Antioquia	Gravedad
28	Miraflores	1965	Antioquia	Gravedad
29	Piedras Blancas	1952	Antioquia	Gravedad
30	Presa El Buey	1983	Antioquia	Gravedad -
31	Presa Guillermo Cano	1987	Antioquia	Gravedad
32	Presa Punchiná	1983	Antioquia	Gravedad
33	Presa Santa Rita	1976	Antioquia	Gravedad
34	Quebradona O Riogrande I	1958	Antioquia	Gravedad
35	Riogrande II	1988	Antioquia	Gravedad
36	Troneras	1962	Antioquia	Gravedad
<b>Presas En Tierra Con Núcleo Impermeable</b>				
37	Central Hidroeléctrica Calima	1966	Valle Del Cauca	Gravedad
38	<b>Central Hidroeléctrica De Río Prado</b>	<b>1971</b>	<b>Prado / Tolima</b>	<b>Gravedad</b>
39	Presa Sesquilé - Embalse	1962	Cundinamarca	Gravedad
40	Represa Urrá I	1997	Córdoba	Gravedad
41	Central Hidroeléctrica Charquito	1897	Cundinamarca	Gravedad

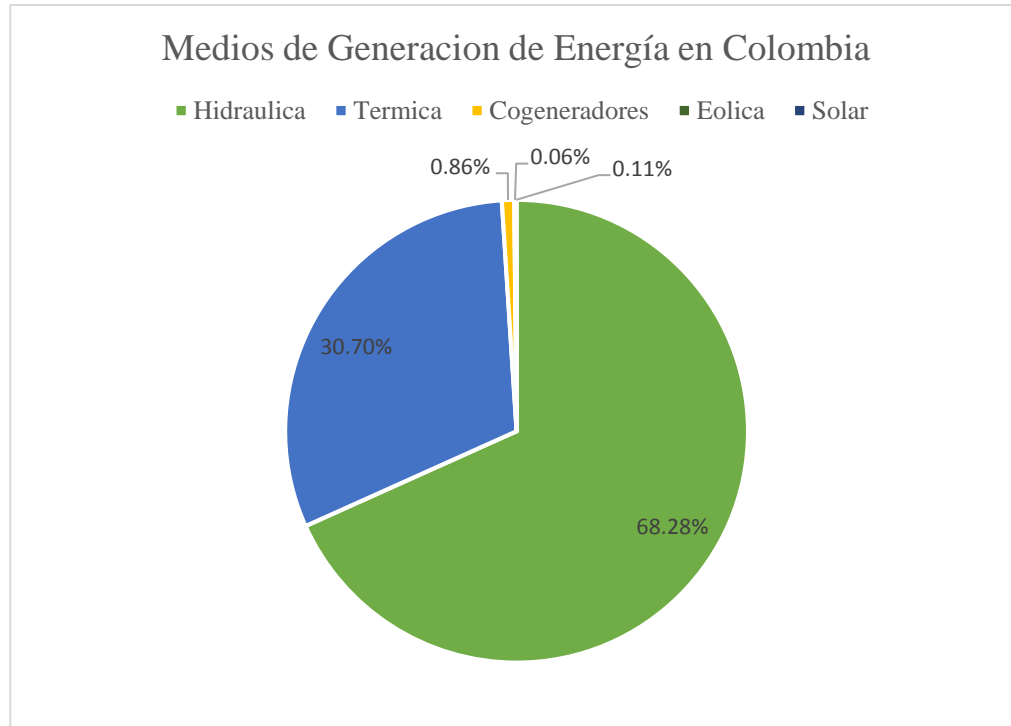
*Fuente:* Tomado de consolidado de grandes presas existentes en Colombia, del trabajo elaborado sobre consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos (RODRÍGUEZ, 2014).

## 1.2 Justificación

La Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN) es una organización privada encargada de promover el desarrollo sostenible y eficiente del mercado eléctrico en Colombia, en su página web expone en cifras y fuente de la generación de energía

en Colombia, si bien estos datos fluctuaran segundo, en términos generales de posible elaborar el siguiente gráfico.

**Figura 1.** Medios de Generación de Energía en Colombia



**Fuente:**

Elaborado acorde a los conceptos emitidos por La

Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN), página principal.

**Tabla 2.** Energía Hidroeléctrica en Colombia

Fuente	MW	Porcentaje
Hidráulica	11846.2	68.28%
Térmica	5326.2	30.70%
Cogeneradores	149.0	0.86%
Eólica	18.4	0.11%
Solar	9.8	0.06%
<b>TOTAL</b>	<b>17349.6</b>	<b>100.0%</b>

**Fuente:** Elaborado acorde a los conceptos emitidos por La Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN), página principal.

Con el cuadro y la tabla anterior, es notoria la influencia de la energía hidroeléctrica en el país y si bien es importante tener en cuenta las afectaciones sociales y ambientales le producir energía por este método es un método ambientalmente sostenible.

Es por esto, que ACOLGEN en medio de su plan de desarrollo propone impulsar este sector simultáneamente impulsado la economía del país, lo que ayuda al crecimiento del sector económico de la construcción. Para lo cual se propone para 2030 aumentar la red energética del país focalizado en 3 pilares:

**A. Seguridad energética**

1. Aumentar los criterios de confiabilidad y eficacia energética.
2. Incrementar la participación de la electricidad en la matriz de energía.

**B. Sostenibilidad Ambiental**

1. Aumentar la eficiencia energética del país por sobre la línea base
2. Reducir en un 20% las emisiones de gases de invernadero

**C. Equidad Energética**

1. Lograr una cobertura energética del 99% a nivel nacional.
2. Disminuir el impacto de cargo social en las tarifas kWh.

(ACOLGEN, 2017)

Según la ICOLD, En América Latina existen 2449 presas registradas, Colombia cuenta con 130 incluyendo presas pequeñas, medianas y grandes, estas últimas casi siempre con un embalse asociado, lo que puede ocasionar mayores consecuencias ante un evento de rotura que ocasione dicho embalse.

En términos generales y a nivel mundial, las presas que han fallado por rotura de elemento de contención, son los tipos de presas construidas en tierra, problemas asociados a esquemas constructivos que son insuficientes respecto a los parámetros de diseño, deficiencia de los materiales usados y/o errores humanos durante su construcción operación y/o mantenimiento estas presas tienden a desencadenar una serie fallas lo que puede generar el colapso por completo de la estructura. (Rodríguez, 2014).

Analizando los anteriores factores de riesgo, la ICOLD (International Commission On Large Dams) ha realizado una recopilación de los accidentes registrados declaro que estos factores causan en la presa: 38% desbordamiento de cresta de la presa, 3.3% corresponde a filtraciones y afectaciones al interior de la presa, un 23% produjo fallas en la cimentación y el 6% corresponde a otros factores.

De igual forma, la vulnerabilidad y el riesgo de este tipo de estructuras está directamente relacionado con las especificaciones técnicas de esta como la altura y el volumen de agua almacenado. Lo que marca una tendencia es que casi el 90% de los casos de falla corresponde a las presas construidas en materiales sueltos presentan un alto grado de vulnerabilidad respecto a los demás tipos de represas ya que por los materiales que la componen tienden a generar erosiones hidráulicas lo repercute, a futuro, en una rotura de la presa. (Padrino, 2018)

Por tal motivo, analizar la características técnicas y especificaciones de diseño y construcción de las represas tipo tierra enrocado, respecto a la tecnología implementada para la construcción de presas tipo doble arco gravedad, permite que se pueda analizar las variables que determinan las ventajas y desventajas de una presa sobre la otra.

En todo caso, la presa seleccionada debe cumplir con dos exigencias primordiales que demandan estas obras: 1) la estructura construida debe ser impermeable para regular y almacenar el agua, y 2) la estructura diseñada debe resistir el empuje del agua contenida. Luego que este documento presenta una comparativa desde el punto de vista técnico, económico y funcional teniendo en cuenta las variables para cada tipo de presa.

### **1.3. Definición del Problema**

Dadas las condiciones favorables de la topografía colombiana, de su hidrología y analizando la experiencia de otros países en la construcción de presas tipo doble arco, además teniendo en cuenta la visión para el 2030 de la ACOLGEN en la cual aumentando la capacidad del producción de energía eléctrica, general para el país un impacto positivo ambiental, social y económicamente hablando, es importante en ver alternativas de construcción de presas que si bien a largo plazo pueden ser más funcionales.

### **1.4. Formulación del problema**

Las presas de Hidroprado, es una presa tipo tierra enrocado y en general este tipo de presas están compuestas por una serie de terraplenes artificiales, donde los grandes volúmenes de material se obtienen de las zonas aledañas al sitio de construcción. En la antigüedad este tipo de presas han sido las más comunes, sin embargo con el avance de la tecnología han permitido explorar otras formas de diseñar y construir este tipo de estructuras.

Aunque la mayoría de las presas colombianas son presas tierra y enrocado, es importante analizar e identificar diferentes alternativas tecnológicas de construcción de estas, analizando las características geográficas de nuestro país, lo que permite evaluar de acuerdo con



experiencias en zonas geográficas similares las ventajas y desventajas en los cambios del diseño tradicional de las presas colombianas.

Por lo anterior, esta investigación se basa en un análisis comparativo teniendo en cuenta los resultados hidráulicos y de productividad energética de la presa de Funil (Río de Janeiro - presa tipo doble arco gravedad ) y de Hidroprado (Tolima – presa enrocado gravedad), seleccionadas por dos motivos importantes: (1) la presa de Funil, es la única presa tipo doble arco construida en Latinoamérica y sus experiencias podrían fomentar su práctica en otros países; (2) Las características geográficas de la zona en donde se construyó la presa Funil y en donde se encuentra acentuado Hidroprado son similares.

Lo anterior permite analizar la idea de implementar Colombia, la tecnología usada en Brasil para la construcción de presas doble arco, teniendo como referencia al país vecino en la construcción de este tipo de presas, permitiendo que se pueda introducir en Colombia la idea de construir otro tipo de presas que a largo plazo representen una amplia funcionalidad energética.

## **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1. Objetivo General**

Analizar las represas de Funil en Brasil y Prado en Colombia, identificando los aspectos importantes en la construcción de presas tipo bóveda, para determinar por qué en Colombia no se construyen este tipo de presas.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Identificar las ventajas y desventajas del diseño, construcción y puesta en marcha de las represas tipo bóveda y presas en tierra o enrocado.
2. Hacer un análisis de la inversión económica y el tiempo de retorno de esta misma en los dos tipos de presas.
3. Encontrar la razón del por qué en Colombia no se construyen presas tipo bóveda.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1. Marco Contextual

##### 3.1.1. Presa en Bóveda Hidroeléctrica De Funil (Brasil)

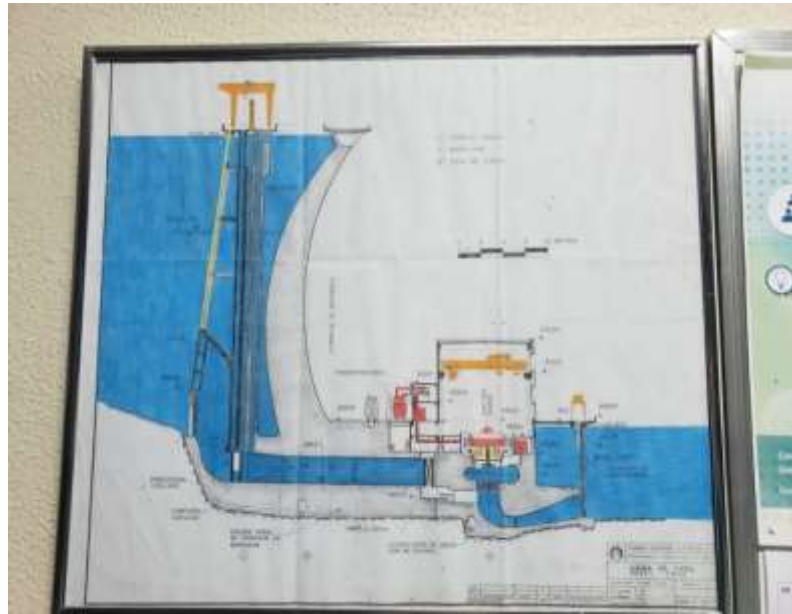
Esta presa es particular en cuanto a su arquitectura se refiere, por un lado es una presa tipo bóveda lo que significa que su casa de máquinas y en general todo el proceso de transformación y producción de energía ocurre debajo del río, por otro lado tiene una forma de doble curvatura (doble arco).

