



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

PROYECTO TRABAJO DE GRADO

**“COMPARACIÓN DE PARÁMETROS Y OBRAS HIDRÁULICAS UTILIZADAS
EN LAS REPRESAS DE FURNAS E HIDROITUANGO”**

LIYUGETH MARITZA ALFONSO BONILLA

CÓDIGO ESTUDIANTIL: 506102

LAURA ALEJANDRA LEÓN RODRÍGUEZ

CÓDIGO ESTUDIANTIL: 506157

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2019

**“COMPARACIÓN DE PARÁMETROS Y OBRAS HIDRÁULICAS UTILIZADAS
EN LAS REPRESAS DE FURNAS E HIDROITUANGO”**

LIYUGETH MARITZA ALFONSO BONILLA

CÓDIGO ESTUDIANTIL: 506102

LAURA ALEJANDRA LEÓN RODRÍGUEZ

CÓDIGO ESTUDIANTIL: 506157

VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL

PREGRADO ACADÉMICO

**INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO
FELIPE SANTAMARÍA ALZATE, ESP, MSC,**

DIRECTOR DE PROYECTO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2019

LICENCIA CREATIVE COMMONS



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.

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C., 28/Octubre,2019

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	11
2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	11
2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	13
2.3. ANTECEDENTES REGIONALES	14
2.4. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
4. OBJETIVOS.....	18
4.1. GENERAL	18
4.2. ESPECIFICOS	18
5. MARCO DE REFERENCIA.....	19
5.1. MARCO CONCEPTUAL	19
5.2. MARCO TEÓRICO	22
5.2.1. ESTUDIOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA.....	22
5.2.2. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PRESA	24
5.2.3. CLASIFICACIÓN DE PRESAS	25
5.3. MARCO GEOGRÁFICO	27
5.3.1. FURNAS	27
5.3.2. HIDROITUANGO	29
6. ESTADO DEL ARTE	30
6.1. REPRESAS DE COLOMBIA.....	30
6.2. REPRESA ITAIPÚ BINACIONAL.....	32
<i>Fuente Itaipú Binacional.....</i>	33
7. LIMITACIONES	38
8. METODOLOGÍA.....	39
9. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	40
9.1. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN.....	40
9.1.1. VISITA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE FURNAS	40
9.2. LICENCIAS AMBIENTALES.....	47
9.3. INICIOS Y GENERALIDADES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	52

9.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y UNIDADES DE GENERACIÓN	55
9.5. PROCESO CONSTRUCTIVO	64
9.6. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA	69
9.7. IMPACTO SOCIO AMBIENTAL	74
9.8. PROBLEMAS ASOCIADOS	76
10. CONCLUSIONES	79
11. RECOMENDACIONES	81
12. BIBLIOGRAFÍA	82

LISTA DE TABLAS


Tabla 1. Características principales de las represas más grandes	12
Tabla 2. Número de incidentes en represas	22
Tabla 3. Condiciones presentadas en la ubicación	24
Tabla 4. Características embalse de la represa Itaipú	33
Tabla 5. Tomas de agua de la represa Itaipú	34
Tabla 6. Tuberías de presión de la represa Itaipú	34
Tabla 7. Generadores de la represa Itaipú	35
Tabla 8. Localización de los equipamientos y las principales cotas	35
Tabla 9. Características de generadores de la represa Itaipú	36
Tabla 10. Características turbinas de la represa Itaipú	36
Tabla 11. Características vertedero de la represa Itaipú	37
Tabla 12. Funcionamiento del sistema hidráulica	50
Tabla 13. Estudios proyecto Hidroituango	54
Tabla 14. Ficha técnica de las centrales hidroeléctricas Funil – Furnas e Hidroituango	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta Hidroeléctrica en Colombia	14
Figura 2. Marco conceptual para la comparación de los dos casos de represas	19
Figura 3. Localización de la represa Furnas - Funil	27
Figura 4. Vista 3D de la presa de Furnas – Funil sobre el rio Paraíba do Sul	28
Figura 5. Área inundada del embalse central hidroeléctrica Funil – Furnas	28
Figura 6. Ubicación de la represa Hidroituango sobre el rio Cauca y municipios que limita	29
Figura 7. Represa Itaipú sobre el rio Paraná	34

Figura 8. Casa de máquina de la represa Itaipú.	35
Figura 9. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial – Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Mirante Usina de Funil Brasil	40
Figura 10. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial – Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Casa de máquinas central Hidroeléctrica Funil Furnas Brasil	41
Figura 11. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Universidad de São Paulo sede São Carlos	41
Figura 12. Casa de máquinas central Hidroeléctrica Funil Furnas Brasil – Turbinas y tableros de comando	42
Figura 13. Características de las turbinas de la represa Furnas	43
Figura 14. Sala de control y operación	43
Figura 15. Presa y Sala de control y operación	44
Figura 16. Turbina Usina de Funil Furnas	44
Figura 17. Represa de Furnas	45
Figura 18. Vertedero de la represa de Furnas	45
Figura 19. Compuerta 1 de la represa de Furnas - Margen izquierdo	46
Figura 20. Compuerta 2 de la represa de Furnas - Margen izquierdo	46
Figura 21. Modelo de datos para tipologías de plantas de generación hidroeléctrica	48
Figura 22. Sección transversal de las captaciones de agua, presa y casa de máquinas	52
Figura 23. Principales obras de la central Hidroeléctrica Funil – Furnas	62
Figura 24. Planta general de la central Hidroeléctrica Funil – Furnas	63
Figura 25. Principales obras del proyecto Hidroituango	64
Figura 26. Pre – ataguía en perfil	65
Figura 27. Pre – ataguía y ataguía en perfil	65
Figura 28. Presa	66