**Figura 2.** *Represa de Funil - Río de Janeiro, represa Tipo bóveda*



Está construida sobre el río Paraíba do Sul, en el estado de Río de Janeiro. Su construcción inició en 1969 generando una capacidad total de 216 MW, el muro de contención mide 85 m. con la capacidad de albergar 270000 m<sup>3</sup> de agua. Respecto al reservorio tiene un área inunda de 40 Km<sup>2</sup>, la cota máxima de inundación es de 469 m. (Furnas, 2016).

**Figura 3.** *Diseño de la Presa Funil*



Inició su proceso constructivo en el año de 1963, la primera turbina se puso en marcha en 1967. Siendo la primera gran presa de Brasil, en el sur de Río de Janeiro, funciona casi a plena capacidad.

Está construida sobre el río Paraíba do Sul, en el estado de Río de Janeiro. Su construcción inició en 1969 generando una capacidad total de 216 MW, el muro de contención mide 85 m. con la capacidad de albergar 270000 m<sup>3</sup> de agua. Respecto al reservorio tiene un área inunda de 40 Km<sup>2</sup>, la cota máxima de inundación es de 469 m. (Furnas, 2016).

El aprovechamiento hidroeléctrico de Funil está ubicado en el tramo medio del río Paraíba do Sul, aproximadamente a 150 km de Rio de Janeiro y a 250 km de São Paulo. Se integra en el complejo energético-económico de la región Centro-Sur del Brasil, indispensable al desarrollo de esta región. La central de pie de presa, con planta curva, está equipada con 3

grupos generadores de 72 MW (con turbinas Francis). La Potencia instalada es de 216 MW y la Producción media anual es de 1146 GW.

### 3.1.2. Presa en enrocado Hidroeléctrica del Prado. (Tolima - Colombia)

Fue construida en 1960, ubicada en la región centro oriente del Tolima, en la vertiente occidental de la cordillera oriental y perteneciente a la cuenca del río Magdalena

**Figura 4.** *Presa de Prado, Tolima*



**Fuente:** presa de Prado, Tolima. Tomado de pagina web <https://www.celsia.com/es/centrales-hidroelectricas>

El sistema es una laguna artificial, el cual comprende un espejo de agua de 4200 ha, con una profundidad máxima de 90m, dando una capacidad de la presa de 2000000 de m<sup>3</sup>. Tiene un perímetro de 74 km y un ancho máximo de 8 km. El embalse tiene un área máxima de 39 km<sup>2</sup>, Cuenta con una turbina tipo Kaplan y cuatro transformadores de potencia los cuales en trabajo conjunto generan una potencia total de 51 MW.

El embalse cuenta con 42 Km<sup>2</sup> en donde se almacenan 966 millones de m<sup>3</sup> de agua, la cota máxima de operación es 363.2 msnm y la cota mínima de operación es de 348.7 msnm

Debido a los actuales problemas de pandemia mundial, no se pudo concluir la visita a Hidroprado del Tolima en Colombia, por lo tanto, se tomaron datos aproximados encontrados en las bases de datos de internet y comparativos con otras represas de Latinoamérica con el mismo estilo (Presas en tierra y enrocadas parámetros y características de una presa de materiales sueltos de la presa sobre el Río Grande, en Manabí-Ecuador)-

### **3.2 Marco Teórico - Conceptual**

#### **3.2.1 Clasificación de las presas:**

Según la comisión Internacional de Grandes Presas (CIGB /ICOLD)<sup>1</sup>, a una presa se define como “una barrera o una estructura colocada cruzando un curso de agua o de un río con el fin de contener, controlar y derivar agua ". Y se clasifican acorde a los siguientes parámetros:

##### **3.2.1.2 Clasificación ICOLD**

La comisión internacional de grandes presas ICOLD por sus siglas en inglés, clasifica las presas en dos categorías, Moreno (2014).

**Grandes Presas:** presas cuyas dimensiones tengan una altura superior a 15m, su corona es superior a 500 m, el embalse mayor 1 hm<sup>3</sup> o capacidad de desagüe mayor a 2000 m<sup>3</sup>/s y también por características especiales de cimentación o diseño.

**Pequeñas presas:** todas las presas que no cumplan con las condiciones anteriores.

---

<sup>1</sup> La ICOLD/CIGB es una organización internacional que vincula los avances tecnológicos a los proyectos de ingeniería y se enfoca en las presas colaborando con su el desarrollo de proyectos bajo la responsabilidad social empresarial que integren los recursos hídricos, la sociedad y el medio ambiente.

### ***3.2.1.3 Clasificación por tipo***

Esta clasificación, está dada por la forma de resistir el empuje hidrostático de aquí se desprenden:

**De Arco o Bóveda:** Transmite el empuje al terreno de Curvatura vertical u horizontal.

**De Gravedad:** Resistente por el peso propio (macizo y aligerado).

**De Arco Gravedad:** Resistentes por la combinación de su peso y transmisión al terreno.

### ***3.2.1.4. Clasificación por material***

En términos generales, es posible hacer una clasificación inicial de las represas por grupos, Novak et ál., (2001):

**Presas de relleno o enrocado,** las cuales se fabrican con terraplenes de suelos o enrocados, los parámetros de pendiente aguas arriba y aguas abajo son similares, lo que permite que en la construcción de estas sea ancha y con un volumen de construcción importante, relacionado con su altura.

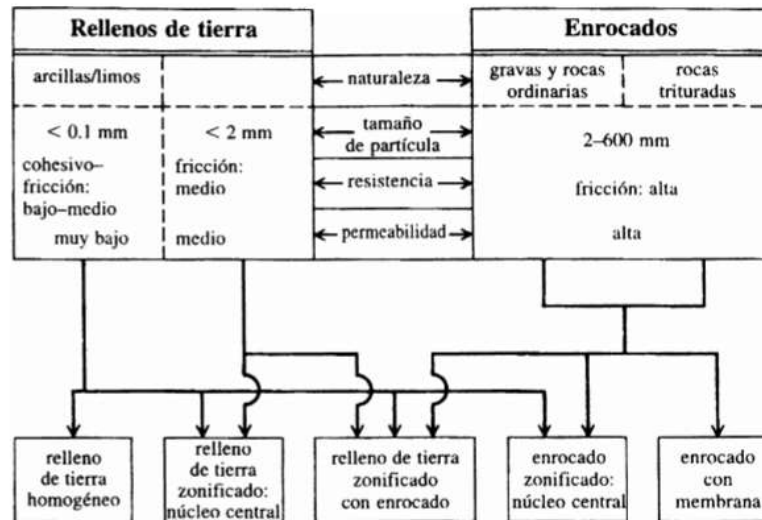
**Presas de concreto,** son aquellas que se construyen con concreto convencional o CCR (concreto compactado con rodillo). Los parámetros de pendiente aguas arriba y abajo son diferentes, generalmente se presentan pendientes altas aguas abajo y casi verticales aguas arriba. Presenta perfiles realmente esbeltos.

Las represas en relleno son las más numerosas, debido a razones técnicas y económicas, ya que utilizan materiales que se encuentran localmente, además que se adaptan adecuadamente a gran variedad de sitios y circunstancias geográficas. Por otra parte, las presas en concreto son más exigentes para su construcción en cuando a condiciones de cimentación. Además, requiere prácticas constructivas especializadas y costosas.

**Presas en relleno de tierra** Una presa entra dentro de esta categoría, si los rellenos de tierra de suelos compactados representan más del 50% de volumen colocado, esta se constituye principalmente por capas de suelos seleccionados cuidadosamente, compactados en capas más o menos delgadas con contenidos de humedad controladas.

**Presas de enrocado** Este tipo de presas incluye un elemento impermeable discreto de relleno en tierra compactada, concreto esbelto, y una membrana bituminosa. En la construcción de este tipo de presas se utiliza, cuando más del 50% del material de relleno se clasifica como roca. De forma similar a las presas de relleno en tierra, las presas de enrocado se conforman por capas de material bien gradado mediante equipo pesado. (P.10-12)

**Figura 5.** *Diseño Constructivo presas con relleno de tierra y enrocados*



**Fuente:** Tomado de *Elementos de Ingeniería en presas* (p.31). Por Novak et ál 2001, McGraw-Hill

INTERAMERICANA S. A



### ***3.2.1.5 Clasificación por Presas de concreto***

De acuerdo con las investigaciones de Novak (2001, p.34), las presas en concreto se clasifican en:

**Presas de gravedad:** este tipo de presas, dependen de su propio peso para estabilizarse. Su perfil es triangular para asegura su estabilidad y evitar esfuerzos excesivos en la cimentación. Algunas son ligeramente curvas por cuestiones estructurales o arquitectónicas, permitiendo un perfil mucho más delgado, estas se denominan presas arco-gravedad.

**Presas de contrafuerte:** el concepto estructural de este tipo de presas consiste en un parámetro continuo aguas arriba, soportado a intervalos regulares por un contra fuentes agua abajo, para propósitos conceptuales, este tipo de presas, pueden considerarse como una versión aligerada de las presas a gravedad.

**Presas Arco:** estas tienen una considerable curvatura aguas arriba. Estructuralmente trabajan como un arco horizontal, transmitiendo la mayor carga de agua a los estribos o laderas del valle. En términos estructurales, son más eficientes que las presas en gravedad o las de contrafuerte, al reducir considerablemente la cantidad de concreto requerido. Una derivación de la presa tipo arco, es la presa tipo bóveda.

La presa de bóveda emplea curvaturas complejas tanto en planos verticales como en planos horizontales. Es la más sofisticada de las presas en concreto y su estructura es similar a una concha, sumamente económica en concreto. La estabilidad de los estribos es importante tanto para la bóveda como para el arco.

### **Ventajas de las presas en concreto**

Exceptuando las presas de arco y bóveda, las presas en concreto son apropiadas para valles tanto de topografía ancha como de topografía angosta, siempre y cuando se tenga una roca ideal de cimentación que sea accesible y a una profundidad moderada menos a 5 m.

En las presas de concreto es necesario tomar medidas para controlar la erosión aguas abajo y posibles socavaciones debajo de la presa, estas pueden acomodar un vertedero de cresta en toda su longitud. Por lo tanto, se evita el costo de vertederos y canales separados.

Todas las presas en concreto pueden acomodar un vertedero de cresta, si es necesario en toda su longitud, siempre y cuando se tomen medidas para controlar la erosión aguas abajo y la posible socavación bajo la presa. Por tanto, se evita el costo de un vertedero y un canal separados.

Las tuberías de salida, las válvulas y otros trabajos auxiliares pueden acomodarse de manera fácil y segura en casas o pasillos dentro de la presa. La capacidad inherente de resistir la interferencia de terremotos sin un colapso catastrófico suele ser alta.

### **Condiciones especiales en presas en concreto**

En particular, estas presas tienen requisitos relativamente altos para las condiciones de los cimientos y requieren roca dura. Además del transporte al sitio y el almacenamiento de cemento y otros tipos de materiales, también requieren materiales naturales procesados de calidad y cantidad apropiadas para los agregados.

El costo unitario por metro cúbico de represas de concreto sólido es mucho más alto que el de las represas rellenas, aunque la cantidad de concreto requerida para una represa de una altura dada es baja, estos costos rara vez se equilibran., Santaella (2001).

### **3.3. Estado del Arte**

Las centrales hidroeléctricas se manejan con absoluta precisión, lo que supone una clara ventaja respecto a otras formas de energía alternativa. Por ejemplo, a través de las denominadas centrales hidráulicas reversibles o centrales de bombeo. Cuando la demanda de electricidad es escasa, dichas instalaciones almacenan la energía generada y la que no se consume. La electricidad sobrante almacenada permite bombear de nuevo la acumulación del agua en la parte inferior de la presa hacia un nivel superior para que, en caso de ser necesario, sea nuevamente liberada y utilizada para producir electricidad.

Hay alrededor de 60000 represas en el planeta, y más de 3700 están en planificación o construcción. Según un estudio realizado por la Universidad McGill, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y un grupo de investigadores internacionales (2009), solo 21 de los 91 ríos en el mundo tienen más de 1,000 kilómetros de largo. Al fluir hacia el mar, a medida que el desarrollo económico en todo el mundo está reduciendo su crecimiento, aún mantienen una conexión directa desde el lugar de nacimiento hasta el océano. Se estima que actualmente hay 2.8 millones de presas en el mundo, de las cuales 60,000 son presas grandes de al menos 15 metros de altura.

Entre tanto, se conoce que más de 3700 están en proceso de construcción o en proyecto. En todo el mundo, las centrales hidroeléctricas producen alrededor de una séptima parte de la

electricidad que se necesita. Incluso las gigantescas instalaciones hidroeléctricas producen electricidad sin liberar gases de efecto invernadero perjudiciales para el medio ambiente. Pero la electricidad procedente de los ríos no está exenta de polémica: para la construcción de muchos megaproyectos –como, por ejemplo, en la selva amazónica brasileña-, grandes superficies son inundadas y el hábitat de seres humanos y animales, destruido para siempre. El informe de GLOBAL IDEAS muestra grandes y pequeños proyectos en los que la energía hidráulica funciona de forma ejemplar.

### 3.3.1 Antecedentes de fallas de presas

Las presas traen beneficios para la humanidad, pero también tienen peligros potenciales por la pérdida de las características del suelo, la deforestación de áreas que protegen los diversos ecosistemas y la gran cantidad de agua almacenada que pueden traer fallas al interior de la represa que causarían pérdidas materiales y de personal, al igual que un daño significativo al medio ambiente.

Fueron objeto de estudio, el comportamiento de 15800 grandes presas, distribuidas en 33 países, mostrando cuatro tipos de presas en concreto: Gravedad (G), arco y arcos múltiples (A), contrafuertes (C), mampostería (M) y dos tipos de materiales sueltos; tierra (T) y enrocado (E); (Mogollón et ál, .2010).

**Tabla 3** *Porcentaje de fallas de acuerdo con el sistema Constructivo*

<b>Tierra y Enrocamiento 10650(67.4%)</b>			<b>Concreto Mampostería 5150 (32.6%)</b>		
<b>T</b>	<b>E</b>	<b>G</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>M</b>
<b>9890</b>	760	3970	760	280	140
<b>(62.6%)</b>	(4.8%)	(25.1%)	(4.8%)	(1.8%)	(0.9%)

**Fuente:** Tomado de *análisis de riesgos de falla en presas* (p.67) acorde a la distribución de más de 15000 presas en el mundo. Mogollón,1996, Revista de ingeniería Hidráulica.

Se relaciona el porcentaje de fallas que presentaron de acuerdo con el sistema constructivo de las presas, independiente al tipo de falla.

Acorde a Mogollón Los factores relacionados con las causas de fallas en presas pueden agruparse así:

- Factores Hidrológicos: incluyen la frecuencia de las avenidas, la cantidad de picos de inundación y la distribución de las avenidas a lo largo del tiempo, los escombros alrededor de la presa, el nivel inicial del agua y los sedimentos del reservorio.
- Factores hidráulicos: comprende la capacidad del vertedero, obras de toma, compuertas, erosión y falla de tuberías y válvulas.
- Factores geotécnicos: Condiciones de suelo desfavorables, presión de poro excesiva, filtración, inestabilidad de la pendiente durante el vaciado rápido del reservorio y deslizamiento de la pendiente en cualquier área de la presa.
- Factores Sísmicos: Se refiere a las condiciones de estabilidad sísmica, licuefacción, grietas inducidas por terremotos, ondas sísmicas y presión hidrodinámica en la presa.
- Factores estructurales y de construcción: Incluye diseño estructural inadecuado, materiales pobres, errores de construcción y control de calidad deficiente.
- Factores operacionales: hace referencia a mantenimiento integrado incorrecto, procedimientos operativos incorrectos, error humano y negligencia
- Otros factores: incluyen actos de guerra, sabotaje e impactos accidentales en estructura, (1996, p. 67)

**Tabla 4** Casos de falla o rotura de presas en el mundo

<b>PRESA</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>MOTIVO</b>
Pantano de Puentes	Lorca, España	La ruptura del embalse de Puentes fue causada por un sifonamiento causado por la falla del sistema básico de cimentación.
Dale Dike	South Yorkshire, Reino Unido.	Sufrió un fallo posiblemente por una construcción defectuosa, con un pequeño escape en el paramento. Ocasionó 244 muertos y daños masivos aguas abajo
South Fork	Johnstown, Pennsylvania, Estados Unidos,	En 1889, se vio afectado por un mantenimiento deficiente. El tribunal consideró que se trataba de un caso accidental, que aumentó debido a las fuertes lluvias (Chanson, 2009).
Walnut Grove	Wickenburg, Arizona Estados Unidos,	En 1890, por causa de fuertes nevadas y lluvias, presentó la rotura (Chanson, 2009).
Desná	Desná, Imperio austrohúngaro	Defectos en la construcción provocaron la rotura de esta presa en 1916, localizada en (Chanson, 2009).
Lower Otay	California – Estados Unidos,	Esta presa en 1916 después de una temporada de fuertes lluvias, la presa fue sobrepasada y comenzó a descargar agua
Gleno	Bérgamo – Italia	Los cimientos de la presa se hicieron del mismo material débil. El 1o de diciembre de 1923, la presa colapsó

*Continuación* **Tabla 4** Casos de falla o rotura de presas en el mundo

<b>PRESA</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>MOTIVO</b>
Llyn Eigian	Dolgarrog, North Wales Reino Unido.	La reducción de costos ocasionada por la rotura de esta presa, pero también se considera como causa, las fuertes precipitaciones.
St. Francis	California, Los Ángeles Estados Unidos,	Esta presa de concreto falló en 1928, se dice que por inestabilidad geológica del cañón que no pudo haber sido detectada con tecnología disponible en aquel tiempo,
Edersee	Norte de Hesse, Alemania.	El 17 de mayo 1943 fue bombardeada por los británicos en la Segunda Guerra Mundial. Las bombas destruyeron por completo la estructura de la presa y en pocos minutos todo el reservorio quedó vaciado.
Vega de Tera	Ribadelago, España	Un sector de más de 150 metros de longitud del muro de contención de la presa se derrumbó dejando escapar casi 8 millones de metros cúbicos del agua embalsada.
Malpasset	Costa Azul, Francia.	Una falla tectónica es la principal hipótesis de las causas potenciales de la ruptura de la pared.

Continuación **Tabla 4** *Casos de falla o rotura de presas en el mundo.*

<b>PRESA</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>MOTIVO</b>
Panshet	Maharashtra India,	Sufrió rotura en el año 1961. La presa, de 61 m de altura, se encontraba en construcción cuando los monzones llegaron y las compuertas de los desagües no estaban completamente instaladas y funcionales (Chanson, 2009).
Baldwin Halls Reservoir	Los Ángeles California, Estados Unidos	Presentó una subsidencia causada por una sobreexplotación de un yacimiento petrolífero.
Vajont	Vajont, Italia	Estrictamente la presa no falló, pero sí fallaron las laderas del vaso que al caer sobre el agua generaron un mega tsunami que generó una onda que pasó por encima de la presa.
Fontenelle	Estados Unidos	Se determinó como causa del fallo en 1968, que los desagües no se habían terminado de construir cuando se estaba llenando la presa.
Buffalo Creek	West Virginia, Estados Unidos,	En 1972, esta presa ubicada en falló hipotéticamente por una inestabilidad provocada por una mina de carbón.
Canyon Lake	Dakota del Sur, E.E.U.U.	Esta presa de tierra de 6 m de altura sufrió en 1972 rebose debido a que el aliviadero se encontraba obstruido por detritos.



Continuación **Tabla 4** *Casos de falla o rotura de presas en el mundo.*

<b>PRESA</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>MOTIVO</b>
Banquia y Shimanta	China	Fallaron por causas naturales, debido a lluvias extremas causaron niveles de inundación por encima de los niveles de diseño.
Teton	Estados Unidos	Fallas debido a insuficiencias estructurales. La pantalla de esta era inadecuada.
Euclides Da Cunha	Brasil	Por mal procedimiento de funcionamiento, el operador no abrió completamente la compuerta del aliviadero
Kelly Barnes	Georgia, Estados Unidos	Colapsó debido a incrementos continuos de carga por aprovechamiento energético
Machhu II	India	Rebosó en 1979 aparentemente como consecuencia de un cálculo incorrecto en el diseño del aliviadero.
Lawn Lake	Rocky Mountain National Park, Estados Unidos,	El estado determinó que la causa probable de falla fue por el deterioro del material con el que fue hecho el tubo de salida y la válvula de puerta, lo que produjo una erosión interna.

**Fuente:** Tomado de *consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos* (p.39-40), Rodríguez [Convención S.I.: Sin Información disponible], 2014.

### 3.4. Marco legal

A nivel mundial para los estudios de factibilidad de construcción de las represas, es necesario seguir unos estándares e instrumentos internacionales diseñados por diferentes organizaciones y aplicables a dichos proyectos con el fin de lograr su implementación, control y desarrollo sin una mayor afectación social, estos son:

**Tabla 5** Estándares internacionales aplicables a los proyectos de las grandes presas

<b>Naciones Unidas</b>	
<b>Documento</b>	<b>Fecha</b>
Carta Mundial de la Naturaleza	28 de octubre de 1982
Principios rectores de los desplazamientos forzados	11 de febrero de 1998
Directrices completas para los derechos humanos en relación con los desplazamientos basados en el desarrollo.	2 de julio de 1997
Principios básicos y directrices sobre los despojos y el desplazamiento generados por el desarrollo, Relator Especial sobre Vivienda Adecuada	5 de febrero de 2007
Programa del Ambiente de las Naciones Unidas “ <i>Goals and Principles of Environmental Impact Assessments</i> ”	16 de enero de 1987
<b>Organización de Estados Americanos</b>	
Estrategia Interamericana para la Promoción de la Participación Pública en la Toma de Decisiones para el Desarrollo Sustentable	11 de septiembre de 2001
Carta Democrática Interamericana	11 de septiembre de 2001
<b>Comisión Mundial De Represas</b>	
Las Represas y el desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones.	2000

Continuación **Tabla 5** Estándares internacionales aplicables a los proyectos de las grandes presas.