Figura 29. Presa en perfil	66
Figura 30. Dimensiones vertedero	67
Figura 31. Dimensiones compuertas	67
Figura 32. Dimensiones tanque de aquietamiento	69
Figura 33. Ubicación de la represa Furnas	70
Figura 34. Ubicación de la represa Furnas	70
Figura 35. Ubicación de la represa Hidroituango	71
Figura 36. Ubicación de la represa Hidroituango	71
Figura 37. Sistema de generación de energía en Brasil, Sistema Furnas	73

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 10 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para las actividades diarias del ser humano, desde el consumo hasta la producción de energía, por esta razón para la sociedad es indispensable tener acceso a los servicios provenientes de este recurso, es allí donde los proyectos de ingeniería son fundamentales para el mejoramiento de algunas condiciones de vida del ser humano. Las obras de ingeniería para el aprovechamiento del recurso hídrico, como represas o embalses, son representativas para satisfacer algunas necesidades de una comunidad.

Este trabajo tiene como fin exponer la comparación entre parámetros y obras hidráulicas de las represas, teniendo en cuenta los estudios de casos como son la represa Hidroituango en Colombia y la represa de Furnas en Brasil, para estudiar, analizar y comparar las diferencias y similitudes que hay en este tipo de obras de ingeniería y concluir qué aporte se puede dar en alguna de las represas.

Este estudio estará enfocado en la comparación de las represas Hidroituango y Furnas. La represa Hidroituango es uno de los proyectos generadores de energía más grande del país, presenta el diseño con una altura de la cresta de 225 metros, la capacidad de contener 0,2 kilómetros cúbicos de volumen de agua sobre el río Cauca, una central subterránea de 2.400 MW de capacidad instalada y 13930 GWh de energía media anual, ubicado exactamente en la zona Noroccidental correspondiente al departamento de Antioquia (1).

En conclusión, la Represa de Furnas se diferencia de las demás centrales de la empresa "*furnas centrais electricas SA- Eletrobrás Furnas*" por su imponente arquitectura pues, cuenta con una presa de bóveda de hormigón de doble curva, construida sobre el río Paraíba do Sul en el sitio "Salto do Funil", ubicada en el municipio de Itatiaia perteneciente al estado de Rio de Janeiro. Su capacidad instalada es mínima, pero se considera de gran importancia para el sistema ya que está ubicada cerca de los principales centros de consumo, garantizando la confiabilidad del suministro de electricidad de los estados de Rio de Janeiro y Sao Paulo. Otro aspecto importante de esta central es que permite la regularización de su volumen de refluo, reduce la frecuencia e intensidad de las inundaciones en ciudades aguas abajo (2).

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 11 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------


2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

El abastecimiento de agua, la energía eléctrica, el riego, entre otros, son las necesidades surgidas con el pasar de los tiempos y cada vez se convierte en una complejidad y reto poder facilitar estos servicios. Esto se debe a que el diseño, elaboración y operación de una estructura, deberá satisfacer en lo mayor posible una gran proporción de cualquier país en el mundo, por lo tanto, desafían al ingenio humano, al momento de crear una manera que consigan suplirlas. Es un hecho, el ser humano desde hace miles de años ha buscado la forma de diseñar, calcular y elaborar estructuras que favorezcan y suplan sus necesidades, y los descubrimientos arqueológicos lo aseguran, con hallazgos de construcciones de presas simples en tierra y canales que se fueron desarrollando desde los 2000 a.C., fundadas para facilitar el almacenamiento de agua en temporadas de sequía en comunidades pequeñas, entre ellas se encuentra la presa de Marib en el Yémen, elaborada en 750 a.C., por un terraplén de tierra de cuatro metros de altura y orificios en piedra para regular la salida de flujo, y en 1986 fue ampliada a un alto de 38 metros, generando así un embalse de 398 millones de metros cúbicos de agua. (3)

En el mundo se registran varias presas antiguas y aún siguen en funcionamiento, entre estas se encuentra una de las más antiguas ubicada en Siria y fue construida en el año 1300 a.C. otro país como, Irán posee presas elaboradas entre los siglos XIII y XVI y en Sri Lanka, existe una lista de numerosas presas del siglo VI con redes de canales conectando cuencas para el llenado de sus embalses, una de estas es la presa Minneriya construida en los años 276-303 d.C., fue encontrada intacta en el año 1900 y restaurada al siguiente año; en este país se conocen alrededor 50 presas que fueron restauradas y funcionan hoy en día. Por otro lado, los romanos también aportaron en la construcción de presas, pero de pequeñas dimensiones, la más conocida es la de Cornalbo en España elaborada en tierra, con 24 metros de altura y 185 metros de largo. (3)