<b>Documento</b>	<b>Fecha</b>
<b>Banco Mundial</b>	
Directiva Operacional: Evaluación ambiental, reasentamiento forzado y Pueblos Indígenas	ND
<b>Corporación Financiera Internacional</b>	
Política Sobre Sostenibilidad Social y Ambiental	30 de abril de 2006
<b>Banco Interamericano De Desarrollo</b>	
Política de Cumplimiento para salvaguardar el medio ambiente	19 de enero de 2006
Política operacional sobre pueblos indígenas y estrategia para el desarrollo indígena	22 de febrero de 2006

**Fuente:** Tomado de Asociación interamericana para la defensa del Medio ambiente AIDA (2009) p.20-21

**Tabla 6** Instrumentos Internacionales aplicables a las grandes represas

<b>Naciones Unidas</b>	
<b>Documento</b>	<b>Fecha</b>
Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos	16 de diciembre de 1966
Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales	16 de diciembre de 1966
Convenio sobre la Diversidad Biológica	5 de junio de 1992
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	14 de junio de 1992
Protocolo de Kyoto	11 de diciembre de 1997
Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional	2 de febrero 1971

Continuación **Tabla 6** *Instrumentos Internacionales aplicables a las grandes represas*

<b>Documento</b>	<b>Fecha</b>
Declaración Universal de Derechos Humanos.	10 de diciembre de 1948
Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo	12 de agosto de 1992
Declaración de Estocolmo.	5 al 16 de junio de 1972
<b>Organización De Estados Americanos</b>	
Pacto de San José	22 de noviembre de 1969
Protocolo de San Salvador	17 de noviembre de 1988
Declaración Americana de los Derechos del Hombre	Mayo de 1948
<b>Organización Internacional De Trabajo</b>	
Convenio No 169 de la Organización Internacional de Trabajo	27 de julio de 1989

**Fuente:** Tomado de *Asociación interamericana para la defensa del Medio ambiente AIDA* (p.20-21), 2009

A nivel nacional, para cumplir con las regulaciones ambientales, en el marco de la Constitución Política Nacional de 1991, la Ley N ° 99 de 1993 y las pautas ambientales estipuladas en el Decreto, en 1974 se incluyó una lista de las principales regulaciones aplicables para la construcción de presas en Colombia. Reglamento 2811 y normativa vigente. "Las disposiciones políticas constitucionales de los artículos 79 y 80 de Colombia, que establece: "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines"<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Constitución Política de Colombia 1991. Art 79

“El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.<sup>3</sup>

El Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) en su Título VIII, Artículo 31 establece que “En accidentes que causen deterioro o hechos ambientales que constituyen peligro colectivo, se tomarán las medidas de emergencia para contrarrestar el peligro”.<sup>4</sup>

Como resultado de los desastres en Colombia, se crea la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (OND) en 1986. La Ley N ° 99 de 1993, Artículo 1, párrafo 9 establece: "La prevención de desastres será un asunto de interés colectivo, y las medidas tomadas para evitar o mitigar el impacto de su ocurrencia serán obligatorias".<sup>5</sup>

El decreto núm. 919 de 1989, incluye todas las disposiciones para la prevención y atención de desastres, en particular los capítulos I, III, IV y V que se refieren a aspectos de planificación e institucionales y diversas reglamentaciones.

---

<sup>3</sup> Ibid. Art 80

<sup>4</sup> Código Nacional de Recursos Naturales

<sup>5</sup> Ley 99 de 1993

#### 4. METODOLOGÍA

El diseño Metodológico es usado para estructurar una investigación, para mostrar como todas las partes principales del proyecto de investigación funcionan en conjunto con el objetivo de responder a las preguntas centrales de la investigación”. (Trochím, 2005). Por lo consiguiente, la investigación a realizarse va a ser de tipo documental, el trabajo de titulación se enfoca en obtener los datos de dos presas hidrológicas que difieren en el sistema como fueron construidas, pero convergen en las características geográficas donde están construidas, con el fin de comparar el grado de eficiencia y así poder determinar cuál de los dos sistemas presenta mejores ventajas, económicas y sociales que puedan ser replicadas en otras partes del mundo.

Inicialmente para lograr el primer objetivo, se realiza la visita técnica guiada por unos de los funcionarios a la represa de Funil en Furnas Brasil, con el fin de obtener toda la información respecto al diseño funcional y estructural de la represa (tipo de represa, tipo y calidad de las turbinas empleadas, sistema constructivo que la compone) lo cual se pueden evidenciar en las siguientes fotografías tomadas por el autor:

**Figura 6.** *Guía de la Visita represa Funil*



Ing. Florentino,  
[www.furnas.com.br](http://www.furnas.com.br)  
[florentino@furnas.com.br](mailto:florentino@furnas.com.br)  
Tel (+24) 33514030  
Cel.: (+24) 999981184  
Rio de Janeiro (BR)

**Figura 7.** *Entrada Principal Represa Funil, operada por Furnas Centrais Hidroelétricas SA*

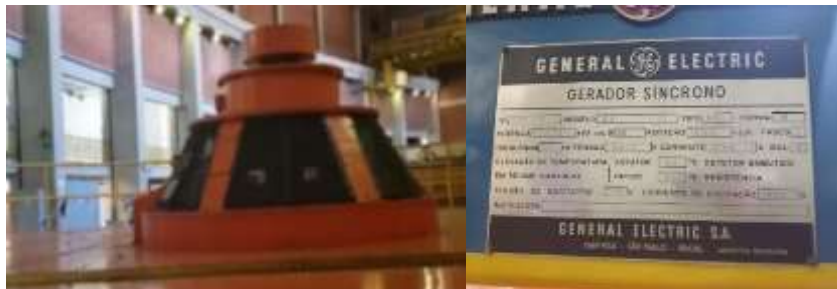


**Figura 8.** *Muro de Contención represa Funil*



Se evidencia la doble curvatura en sentido longitudinal y transversal. Característico y única represa construida en Latinoamérica

**Figura 9.** *Generador Electrónico*



La represa cuenta con 3 generadores iguales al referente fotográfico, los cuales están la capacidad de producir hasta 216 MW de potencia.



**Figura 10.** Carreteras de acceso a la represa



Vista de  
frente de  
Izquierda  
a  
derecha,

carreteras de ingreso y acceso a la central hidroeléctrica.

**Figura 11.** Rebosadero represa Funil



Se observa el rebosadero por donde sale el caudal de excesos de ser necesario.

**Figura 12.** *Compuertas y Túnel de rebose*



Vista posterior donde se observan las 4 compuertas y el túnel de rebose

**Figura 13.** *Embalse artificial de la represa*



**Figura 14** Medidores de dilatación zona superficial y sobre la corona de la presa.



**Figura 15** Medidores de dilatación zona inferior central hidroeléctrica.



Medidores de dilataciones ubicados por todo el proyecto, en zonas internas y externas, esto para controlar posibles afectaciones a la infraestructura.



**Figura 16.** *Casa de Máquinas*



Fotografías vistas desde la parte superior de la casa de máquinas

**Figura 17** *Vista exterior represa de Funil tipo doble arco.*



**Figura 18** Compuerta Hidráulica tipo oruga



*La*

*Compuerta radial se acciona, cuando se pasa la cota máxima de operación.*

Luego de realizar la vista guiada a la represa de Brasil, se realiza una concertación para la visita correspondiente a la represa del prado Tolima en Colombia, la cual no se realiza por la actual pandemia mundial y la dificultad de desplazamiento; por lo tanto, para la continuidad de la investigación se realiza un rastreo de la información que permitiera contar con una mayor aproximación de los datos de análisis, logrando así comparar las ventajas y desventajas de cada una.

Dando continuidad al desarrollo del proyecto, el segundo objetivo se logra analizando la graficas obtenidas de las relaciones volumétricas de la presa a construir. Dichas graficas permiten obtener una aproximación de los costos de inversión y la tasa de retorno para cada uno de los tipos de presas, lo que permiten obtener una idea aproximada de los costos de construcción de este tipo de proyectos.

Finalmente, para lograr el tercer y último objetivo se realiza un análisis de información obtenida comparando las razones de tipo técnico, constructivo, económico y/o social que puedan afectar la toma de decisiones a la hora escoger el tipo de presa que va a implementar en la construcción de una presa, todo para concluir la razón porqué en el país a la fecha no se ha construido en Colombia una presa del tipo de Furnas en Brasil.

## 5. LIMITACIONES

El desarrollo de presente documento, es susceptible a la carencia de información específica y concreta en cuanto a construcción y costos se refiere. Además de los inconvenientes que pudieron desarrollar durante la planeación, ejecución y desarrollo de los 2 proyecto hidráulicos. Lo anterior debido a que este tipo de información es hermética y propia de cada proyecto. y si bien durante la visita guiada a la presa de Brasil se tocaron temas de operación y funcionamiento, no se tocaron temas de carácter constructivo.

Por otro lado, debido a la actual pandemia que se está viviendo a nivel mundial, no fue posible concretar una visita a la represa de Hidroprado, visita en la cual se pretendía hacer un registro fotográfico de cómo está actualmente la obra hidráulica.

Finalmente, antes de que se decretara el estado de emergencia se procuró tener un acercamiento con la entidad encargada de la administración, el control y mantenimiento de la presa de prado, Celsia SA Esp, para programar una visita (en lo posible técnica) con el fin de poder tener acceso esta información pero no hubo respuesta por parte de la entidad.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Descripción y características Represa de Prado en Colombia

**Figura 19** *Represa Hidroprado*



**Fuente:** presa de Prado, Tolima. Tomado de pagina web <https://www.celsia.com/es/centrales-hidroelectricas>

Su embalse es llamado “El mar interno de Colombia” debido a su extensión la asciende a 42 km<sup>2</sup> lo que permite la práctica de deportes náuticos y la pesca deportiva a su vez se convirtió en un impórtate destino turístico para la región, generando así empleos para la población aledaña al proyecto, simultáneamente el embalse es usado como sistema de riego para cultivos de arroz contribuyendo a la economía de pequeños y grandes cultivadores de la zona.

Para su construcción se generaron cerca de 1000 empleos y se contó con la colaboración de México, Brasil, Australia y Rusia, su construcción tardó cerca 12 años desde 1961 y 1973



Posterior, en 2007 EPSA adquirió la compra de la hidroeléctrica, en donde realizó una inversión económica para modernizar y optimizar los equipos instalados, luego EPSA pasa hacer parte del grupo CELSIA la cual actualmente es quien administra este proyecto

**Tabla 7** Descripción componente de la Central Hidroeléctrica Prado

<b>Componente</b>	<b>Característica</b>
Embalse	Área: 42 km <sup>2</sup> Capacidad: 966220000 m <sup>3</sup> Embalse útil: 506840000 m <sup>3</sup> Cota máx. (Vertimiento exceso): 363.20 msnm Cota mín. de operación: 348.70 msnm Cota Max: 367 msnm
Aliviadero y túnel de desviación	No. de compuertas: 2 de tipo radial Tipo de conducción: Túnel de 100 m. Diámetro del túnel: 6.7 m. Longitud del túnel: 562 m. Capacidad de evacuación: 750 m <sup>3</sup> /s
Túnel de carga	Longitud: 430 m. Diámetro de 6,15 m. Salto neto: 30 m.
Bocatoma	Caudal nominal: 115 m <sup>3</sup> /s Salto bruto nominal: 56 m. Compuerta deslizante tipo cortina. Compuerta tipo vagón
Muro de contención de la presa	Forma: Tronco de pirámide Núcleo: Arcilla Altura: 92 m Longitud Transversal: 240 m Volumen Total: 2000000 m <sup>3</sup> Cota de Coronación: 371 msnm

Continuación **Tabla 7** Descripción componente de la Central Hidroeléctrica Prado

<b>Componente</b>	<b>Característica</b>
Casa de Máquinas	<p>Piso 4: oficinas, sala de control y cuarto de comunicaciones.</p> <p>Piso 3: generadores, contadores y distribuidores Servicios Auxiliares.</p> <p>Piso 2: reguladores, turbina, transformadores de auto alimentación de grupos.</p> <p>Piso 1: válvula de entrada, difusores, pozos de drenaje, filtros agua de refrigeración.</p>

**Fuente:** tomado de *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA* -, [ICA 6, Radicado 2015008456-1-000 del 20 de febrero de 2015]. Auto No 0057, 2017.

## 6.2. Descripción y características Represa de FUNIL (BRASIL)

**Figura 20.** *Hidroeléctrica Funil*



**Fuente:** Hidroeléctrica Funil. Tomado de pagina web [http://www.cobagroup.com/destaques\\_hidro\\_ES.html](http://www.cobagroup.com/destaques_hidro_ES.html)  
 El aprovechamiento hidroeléctrico de Funil está ubicado en el tramo medio del río Paraíba do Sul, aproximadamente a 150 km de Rio de Janeiro y a 250 km de São Paulo. Se integra en el complejo energético-económico de la región Centro-Sur del Brasil, indispensable al desarrollo de esta región. **Figura 20.** Hidroeléctrica Funil

La central de pie de presa, con planta curva, está equipada con 3 grupos generadores de 72 MW (con turbinas Francis). La Potencia instalada es de 216 MW y la Producción media anual es de 1 146 GW.

La presa de hormigón, en bóveda, tiene una altura de 85 m y la longitud del Coronamiento es de 360 m, siendo el volumen de  $270 \times 10^3 \text{ m}^3$ . La Capacidad del Embalse es de  $890 \times 10^6 \text{ m}^3$ , el caudal de Avenida Máxima es de  $3\,250 \text{ m}^3/\text{s}$ . El aliviadero debita  $2\,700 + 1\,700 \text{ m}^3/\text{s}$ , en túnel/canal en el margen izquierdo y túnel en el margen derecho, con compuertas. La descarga de Fondo debita  $285 \text{ m}^3/\text{s}$ , en orificio.

En 1988 fue hecho el Cálculo Sísmico de la Presa de Funil y, en 1991, fueron elaborados estudios de refuerzo de la impermeabilización de las cimentaciones e inyección para re-cierre de las juntas, para FURNAS – Centrais Elétricas, SA.

A pesar de poseer una potencia instalada inferior a las demás centrales hidroeléctricas es considerada de gran importancia para el sistema eléctrico por estar ubicada cerca de los grandes centros consumidores, garantizando confiabilidad de suministro de energía eléctrica y adecuar la tensión para las grandes industrias como la Compañía Siderúrgica Nacional (CSN). También en esta represa son cultivadas 64 especies de árboles nativos.

Las actividades de FUNIL están guiadas por políticas ambientales que buscan la integración armoniosa de sus proyectos con el medio ambiente. En 2015, la Política Ambiental de la compañía, que data de 1998, se sometió a una revisión y está en línea con la Política Ambiental de las Empresas Electrobras, conscientes de la necesidad de conservar la biodiversidad, la compañía opera en ecosistemas terrestres y acuáticos ubicados principalmente en el Bosque Atlántico y el Cerrado. Al implementar proyectos en áreas

ecológicamente relevantes, FUNIL cumple con los requisitos legales definidos por las agencias ambientales, enfocándose en prevenir la contaminación, minimizar la interferencia en el medio ambiente y los riesgos para la salud pública.

En 2017, FURNAS publicó las Guías para Mamíferos, Anfibios y Reptiles de la Batalha HPP y los resúmenes de artículos científicos se presentaron en el XIII Congreso de Ecología en Brasil: Fauna del 345 kV Tijuco Preto - Itapeti - Nordeste y Avifauna da Batalha HPP.

FUNIL lleva a cabo una serie de acciones para adaptarse al cambio climático en línea con las mejores prácticas del mercado. La compañía es miembro fundador del *programa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero de Brasil*, creado en 2008. El Protocolo de GEI fue desarrollado por el *Instituto de Recursos Mundiales (WRI)* para que las empresas midan y gestionen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por metodología internacional

En 2017, el inventario FUNIL recibió el Sello de Oro por quinto año consecutivo, que califica a las empresas con inventarios completos de emisiones de GEI y verificado por organismos acreditados por Inmetro.

FUNIL también se adhirió a la Declaración de compromiso de Electrobras sobre el cambio climático, logrando objetivos tales como una reducción del 3% en el consumo de electricidad en 2015 y del 1% en 2016. También en 2015, la compañía aumentó el uso de combustible con fuentes renovables en un 6%, adoptaron gas natural como combustible en las plantas termoeléctricas de Santa Cruz y Campos para reemplazar el diésel. También aumentó el uso de combustible renovable (etanol) en la flota de vehículos en un 21% y redujo el consumo de electricidad en un 5% en la electricidad de la Oficina Central, la sede de la compañía en

Río de Janeiro. La compañía también participa en la Cámara Temática sobre Energía y Cambio Climático del Consejo Empresarial Brasileño para el Desarrollo Sostenible (CEBDS), que busca posibilidades de progreso para abordar el tema. FURNAS - Electrobras Company (2011)

La planta Funil está funcionando normalmente de acuerdo con el despacho de ONS, con un flujo de afluentes (volumen de agua que ingresa a la presa) de  $480 \text{ m}^3 / \text{s}$  y flujo de difluentes (volumen que sale) también de  $480 \text{ m}^3 / \text{s}$ , lo que garantiza un nivel seguro para el embalse y alrededores.

El nivel del embalse de la planta Funil está actualmente a 461.49 m de elevación, lo que representa un volumen útil del 70.55%. Diseñada para cumplir con el concepto de usos múltiples del embalse y el agua, la central hidroeléctrica Funil sirve para regular el flujo del río Paraíba do Sul, contribuyendo a reducir el daño socioeconómico en caso de inundaciones.

### **6.3. Comparación de las características De las Hidroeléctricas Funil y Prado**

De acuerdo con los datos recopilados la **Tabla 8:** Caracterización hidroeléctrica Funil y en base a la información obtenida y recopilada en la **Tabla 9:** Caracterización hidroeléctrica Hidroprado. Se organizó la información obtenida así:

**Tabla 8:** Caracterización hidroeléctrica Funil

<b>Generalidades</b>	Ubicación:	Rio de Janeiro
	Rio que abastece:	Paraiba do sul
	Nombre	Represa de Funil
	Potencia Nominal	216 MW
	Inicio de Construcción	1961
	Inicio de Operación	1969
	Reservorio	1440 km <sup>2</sup>
	Perímetro reservorio	3500km
<b>Presa</b>	Tipo	Bóveda de doble curvatura.
	Altura Máxima	85m.
	Desarrollo de la corona	385msn
	longitud en la Corona	3.6m
	Elevación en la corona	468m
	Descarga	270 mil m <sup>3</sup> /s
	Tensión en los terminales	13.8kV
<b>Embalse</b>	Área inundada	40Km <sup>2</sup>
	Volumen total	millones de m <sup>3</sup> : 8'900,000
	Volumen útil	millones de m <sup>3</sup> : 6'200,000
<b>Toma de agua en captación</b>	Compuertas	Tipo lagarto
	Cantidad	3
	Altura del agua sobre la corona	77.83m
	Longitud	4.5m
	Alto	6.2m
<b>Vertedero Lado Derecho</b>	Descarga Máxima	1700m <sup>3</sup> /s
<b>Vertedero Lado Derecho</b>	Cantidad Compuertas Tipo segmento	1
	Longitud	11.47m
	Alto	16.53m
<b>Vertedero Lado Derecho</b>	Radio	16.1m

Continuación **Tabla 8:** *Caracterización hidroeléctrica Funil*

	Descarga Máxima	2700m <sup>3</sup> /s
<b>Vertedero Lado Izquierdo</b>	Cantidad Compuertas Tipo segmento	2
	Longitud	13.0m
	Alto	14.16m
	Radio	13.0m
	Tipo	Cubierta de Planta Curva
<b>Casa de Máquinas</b>	Dimensiones	90.47mx21.0m
	Turbinas	3U
	Tipo	Francis de eje vertical
	Revoluciones (RPM)	163.3
	Potencia Nominal (MW)	72

**Nota:** se elaboraron basados en el reporte Funil y *estudio presas Bóveda en Brasil*, 2018.

**Tabla 9:** *Caracterización Hidroeléctrica de Prado*

<b>Generalidades</b>	Ubicación:	Departamento del Tolima, municipio de Prado y Purificación
	Río que abastece:	Ríos Cuinde Negro y Cuinde Blanco
	Nombre	Hidroprado
	Geología	Medio de rocosos farallones
	Potencia Nominal	51 MW
	Inicio de Construcción	1961
	Inicio de Operación	1973
	Tipo	Enrocado por gravedad
<b>Presas</b>	Altura Máxima	92m
	Desarrollo de la corona	371msnm
	longitud en la Corona	240m
	Elevación en la corona	
	Descarga	750m <sup>3</sup> /s

Continuación **Tabla 9:** *Caracterización Hidroeléctrica de Prado*

<b>Embalse</b>	Área inundada	42 km <sup>2</sup>	<b>Nota:</b>
	Nivel normal de operación	362m	
	Nivel mínimo de operación	361m	
	Longitud máxima del embalse	30.0 km	
	Anchura máxima del embalse	30.0 km	
	Volumen total millones de m <sup>3</sup>	966.22	
	Volumen útil millones de m <sup>3</sup>	506.84	
	Compuertas		
<b>Toma de agua en captación</b>	Cantidad	2	
	Longitud	6.1m	
	Alto	5,8 m	
	Descarga Máxima	1220 m <sup>3</sup> /s	
	Turbinas	4	
	Tipo	Francis de eje vertical	
	Potencia Nominal (MW)	60	

Resumen de índices basados en los reportes de EPSA (2005), ANLA (2013), Guevara (2009)

### 6.3.1 Ventajas y Desventajas Presas en Tierra y enrocado

#### Ventajas

- Adecuado para diferentes tipos de lugares (valle ancho o cañón estrecho).
- Adaptable para una variedad de condiciones básicas, desde rocas duras hasta formaciones de suelo blando, compresible o permeable.
- El uso de materiales de la región puede minimizar la necesidad de importar o transportar grandes cantidades de materiales.
- Diseño flexible, puede usar una variedad de materiales y condiciones.
- La construcción es mecanizada y continua.



- El costo unitario del crecimiento del terraplén es más lento que el del concreto.
- Bien diseñado, se puede ajustar de forma segura a un cierto grado de deformación de asentamiento.

### **Desventajas**

- Frágil debido al gasto excesivo. (Es necesario asegurar el alivio de inundaciones, suficientes vertederos y vertederos separados)
- Filtración frágil y erosión interna en presas o cimientos.
- Se requieren grandes volúmenes de tierra para la construcción y elaboración de los terraplenes.

### **6.3.2. Ventajas y Desventajas Presas doble arco**

#### **Ventajas**

- Presenta mayor resistencia al empuje del agua que cualquier otro tipo de represa
- Por su forma, transmite el esfuerzo contra las paredes del macizo rocoso en donde se esté sosteniendo.
- El volumen de concreto requeridos es mucho menor que para las presas de gravedad.

#### **Desventajas**

- La capacidad de la base en cimentaciones y estribos para sostener o resistirse a cargas debe ser de un alto grado.

- Es necesario un terreno de gran capacidad portante, así como en el cimiento interior de la presa.

#### 6.4 Costos de diseño y mantenimiento de las represas de Hidroprado y Funil.

##### 6.4.1 Evaluación comparativa de los costos de diseño y mantenimientos de la presa de prado Hidroprado

Para la estimación de costos para la represa de prado Tolima, se toman con base a la Tabla 10 Costos Presa en tierra.