Estas presas antiguas funcionan actualmente debido a que los aliviaderos, los desagües y las escolleras, todavía son compatibles con los principios y criterios de las estructuras modernas. Aunque la finalidad de cada una era para servicios básicos como almacenamiento y abastecimiento de agua, el riego y control de inundaciones para dicha época, hoy se sabe que se han ido implementando otros usos, como la generación de energía eléctrica y navegación, provocando desafíos para la creación de estructuras de este tipo mucho más grandes (3). El primer

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 12 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

central hidroeléctrica fue la Appleton Edison concebida en 1882, ubicada en el río Fox en Wisconsin (EE.UU.), con la capacidad de brindar energía y suministrar agua al hogar del constructor y propietario H.F. Rogers, y, gracias a este aporte se sabe que el cauce y la cantidad de agua de un río puede generar energía eléctrica. Sin embargo, luego de miles de intentos se concluyó que, para garantizar una eficacia en las hidroeléctricas estas deben estar conformadas por tres partes: una central encargada en la producción de energía, una presa que controla el flujo del agua y un depósito el cual almacena. (4)

Alrededor del mundo, los diferentes países se encuentran en búsqueda de perfeccionar métodos de diseño y construcción en lo que respecta a dimensiones de estructura y calidad de servicio de las presas, esto de acuerdo a la necesidad a satisfacer. A modo de ejemplo se tiene que hoy existen aproximadamente 50.000 presas, por lo cual, hay una gran competencia en lo que respecta a estos, teniendo en cuenta las adaptaciones hídricas y ambientales de la zona en la que se ejecutará el proyecto.


A continuación, expondremos algunas de las presas icónicas que han dado gran peso a la labor de la ingeniería alrededor del mundo, tales como:

Tabla 1. Características principales de las represas más grandes

Nombre	País	Área inundada	Uso	Turbinas	Año inicio/terminación
Presa de las tres gargantas	China	1045 km ²	Hidroeléctrico	34 tipo Francis	1994/2011
Represa de Itaipú	Brasil	1350 km ²	Hidroeléctrico	20 tipo Francis	1970/1984, 1991 y 2003
Presa de Guri	Venezuela	4250 km ²	Hidroeléctrico	21 tipo Francis	1963/1986
Presa Tucuruí	Brasil	3014 km ²	Hidroeléctrico	25 tipo Francis	1975/1984
Presa Grand Coulee	Estados Unidos	324 km ²	Hidroeléctrico	27 tipo Francis	1933/1942 y 1980

Fuente BLOG INGENIERÍA las 5 centrales hidroelectricas más grandes del mundo

Brasil, se encuentra entre los países con las represas más grandes y reconocidas por varias fuentes, debido al potencial y características de cada una. Sin embargo, como muchos otros países han lidiado con dificultades y tragedias de gran impacto como la desaparición y pérdida de vidas humanas, así como se presentó en las represas ubicadas en Bento Rodríguez y recientemente en Brumadinho a finales del 2015 y comienzos del 2019, respectivamente. Ambas represas tenían fines mineros, pues eran utilizados para depositar residuos de la extracción de hierro. La ruptura de las presas generó una crisis ambiental en su entorno, aunque se desconocen las causas del colapso de las estructuras de contención, un indicio de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 13 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