**Tabla 10** *Costos Presa en tierra*

Nombre de la presa	Paucarcocha	Morro de Arica	
		Presa Alta Presa RCC	Presa Baja Presa RCC
Tipo de Presa	Presa de Tierra con Núcleo Central		
Volumen de la presa m <sup>3</sup>	405,000m <sup>3</sup>	2,499,400m <sup>3</sup>	1,805,000m <sup>3</sup>
Altura de la presa desde la fundación(m)	30m	259m	232m
Volumen activo de almacenamiento Vol.(mmc)	55mmc	245mmc	205mmc
Solo construcción de la Presa	16	196	143
Presa & Central Hidroeléctrica	-	239	184
(Capacidad Instalada MW)	-	(50MW)	(46MW)

**Fuente:** Tomado de Cap. 5: *Evaluación Económico-Financiera Y Cronograma De Implementación.* (p,4-5)

Con lo anterior se deduce que la represa oscila entre los 143 millones de dólares en su construcción, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas reglamentarias lo cual le permite una altura de 232m y aumenta la capacidad de almacenamiento de agua llegando a 205 mmc.

#### 6.4.2. Evaluación Económica y Financiera de la Presa Hidroeléctrica Funil

En la siguiente evaluación económica y financiera de la represa de Funil se toma como base la represa de Kariba, la cual es una represa similar a la represa de Brasil.

**Tabla 11** *Evaluación económica y financiera de la represa Funil*

	<b>Represa No 1</b>	<b>Represa No 2</b>
	Kariba ET1	Funil
Nombre	Kariba ET1	Funil
Construcción	1955 a 1959	1961 a 1965
Localización	Zimbabwe - Sur África	Minas Gerais - Brasil
Rio Alimentación	Zambeze	Grande
Tipo de represa	En concreto, en arco doble curvatura	En concreto, en arco doble curvatura
altura (m)	78	85
Puertas Aliviadero (m)	3 cada una (8.8 x 9)	3 cada una de (4.5 x 6.2)
Capacidad de descarga de aliviadero (m <sup>3</sup> /s)	9500	4400
longitud del reservorio (km)	280	40
nivel mínimo de retención (m)	488.5	444

CARACTERIZACIÓN

Continuación **Tabla 11** *Evaluación económica y financiera de la represa Funil*

	Represa No 1	Represa No 2
nivel máximo de retención (m)	475.5	466.5
almacenamiento total (Km3)	180.6	89
almacenamiento util (Km3)	64.8	62
Cantidad de turbinas	4 de 153.5 MW	3 de 72 MW
Potencia Capacidad de Generación (MW)	470	216
Costo Millones USD	1320	
Tasa de retorno	El análisis del flujo de efectivo resultó en una tasa de rendimiento económico del 16.5% para el proyecto según lo planeado, y 14.5% para el proyecto como construido	

**Fuente:** Elaboración propia.

Con la **Tabla 11** Evaluación económica y financiera de la represa Funil, y para fines de la presente monografía se toma la tasa de retorno que se evidenció en el artículo encontrado.

Obtenemos la tasa de retorno del proyecto de la represa de Funil en Brasil.

### **6.5. Estimación de los Costos y Beneficios por medio de fórmulas y ecuaciones**

#### **lineales.**

Una forma de obtener una idea aproximada de los costos y el tiempo de retorno para una represa, independiente al tipo de represa, es por medio de gráficas y fórmulas que van en función de las características básicas.

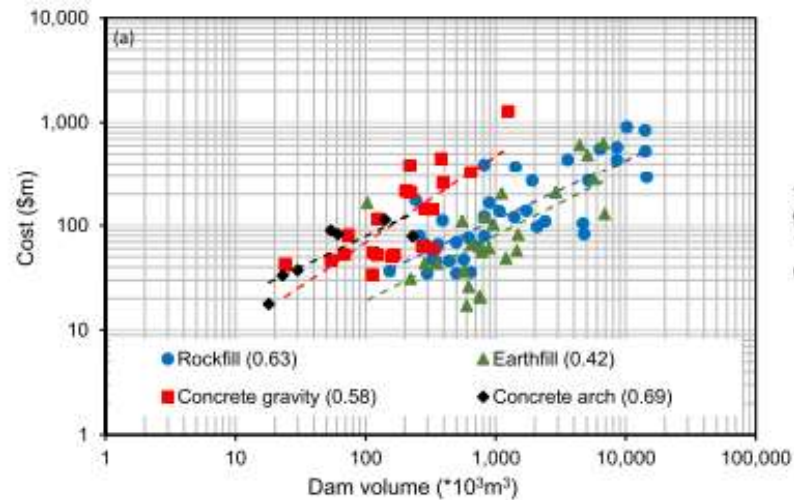
El cálculo para la estimación de los costos de esta monografía, se hizo con base en supuestos económicos de proyecto similares, puesto que generalmente esta información es hermética propia de un proyecto y más de este tipo. Adicional a este supuesto económico, también se usó un artículo científico en donde se hizo un análisis de los tipos de represas más comunes y se realizaron varias iteraciones con el fin de crear unas gráficas de apoyo las cuales sirven de base a la hora de definir las características del proyecto.

Así las cosas, la Universidad de Melbourne en su Facultad de Ingeniería, publica artículos científicos de Infraestructura, que recopila información de represas de cualquier tipo y lo compila de forma que se puedan representar por medio de una ecuación lineal, donde se desarrollan relaciones para predecir el costo, sobrecosto, costos anuales de operación y mantenimiento.

A continuación, se presentan las siguiente figuras a modo de resultado de la investigación anteriormente mencionada.

1. Costo de la represa respecto al volumen del reservorio y al tipo de represa.

**Figura 21.** Costos finales de la presa (AUD 2016 y (a) el volumen de la presa



**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

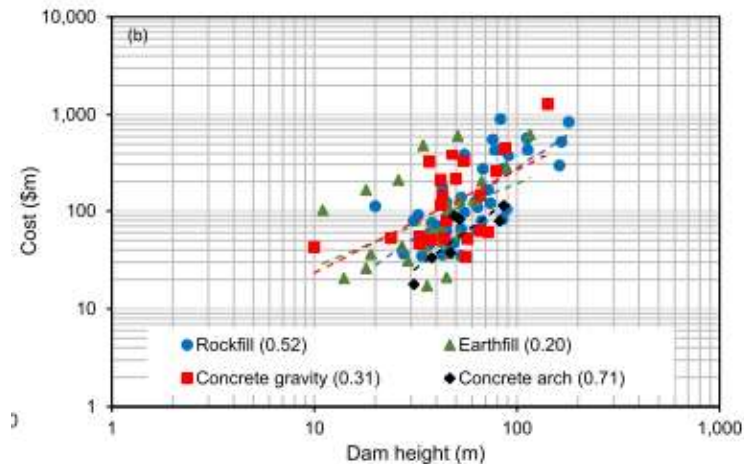
**Tabla 12** Relación de volumen - Costos

	<b>Represa Funil (Brasil) Concret arch</b>	<b>Represa Prado (Colombia) Rockfill</b>
Volumen en ( $\times 10^3$ $m^3$ )	<b>6.200</b>	<b>507</b>
Costo Según Grafico	<b>400</b>	<b>77</b>

**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Figura 22.** Costos finales de la presa (AUD 2016) y (b) la altura de la presa.



**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

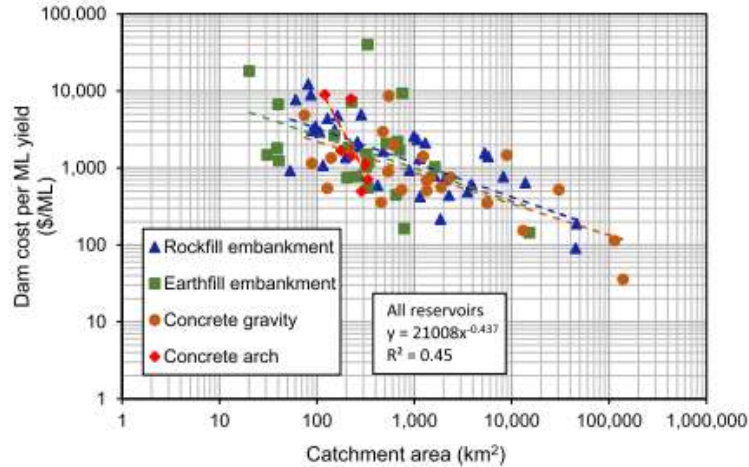
**Tabla 13** Relación Altura - Costos

	<b>Represa Funil (Brasil) Concret arch</b>	<b>Represa Prado (Colombia) Rockfill</b>
Altura Represa (m)	<b>468</b>	<b>240</b>
Costo Según Grafico	<b>502</b>	<b>103</b>

**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Figura 23.** Costo final de la presa (2016 AUD) por rendimiento de depósito ML y área de captación



**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

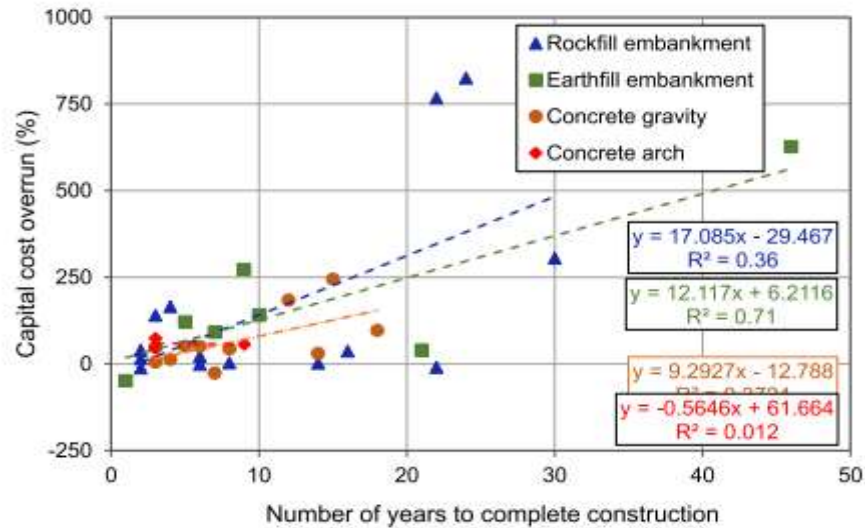
**Tabla 14** Relación Reservoirio - Costos

	<b>Represa Funil (Brasil) Concret arch</b>	<b>Represa Prado (Colombia) Rockfill</b>
Reservorio (km <sup>2</sup> )	<b>1440</b>	<b>900</b>
Costo Según Grafico	<b>N/A</b>	<b>1040</b>

**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Figura 24** Sobrecosto de capital (%) y el número de años para construcción completa



**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Tabla 15** *Relación Costos -reservorio km<sup>2</sup>*

	<b>Represa Funil (Brasil) Concret arch</b>	<b>Represa Prado (Colombia) Rockfill</b>
Reservorio (km <sup>2</sup> )	<b>8</b>	<b>12</b>
Costo Según Grafico	<b>80%</b>	<b>195%</b>

**Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

En **Fuente:** *Recuperado de Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Tabla 12** *Relación de volumen - Costos* a la **Tabla 14** *Relación Reservorio - Costos* se

muestra el resumen del presupuesto para los dos tipos de represas, donde el valor promedio de los dos escenarios es utilizado para la evaluación del proyecto. Todos los valores incluidos en el presupuesto están basados en obras anteriores y similares. Para la evaluación de ingresos futuros la **Fuente:** Recuperado de *Presas, costos de presas y excesos de costos*

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Figura 24** Sobrecosto de capital (%) y el número de años para construcción completa se nombran y definen los parámetros pertenecientes a la evaluación de las alternativas de diseño (para Hidroprado y Funil) con el fin de reflejar el procedimiento y el cálculo en la evaluación financiera del proyecto.

Con base al resultado de los indicadores de flujo de caja (T.I.R y V.A.N) para las alternativas de diseño del proyecto de una central hidroeléctrica, se puede inferir que el atractivo de invertir en un proyecto de Presa tierra y enrocado es superior al de Bóveda, ya que la Tasa



de Interna de Retorno es mayor y por consiguiente su Valor Actual Neto en el flujo de caja también es mayor. Pero acorde a las necesidades de demanda mundial de energía eléctrica y al requerimiento que tienen las empresas generadoras de aportar con proyectos renovables no convencionales a esta demanda, es necesario estudiar y analizar las tecnologías disponibles y características propias de cada país.

### **6.6. Colombia y sus tipos de presas**

Según XM<sup>6</sup>, la compañía es la operadora del Sistema Nacional de Interconexión (SIN) y el gerente del mercado mayorista colombiano. El suministro de las compañías hidroeléctricas es de 11,834.57 megavatios (MW), más el despacho centralizado de plantas de energía y su falta de concentración. Planificación. Esta cifra es equivalente al 68% del suministro de energía del país, y la capacidad efectiva neta total del país es mucho mayor, porque si se agregan todos los tipos de energía para generar electricidad, su capacidad efectiva total alcanzará 17319.59 MW. Esta oferta incluye alternativas como la energía térmica y eólica, así como generadores automáticos y cogeneración. Según la información de XM, la característica de las centrales eléctricas de distribución centralizada, es que la capacidad neta es mayor o igual a 20 MW, mientras que la capacidad neta de las centrales no descentralizadas es inferior a 20 MW.

Desde el punto de vista geotécnico: Colombia cuenta con buena roca o materia para cimentaciones, el país está rodeado por 3 cordilleras de roca que han tenido buen

---

<sup>6</sup> XM, es una empresa ISA especializada en la gestión de sistemas de tiempo real. Contribuye a la evolución de ciudades que mejoran la calidad de vida de sus habitantes y la eficiencia y competitividad de sus empresas.

comportamiento en obra, sin embargo, la practicidad que tienen las presas de rellenos en tierra en donde se hace uso de este, como relleno para poder construirla la hace apetecida.

Desde el punto de vista político: Si bien el concreto es uno de los materiales más costosos de la construcción, los departamentos que cuentan con las condiciones técnicas para poder desarrollar presas no cuentan con las condiciones económicas y viceversa.

Colaboración pública: la mayoría de los países en donde se encuentran las presas tipo doble arco cuenta con la colaboración por parte del gobierno local, ya que de por sí son obras costosas que a su vez requieren de un gran músculo económico que empresas privadas no están en capacidad de soportar.

## CONCLUSIONES

El proceso de toma de decisiones del diseño preliminar y la construcción de la presa es largo y complicado, por esto, hay que tener cuenta las ventajas, desventajas e intereses contrapuestos.

Las represas tipo doble arco, tiene una ventaja por sobre las demás tipos de repesas existentes, esta ventaja radica en la curvatura vertical con la que se diseña, la cual trabaja similar a una represa tipo gravedad al hacer que su propio peso contenga el empuje del agua, disminuyendo la cantidad de materia de relleno que se usa generalmente en las represas tipo gravedad.

Simultáneamente y por su condición de doble arco, la curvatura horizontal hace que los esfuerzos generados por la estructura se transmitan directamente a las paredes del macizo rocoso, lo cual puede ser contraproducente ya que es indispensable que la roca en donde se vaya situar esta estructura se de las mejores condiciones.

Con todas la información recopilada, es posible concluir que la tasa de retorno para una represa tipo doble arco, es del 80% para el primer año sobre su costo total de construcción, contra un 195% que representa la tasa de retorno para el primer año en una represa tipo tierra enrocado.

Siendo consecuente con lo anterior, económicamente no es atractiva la idea de construir una represa tipo doble arco, puesto que la recuperación económica sobre la inversión inicial se puede obtener de una formas eficiente construyendo otro tipo de represas, acá es donde el Estado desarrolla un papel fundamental. El estado debe financiar la construcción de este tipo de represas, ya que para el estado la recuperación económica no es lo primordial, si no la utilidad a largo plazo que pueda generar este tipo de proyectos para la nación.

Por otra parte, una razón por las cuales en Colombia no se construyen represas doble arco, obedece a la lenta tasa de retorno que en estas se representa la construcción de proyectos de esta magnitud, el tiempo en que se recupera la inversión económica suministrada hace parte del interés del inversionista.

Adicional, no se construyen este tipo de represas en Colombia a causa de la mínima capacidad con la que se diseñan las presas en el país, si bien el país cuenta con una buena cobertura en cuanto a energía eléctrica se refiere, no se ofrece con la mejor calidad ya que en varias zonas se presentan intermitencias, que afectan directamente a sus pobladores.

Dicho lo anterior, se puede pensar en mejorar la calidad de energía que se suministra al usuario final e incluso exportar esta energía a países vecinos, si se construyen represas óptimas para este fin las cuales estén la capacidad de atender la demanda.

Finalmente, la decisión de construir una presa se toma en un determinado momento y con las mejores herramientas y datos disponibles.

## RECOMENDACIONES

Es necesario tener en cuenta los estudios previos los cuales arrojan como resultado la necesidad del sector en cuanto a capacidad de suministro se requiere, así como también se considera importante conocer las características de la zona como la topografía, la geología, hidrología, las características del suelo, el análisis costo beneficio y la factibilidad económica de desarrollar este tipo de proyectos, y por último la afectación social y ambiental que pueda generar la construcción de una represa.

Hay una serie de factores que afectan directamente y en general todo tipo de construcción por lo que se debe conocer los riesgos geológicos y sísmicos de la zona cuyo fin es determinar los riesgos a los que se expone eventualmente la construcción del proyecto y en lo posible mitigar estos riesgos.

Analizado lo anterior, se debe contemplar el costo del proyecto durante toda sus fases: diseño, construcción y puesta en marcha además del posterior mantenimiento que debe ser periódico y constante se deben determinar los costos de operación y la tasa de retorno que al final es lo que representa la recuperación económica para quien invierten en la construcción de la obra.

En países donde se desarrollan este tipo de proyectos generalmente es el estado quien se encarga de la construcción y mantenimiento de estos proyectos, para el caso de Colombia, es posible hacer una unión entre el estado y una empresa privada con el fin de poder solventar económicamente este tipo de obras.

Finalmente se debe generar la mínima afectación socio-ambiental antes, durante y después de su construcción, puesto que en general este tipo de proyecto altera la forma de vivir de los

pobladores así como la fauna y la flora de la zona. Generando algún atractivo turístico nace una aceptación por parte de los pobladores a este tipo de proyectos, lo cual representa un nuevo ingreso económico para la población aledaña, y en el proyecto, evita ciertos sabotajes intencionales que puedan causar afectaciones a la estructura y pongan en riesgo su estabilidad, sus insumos y/o sus equipos.

## BIBLIOGRAFIA

- ALCOGEN, (Asociacion Colombiana de Generacion de Energía Eléctrica). (2017). *VISION 2030 DE LA ACTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. p. 87.
- Furnas. (2016). Central de Funil - 216 MW. Retrieved from Energia que Impulsa a Brasil - Sistema Furnas website: [www.furnas.com.br/subsecao/119/usina-de-funil---216-mw?culture=es](http://www.furnas.com.br/subsecao/119/usina-de-funil---216-mw?culture=es)
- IDEAM. (2010). *UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL TERRITORIO COLOMBIANO*. p. 59.
- Montes, S. (2019, February). Las plantas hidroeléctricas representan 68% de la oferta energética en Colombia. *Efecto Hidroituango*, 5. Retrieved from <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562>
- Padrino, L. (2018). *Riesgo por Rotura de Presa (Dam Break): Consideraciones para América Latina*. p. 7. Retrieved from <https://www.iagua.es/blogs/luis-alejandropadrino/riesgo-rotura-presa-dam-break-consideraciones-america-latina>
- Palacios, R. A. (2013). *INVENTARIO DOCUMENTADO DE REPRESAS EN COLOMBIA*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Rico, G. (2018, June 6). *Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo*. p. 3. Retrieved from <https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>
- RODRÍGUEZ, R. (2014). *CONSECUENCIAS AMBIENTALES POR FALLA O ROTURA DE PRESAS EN EL MARCO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS (ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA)*. Retrieved from <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/126>

Novak, P., Moffat, A., Nalluri, C., & Narayanan, R. (2001). Estructuras Hidráulicas (Vol. Segunda Edición ). (G. R. Santos, Trad.) Bogotá: McGRAW.HILL INTERAMERICANA S.A.

Santaella, L. H. (2001). Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo. *CCR Revista de la Facultad de Ingeniería Nueva Granada*, 8, 9-23.

Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA) . (2009). *Grandes Represas en America*. Obtenido de Aida: [https://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured\\_pubs/informe\\_aida\\_grandes\\_represas.pdf](https://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/informe_aida_grandes_represas.pdf)

Chien, N. (1985). Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs. *Earth surface Proceses Landforma*, 143-159.

Cornell, C. A. (1969). *Structural safety specifications based on second moment anlysys*. london: Final report of the IABSE.

ELECTROBAS . (1982). *Manual de Estudios de Factabilidad de Aprovechamientos Hidroeléctricos*. Rio de Jadeiro: Centrais Eléctricas Brasileiras S.A.

Funfación Coba. (Marzo de 2003). *Aprovechamientos Hidroeléctricos*. Obtenido de Group Coba: [http://www.cobagroup.com/historia\\_ES.html](http://www.cobagroup.com/historia_ES.html)

García, J. O. (2019). *Análisis de la viabilidad de la hidroelectricidad en Colombia- tesis de grado*. Bogotá: Universidad Nacional. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/72887/2/JavierBacca.2019.pdf>

GENSA-ELECTROTOLIMA-INVERCORG. (2007). Cuaderno de Información de La Central Electrica de Prado. *Informe de Gestión Anual*, 3-45.

INGAMEG . (2005). *Levantamiento Topográfico y Batimétrico del embalse Central Hidroeléctrica Prado- Tolima*. Bogotá: EGETSA S.A.



- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de Julio de 2017). *Miniambiente*.  
Obtenido de Resolución 1519:  
<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/39-RES%201519%20de%202017.pdf>
- Mogollón, H. M. (1996). Análisis de riesgo de falla en presas,. *Ingeniería Hidráulica en México*, XI(2), 65-69. Obtenido de file:///C:/Users/dina1/Downloads/762-1139-1-PB%20(1).pdf
- Mogollon, H. M., Arreguín, F. I., & Romero, I. (2010). Evaluación de riesgos en proyectos hidráulicos de ingeniería. Incertidumbres y confiabilidad. *Tecnología y ciencias del agua*, I(4). Obtenido de  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222010000400001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000400001)
- Moreno, R. R. (2014). Consecuencias ambientales por fallas o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos. *Tesis de grado de Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Recuperado el marzo de 2020, de <http://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/126>
- Pontificia Universidad Javeriana. (11 de Marzo de 2019). *Pesquisa Javeriana*. Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/tag/hidroituango/>
- Rico, G. (6 de junio de 2018). *Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo*. Obtenido de Mongabay:  
<https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>
- Sandoval, W. E. (2018). *Capítulo I: presas y embalses*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/326560488\\_Capitulo\\_1\\_Presas\\_y\\_Embalses/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/326560488_Capitulo_1_Presas_y_Embalses/citation/download).
- Trochim, W. (2005). Diseño de la Investigación. *Atomic*, 8-26.