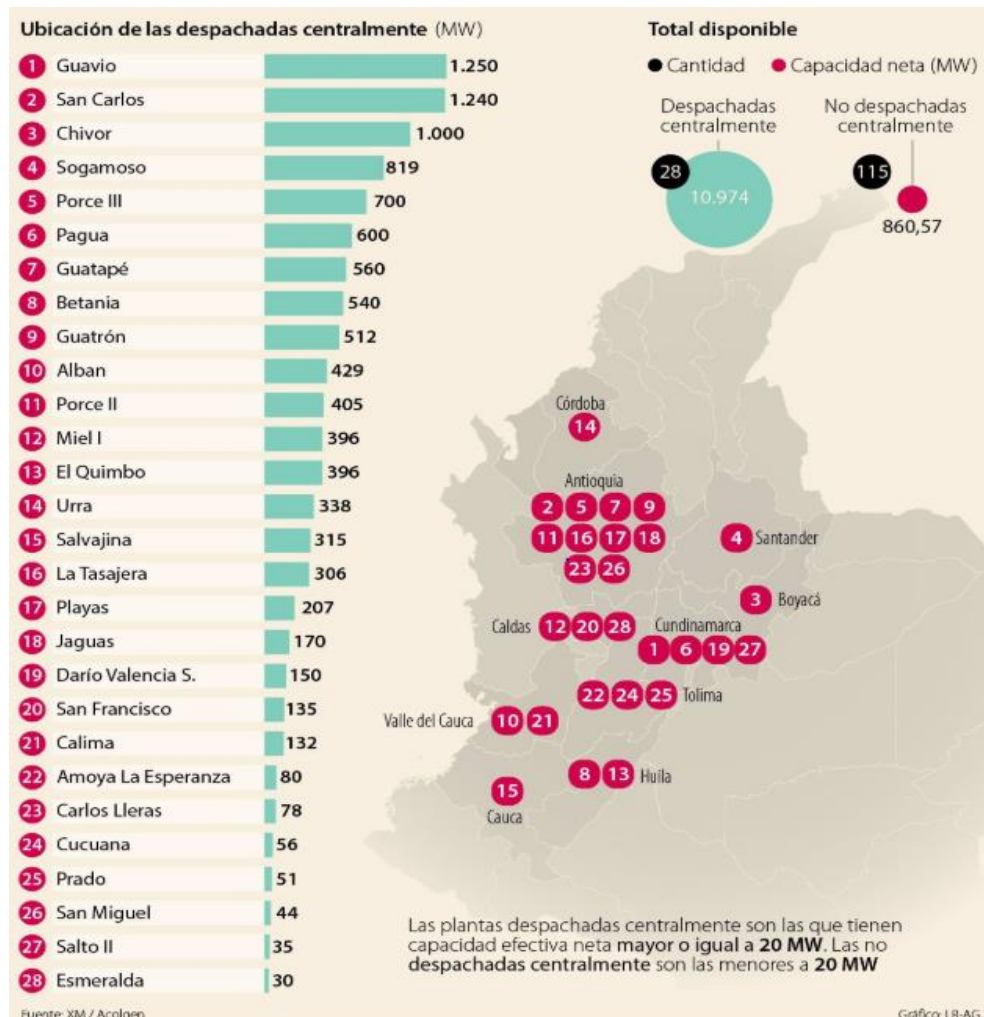
fugas en ambas se considera que no soportaban los volúmenes de desecho almacenados.

2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Sabiendo que las presas son consideradas como mega estructuras construidas para prestar servicios en distintos sectores productivos, para lo cual es necesario realizar una serie de estudios hidrográficos, medioambientales, de diseño y población para obtener una aproximación de las demandas a suplir; Colombia ha sabido aprovechar gran parte el recurso hídrico mediante este tipo de obras. En general, algunos departamentos de Colombia tienen la capacidad de poseer una estructura de esta dimensión, debido a la cantidad de cuerpos de agua existentes en el país y a las necesidades que surgen día a día en la sociedad. En el transcurso del tiempo, este tipo de proyectos han sido considerados como unos de los más importantes en el desarrollo del país gracias a la riqueza hídrica, características topográficas y otros aspectos que tienen un alto potencial para ser ejecutados, además, gracias a este tipo de obras de infraestructura, se genera aproximadamente el 70% de energía del país (5).

En Colombia la historia de las centrales hidroeléctricas empieza en el año 1891 en la ciudad de Bucaramanga, donde se instaló la primera central denominada Chicotá sobre el río Suratá y luego en 1910, la hidroeléctrica sobre el río Cali (6). Colombia cuenta con una gran cantidad de presas encargadas en la generación de energía, como lo es la central del Guavio, San Carlos, Chivor, Sogamoso, Porce, Guatapé, Betania, Miel, entre otras. Además, se encuentran en proceso, la construcción de tres más para ayudar con el aporte del sector energético del país, entre ellas está el proyecto Hidroeléctrico Ituango, propiedad de las Empresas Públicas de Medellín (EPM). La figura 1, muestra de forma ascendente las centrales de acuerdo a la producción y entrega de energía en megavatios (MW) al país y su ubicación dentro de cada departamento, las cuales son de vital importancia, por contribuir un 68% de energía eléctrica en Colombia:

Figura 1. Oferta Hidroeléctrica en Colombia




Fuente La República

2.3. ANTECEDENTES REGIONALES

La central del Guavio, por el momento es considerada la hidroeléctrica más grande de Colombia, con una capacidad instalada de 1250 megavatios. La presa y casa de máquinas están ubicadas entre los municipios de Ubalá y Mámbita, exactamente a unos 120 kilómetros del noreste de Bogotá. Este proyecto comprende las siguientes obras: (7)


- La presa es enrocada con 243 metros de altura, formando un embalse de 950 millones de metros cúbicos

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 15 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

- El túnel de desviación es de 1160 metros de longitud
- El rebosadero está conformado por dos túneles de 600 metros de longitud y un vertedero de entrada, controlado mediante compuertas
- Túneles de desviación al embalse del río Batatas y Chivor, con longitudes de 2330 y 2190 metros de longitud, respectivamente
- Túnel superior de carga de 13315 metros de longitud
- La almenara es tipo galería, con una expansión de 319 metros de longitud, sección en herradura y diámetro de excavación de 8,4 metros
- Pozo de carga de 545 metro de longitud
- Túnel inferior de carga de 1430 metros de longitud
- Túnel de fuga de 5260 metros de longitud
- Casa de máquinas con dimensiones en planta de 234 por 17 metros y 35 metros de altura
- Ocho turbinas Pelton
- Salto nominal 1100 metros
- Caverna de transformadores de dimensiones en planta de 201 por 14 metros y 21 metros de altura
- 24 transformadores monofásicos
- Líneas de transmisión de 230 kilovatios y 127 metros de longitud

Actualmente, se está desarrollando un nuevo proyecto conocido bajo el nombre de Hidroituango que reemplazará el lugar de la central hidroeléctrica el Guavio. Este proyecto hidroeléctrico ha sido uno de los retos más importantes de la ingeniería colombiana en los últimos años. La central tendrá una capacidad instalada de 2400 megavatios, casi el doble de la del Guavio, y la entrega de la primera fase se tenía prevista para el mes de noviembre del año 2018. Sin embargo, este nuevo proyecto ha generado una oleada de bajas esperanzas debido a varias alertas generadas a su alrededor, como el desastre en las comunidades aguas abajo por el posible colapso de la presa, represándose cierta cantidad de agua que no soportaba la estructura por estar incompleta, generando un derrumbe en uno de los tres túneles construido con el propósito de desviar el cauce del río Cauca, pues los otros dos ya habían sido sellados.

Con la finalidad de mitigar los daños causados y a manera de prevenir posibles perjuicios mayores se aceleró la construcción de la presa, la evacuación del recurso hídrico por la casa de máquinas y la liberación de los dos túneles (8), todo esto en pro de la conservación de la vida y del medio ambiente. Desde entonces los involucrados no solo operan para crear uno de los generadores más grandes de energía del país, sino para evitar una gran catástrofe. Por tanto, se espera que para el año 2021 Hidroituango se entregue en su totalidad.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 16 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

2.4. JUSTIFICACIÓN


La generación de imponentes estructuras como son las represas, asigna un valor importante al país. Colombia, ha tratado en lo posible independizarse de países que tienen un gran potencial en ejecutar proyectos de este tipo y no ha sido fácil comenzar de cero, pero, gracias a varios procesos implementados o aportados por extranjeros se tienen bases para dar un paso en lo que respecta al desarrollo, diseño, construcción, control, operación y/o funcionamiento de las represas.

Aprovechando la visita técnica que se realizó a la represa de Furnas en Brasil, se crea una alternativa viable para la obtención de información en el desarrollo de este trabajo, debido a que existe un reconocimiento significativo en este tipo de estructuras en el lugar mencionado. Una comparación, contribuiría en las posibles técnicas que se puedan aplicar para el mejoramiento, diseño y operación de este tipo de estructuras en cualquiera de los dos países, sea en las represas de estudio o en construcciones futuras.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 17 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según el funcionamiento y características de diseño de las represas en Colombia y en Brasil, ¿Qué parámetros y obras hidráulicas se asemejan o se diferencian en la construcción de las represas en Brasil y en Colombia caso represa de Furnas y represa Hidroituango?

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 18 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Comparar e identificar los parámetros y obras hidráulicas de la represa Hidroitungo en Colombia y la represa de Furnas en Brasil, en base a la información obtenida de la visita técnica a Brasil.