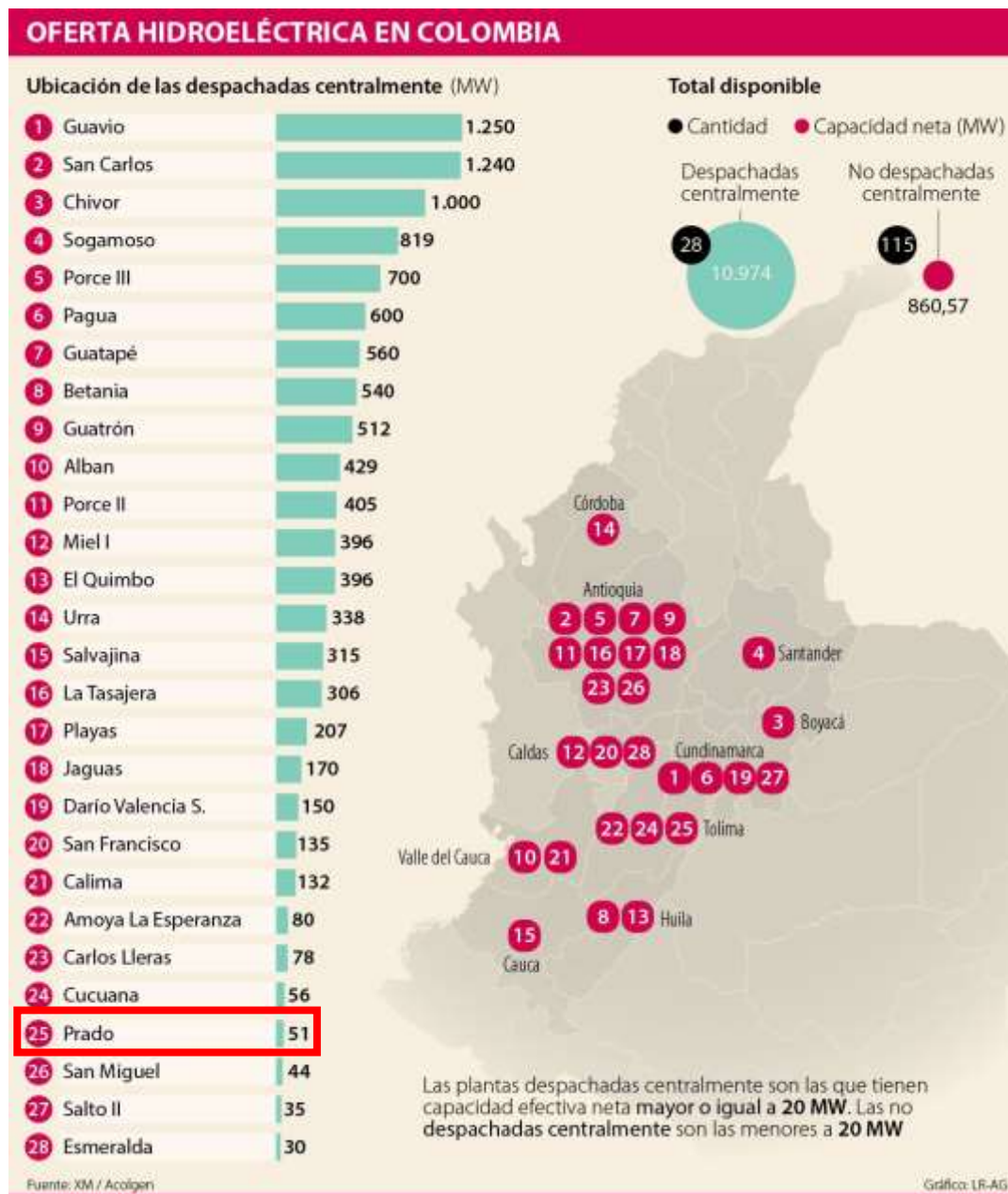
Unidad Nacional para la Gestión del riesgo de Desastres. (s.f.). *Plan Nacional de Riesgos*.

(T. p. Nuevo, Ed.) Obtenido de

<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD-2015-2025-Version-Preliminar.pdf>

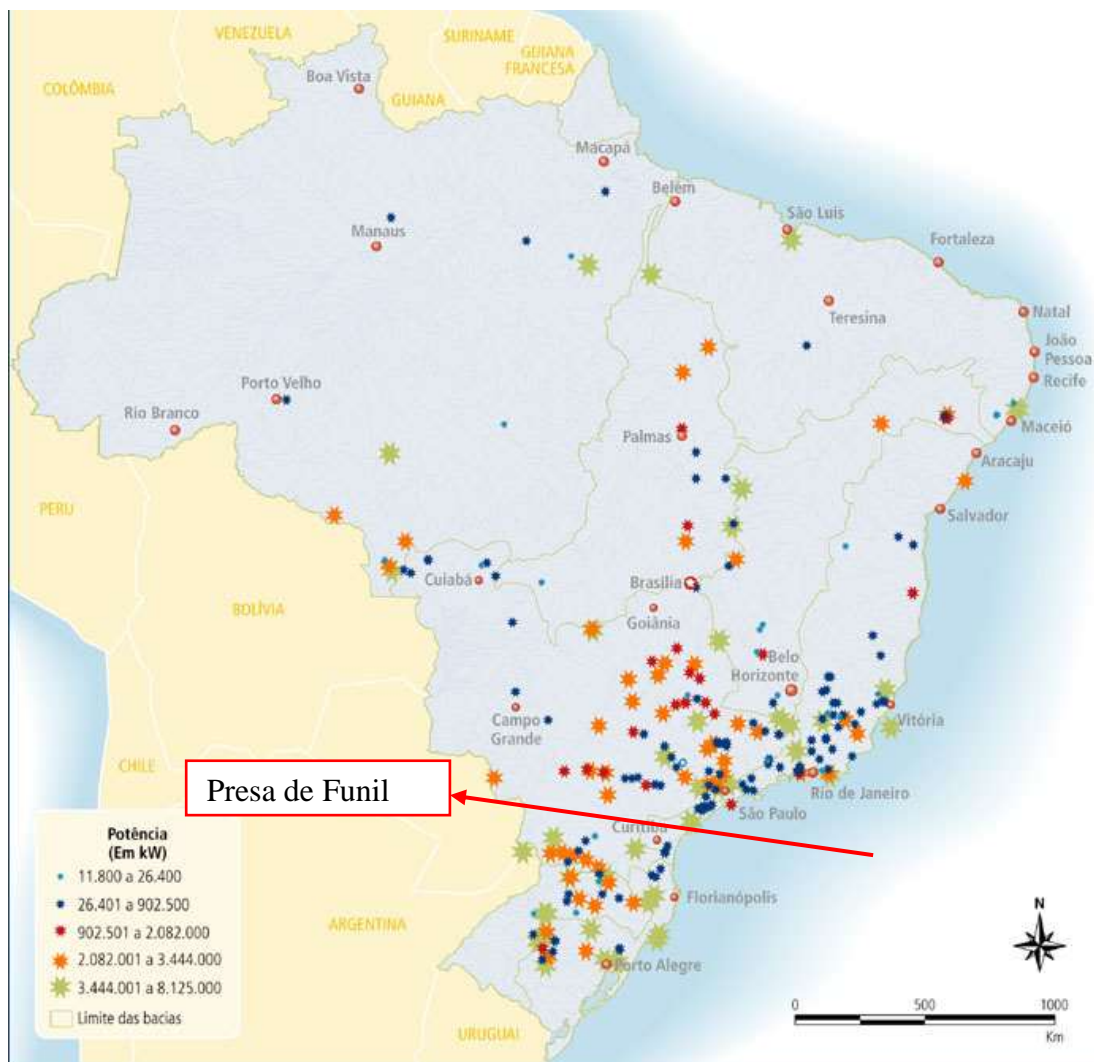
## ANEXOS

**Anexo:** Principales Centrales Hidroeléctricas y embalses en Colombia.



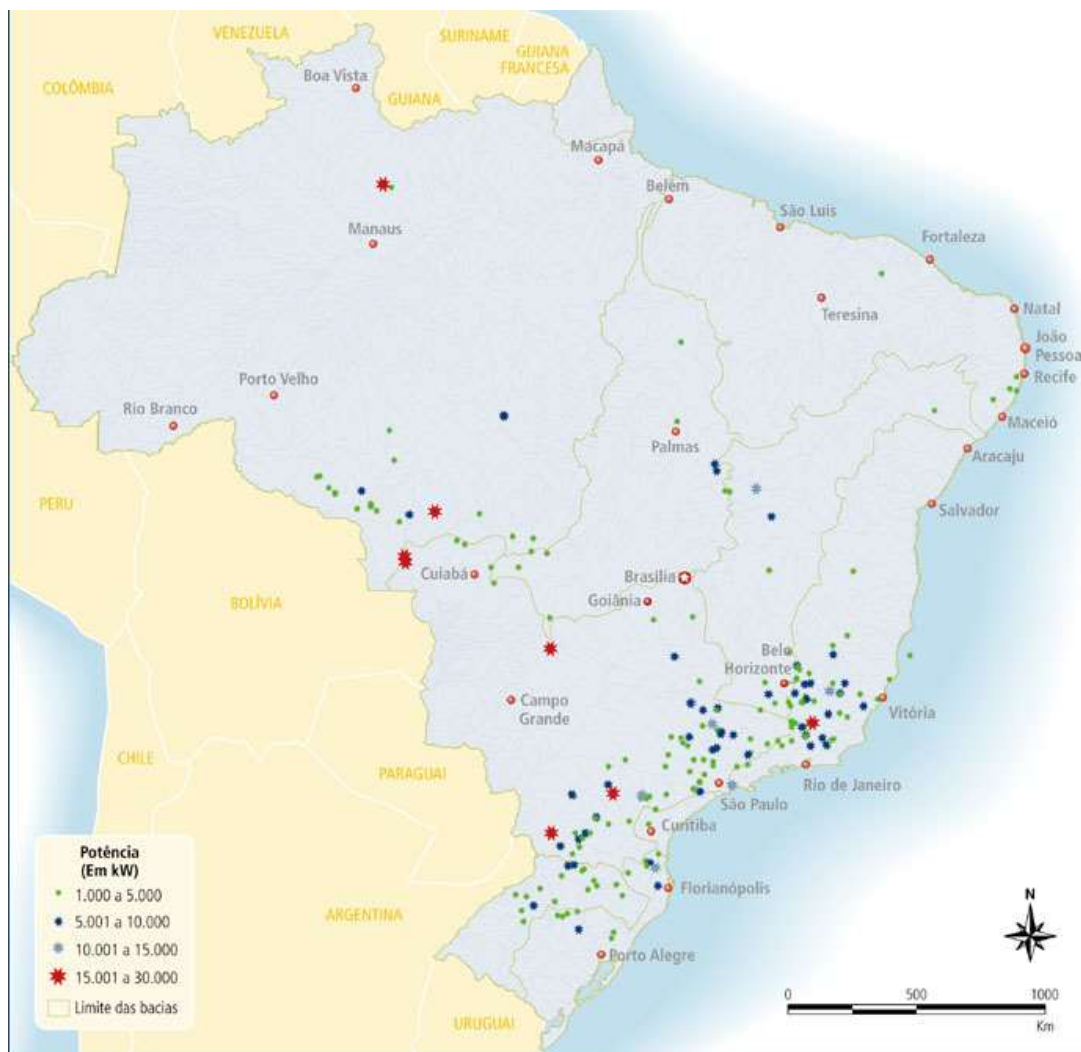
**Nota:** Modificado de la página web [www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562](http://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562) año 2017

### Anexo: Grandes Centrales Hidroelétricas en Brasil,



**Nota:** Modificado de [www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_hidraulica/4\\_6.html](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_hidraulica/4_6.html) año 2016

### Anexo: Medianas Centrales Hidroeléctricas en Brasil.



**Fuente:** Tomado de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Banco de información de Generación - BIG. 2003. Disponible en: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm). Año 2016

## Anexo Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Brasil,



Anexo distribución de centrales hidroeléctricas en Brasil, divididas por rango de potencias

Rango de Potencia	Numero de Presas	Potencia	
		MW	%
Grandes (> 30 MW)	139	69563	98.40
Medianas (1 a 30 MW)	230	1048	1.48
Pequeñas (< 1 MW)	148	81	0.12
<b>TOTAL</b>	<b>517</b>	<b>70693</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Tomado de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Banco de información de Generación - BIG. 2003. Disponible en: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm). Año 2016