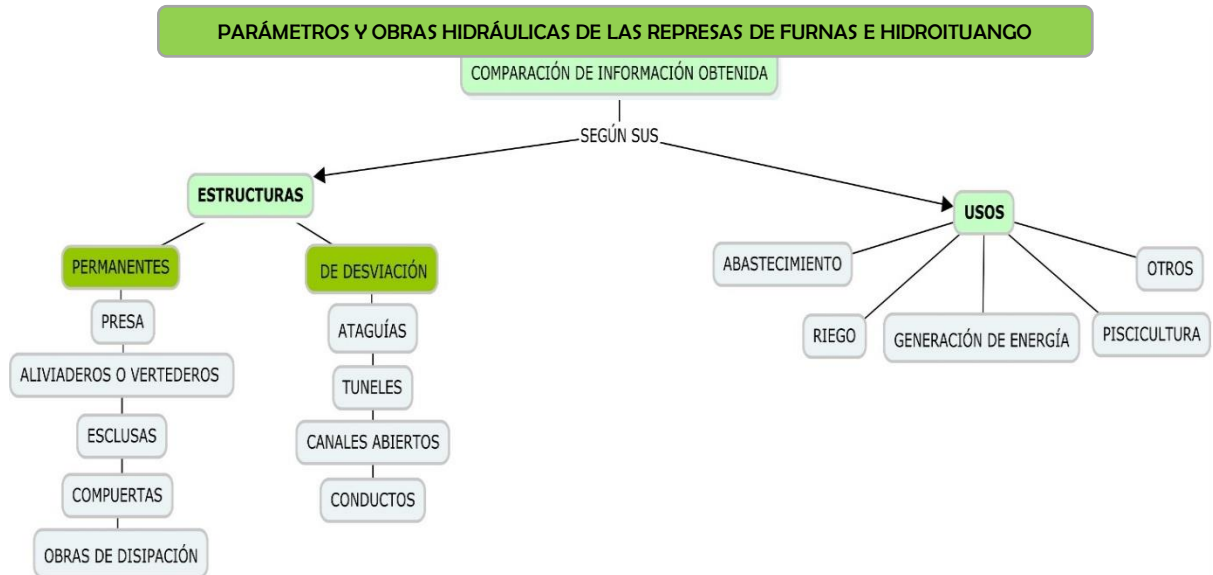
4.2. ESPECIFICOS

- Recopilar la información y estado del arte de los parámetros y obras hidráulicas de la represa Hidroitungo.
- Reconocer e identificar las estructuras y funcionamiento de la represa de Furnas en Brasil.
- Presentar la información recolectada para llevar a cabo la comparación respectiva de las represas teniendo en cuenta los factores que las componen y el aprovechamiento que se tenga de cada una de ellas.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. MARCO CONCEPTUAL


Figura 2. Marco conceptual para la comparación de los dos casos de represas




Fuente propia

En el esquema general (Figura 2) se observa términos concisos para realizar la comparación entre las represas de Hidroituango y Furnas, necesarios para desarrollar la finalidad de este trabajo con respecto a sus parámetros y obras hidráulicas que conforman estos proyectos.

- **PRESA** Es una estructura hidráulica sometida al empuje del agua y de sedimentos, a la presión intersticial, subpresión, peso propio, sismos y efectos térmicos; construida con el objetivo de ser estable y segura, elaborada sobre la sección transversal del cauce de un río, con dos fines: el primero, elevar su nivel de forma permanente o variable para hacerla pasar por una conducción; y el segundo es almacenar el agua para suministrarla por periodos de escasez. En general, la construcción de estas estructuras es importante para la generación de energía eléctrica, el abastecimiento de agua para acueducto y riego, la regulación de caudales, control de crecientes, y usos derivados como la recreación, el deporte y la piscicultura. Las partes de una presa dependen del material de construcción, las más importantes son: (9)

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 20 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

- **CERRADA O SITIO DE EMPLAZAMIENTO** Es el sitio en el cual se construye la presa, por lo general es lo más estrecho del cauce, que además debe cumplir con las condiciones de seguridad y funcionalidad que permita construir la obra más económica en conjunto.
- **CIMENTOS Y ESTRIBOS** Estructuras encargadas en resistir las cargas transmitidas por la presa, procedentes de las fuerzas exteriores a las que están sometidas.
- **DRENAJES** Sirven para canalizar las filtraciones de agua que atraviesen el espaldón aguas arriba. En las presas de concreto los drenes se construyen en sentido vertical a ella, encofrando un tubo o perforando el agujero posteriormente. Los drenajes desembocan en las galerías, y su dimensión va según el tipo que resulte del diseño del proyecto.
- **GALERÍAS** Son conductos horizontales de forma rectangular o en herradura, se construyen en sentido longitudinal y transversal a la presa, y sirven para inspeccionar la obra durante su construcción y en el llenado del embalse, para investigar y conocer mejor la roca, efectuar las inyecciones de cosido confines de impermeabilización, para la consolidación del terreno de forma que no se genere movimientos relativos y para drenar la obra con el fin de eliminar la presión intersticial.
- **CRESTA** Es la cima o parte más alta de la presa (10)
- **PUNTA** Fragmento de la presa que se encuentra en contacto con el suelo o el lecho del río en el lado corriente abajo. (10)
- **TÚNEL DE DESVÍO** Elaborado para desviar o cambiar la dirección del cauce del río, con el fin de evitar que el agua llegue al sitio de construcción de la presa. (10)
- **ALIVIADEROS** Están diseñados para evitar derrumbes en las presas. La estructura de contención se desbordará, si su capacidad es menor que la diferencia entre volúmenes de entrada y salida. Si una presa puede, económicamente, ser suficientemente alta para proporcionar un espacio de retención por encima del nivel de suministro completo para absorber todo el volumen de la inundación de diseño de entrada, no se requiere aliviadero y una salida como turbina o compuerta es necesaria para la regulación. Existen otras

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 21 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

funciones realizadas por este tipo de estructuras complementarias: mantener las funciones normales del agua del río (suministro de agua de compensación, descarga de agua para su utilización, mantener el nivel inicial de agua en la operación de control de inundaciones, controlar las inundaciones, liberación de agua sobrante (Seguridad de presas y embalses) y bajar los niveles de agua (Agotando los niveles de agua en una emergencia). (11)

- **ESCLUSAS** Son estructuras que permiten la navegación de los barcos uniendo las dos partes navegables con diferentes niveles. Una cámara aislada por dos puertas, en el que se puede hacer variar el nivel del agua. Las esclusas pueden ser manuales, eléctricas o automáticas. (12)
- **OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA** Los disipadores de energía son estructuras que se diseñan para generar pérdidas hidráulicas importantes en los flujos de alta velocidad. El objetivo es reducir la velocidad y pasar del régimen supercrítico a subcrítico. Algunas estructuras empleadas como disipadores son la descarga de vertederos, tanques amortiguadores, rejillas, rápidas escalonadas, entre otras. (13)
- **COMPUERTAS HIDRÁULICAS** Son dispositivos mecánicos para el control del flujo del agua que se sitúan en los portillos de las presas, aliviaderos o en las esclusas de canales con el fin de retener o permitir el paso de toda o parte del agua embalsada. El uso de compuertas permite el control de inundaciones o la creación de reservas de agua, lo cual son movidas por sistemas mecánicos accionados por motores hidráulicos, eléctricos o por medios manuales. (14)

Debido a que las dos represas a comparar son empleadas para la generación de energía, se emplean unas máquinas principales encargadas en la producción de este servicio:

- **TURBINA** La turbina hidráulica tiene como función aprovechar la energía del fluido, que pasa por ella para producir energía de rotación. Esta energía dinámica se convierte en energía eléctrica gracias a un generador que permite la modificación de la energía. En pocas palabras, este maquina sirve para convertir la energía potencial en energía cinética y energía eléctrica. La turbina funciona cuando el líquido pasa a través de un mecanismo, las aspas del rotor sufren una caída de la presión que la impulsa y hace que gire. A medida que el medio se mueva más rápido, la caída de presión será mayor y la velocidad giratoria más alta. (15)

- **GENERADOR** o alternador esta acoplado al eje de la turbina que gira por la acción del agua genera una corriente alterna de alta intensidad y baja tensión, esta corriente posteriormente pasa a un transformados que la convierte en alta tensión y baja corriente, lista para su transporte a grandes distancias con un mínimo de pérdidas. Más tarde, en los centros de consumo, un nuevo transformador la convierte en una corriente de baja tensión para su aplicación directa a los receptores domésticos e industriales. (16)


5.2. MARCO TEÓRICO

5.2.1. ESTUDIOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA

Para la ejecución de proyectos relacionados a estructuras como presas, se debe tener en cuenta información sobre el sitio en el cual se va a construir, con el fin de tener una proximidad de la cantidad de agua necesaria a almacenar, sin causar catástrofes al ecosistema, de acuerdo con estudios previos importantes que están relacionados a la geología, morfología, topografía e hidrología del lugar. A pesar de que se ejecuta una fase de estudios e investigaciones, desafortunadamente existen unos factores que no son previstos y pueden causar tragedias, como el colapso total de la presa. Lo cual están relacionados con un inadecuado análisis, dando a demostrar que la mayoría de los incidentes en estas construcciones son causados por la mala interpretación de la geología y mecánica de suelos. A nivel internacional se tiene que una de las causas principales que genera incidentes en represas es el desarrollo de la exploración, una de las etapas más importantes en este tipo de proyectos, no obstante, lo anterior no es la única causa generadora de incidentes o alertas en represas. La COMISION INTERNACIONAL DE GRANDES REPRESAS, (ICOLD) presenta las siguientes estadísticas frente a las principales causas de incidentes en represas a nivel mundial. (17)

Tabla 2. Número de incidentes en represas

Causa fundamental	Presa de tierra	de Presa de roca	Presa de concreto	de Varios	Total
Exploración	49	2	20	1	72
Material	8	-	3	-	11
Bosquejo	17	3	5	-	25
Diseño	48	3	23	2	76
Construcción	32	5	4	-	41
Operación	5	1	-	-	6
Supervisión	3	-	2	-	5
Total	162	14	57	3	236
<i>Porcentaje</i>					

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	PROYECTO TRABAJO DE GRADO	FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 23 DE 85
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	-----------------------------------------------

Exploración y material	35	40	35
Diseño y construcción	49	47	50

Fuente adaptado de ICOLD 1974

Debido a ello es de estricto cumplimiento llevar a cabo una fase de estudio, ejecutado con rigor y precisión para evitar errores en la construcción, con un personal altamente capacitado en cada una de las áreas afines. Para la ejecución de represas, se tienen estudios de acuerdo con:

- **GEOLOGÍA** Las condiciones de la cimentación deben ser adecuadas y los materiales de construcción deben encontrarse disponibles y cercanos al sitio de ejecución del proyecto. Sin estas condiciones previas, el lugar puede ser inviable.

Todos los aspectos sísmicos están relacionados a la geología, por tanto, evaluarlos se convierte en una obligación, determinando por región y área (no solo localmente), el sismo operacional y el de máxima credibilidad que están ligados a la zona, los estudios deben abarcar los sucesos pasados. Los eventos sísmicos ocurridos ofrecerán información valiosa, logrando establecer si el proyecto es factible o no, por ejemplo, si una falla geológica en actividad sísmica no es conocida, constituye un riesgo de seguridad para la presa o una de las estructuras relacionadas.

- **MORFOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA** En la morfología, la forma y estructura de la superficie de la tierra es otro aspecto importante al momento de seleccionar la zona para la ubicación de la presa. Los terraplenes, presentan una limitación para encontrar un sitio adecuado, esto se genera a que no existe una exigencia de condiciones especiales de estabilidad del pilar o del tamaño del valle.

La topografía es la base de la curva de llenado del reservorio, y realizar el estudio topográfico del sitio de la presa y del área del embalse es una cuestión de tema geodésico, que debe ser examinado luego de la selección del sitio más apropiado, realizando estudios al mismo tiempo con otras investigaciones geotécnicas descritas. Para los países en vía de desarrollo se emplea fotogrametría área, obteniendo una exactitud de la vegetación cercana, con el fin de ser removida. Después de dicha actividad es recomendable un pequeño cambio en la ubicación de la presa, presentándose diferencias en la curva de llenado de acuerdo con las tolerancias en altura, en lo que más tarde, los niveles de almacenamiento llegaran a lograr ciertas elevaciones esperadas, de igual manera el llenado del embalse también depende a la saturación de la roca.

- **HIDROLOGÍA** La hidrología está relacionada con la construcción de presas y la operación de embalses, por la necesidad de desviar ríos durante la construcción y control de inundaciones. La previsión de eventos hidrológicos se basa necesariamente en los datos disponibles de tiempos anteriores, corrigiendo la predicción a partir de la duración del periodo mediante datos precisos y confiables. Este estudio, es seguro respecto a la dimensión de las estructuras para el control de inundaciones, incluido los aliviaderos de emergencia para evitar el derribo de presas.


En el diseño de estructuras permanentes y para el desvío, se efectúan totalmente diferentes. En el caso de aliviaderos, los criterios para tener en cuenta son los de inundación máxima probable y la capacidad de retención de la presa, en algunos casos la inundación máxima probable es reemplazada por la inundación de 10.000 años. Esto demuestra la importancia de los datos y su procesamiento, ya que el tamaño y los costos de construcción y operación del aliviadero depende directamente de los datos hidrológicos. Las estructuras para el desvío del río, deben cumplir criterios adicionales, como la duración del periodo de construcción y unos eventos de inundación, en los cuales deben ser controlados.

5.2.2. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PRESA

La ubicación de la presa se selecciona, tan pronto estén finalizados y lo permitan los estudios morfológicos, topográficos e investigaciones geológicas con respecto a la capacidad de carga, la permeabilidad y la actividad sísmica confirmen la idoneidad del sitio prospectivo. Eso significa que la selección se realiza en el curso de las investigaciones de campo, en el cual se puede presentar las siguientes condiciones: (17)

Tabla 3. Condiciones presentadas en la ubicación de la presa.

	Condiciones Favorables	Condiciones desfavorables
Geología	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacidad de carga adecuada de la cimentación. ✓ Baja permeabilidad en la cimentación. ✓ No existan fallas geológicas. ✓ No exista riesgo de actividad sísmica. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capa gruesa del suelo no consolidado y permeable sobre el lecho de roca, que en muchos casos requiere excavación profunda. ✓ Roca extremadamente permeable. ✓ Falla geológica en el área de cimentación
Morfología	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valle recto y simétrico con suaves pendientes. ✓ Costados expuestos, formando un arco de presa y contrafuertes. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valle profundamente erosionado con excavaciones profundas. ✓ Contorno irregular de la superficie de la roca y

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 25 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------------

		<p>pendientes extremadamente empinadas que causan grandes asentamientos diferenciales en la estructura de la presa.</p>
<p>Topografía</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pilares muy altos, por encima del nivel normal. ✓ Altos costados alrededor del embalse, con largo caminos de infiltración a los valles vecinos. ✓ Sin depresiones que requieran diques laterales. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Altura reducida de la presa. ✓ Depresiones a lo largo del borde del embalse que requieren presas adicionales.

Fuente Earth and Rockfill Dams, Principles of Design and Construction


5.2.3. CLASIFICACIÓN DE PRESAS

Las presas pueden ser clasificadas en un número de categorías diferentes, dependiendo de su finalidad. Existen tres clasificaciones de acuerdo con:

5.2.3.1. SU USO

Las represas, como bien se sabe sirven para el almacenamiento, desviación o detención del agua, con el fin de confinarla durante un periodo de suministro. Estos periodos pueden ser estacionales, anuales o más extenso. El propósito del almacenamiento se debe al suministro, recreación, pesca, energía hidroeléctrica, entre otros. (18) Basado en los usos de la presa, se puede clasificar de la siguiente manera: (10)

- **PRESAS DE ALMACENAMIENTO** Se construye para almacenar agua durante la temporada de lluvias, cuando existe un gran caudal en el río. Muchas represas contienen la escorrentía para uso posterior en períodos secos.
- **PRESAS DE DESVÍO** Con el fin de desviar el cauce de un río hacia un canal (o conducto), provocando una presión para empujar el agua hacia las zanjas, canales u otros sistemas de transporte. Estas presas de desviación poseen una baja altura y un pequeño depósito de almacenamiento.
- **PRESA DE DETENCIÓN** Elaboradas para el control de inundaciones, retrasando el flujo en su curso descendente. Luego el agua es liberada gradualmente a una velocidad controlada de acuerdo con la capacidad de carga de aguas debajo de la presa de detención.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 26 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

- **PRESA DE ESCOMBROS** Retiene escombros como arena, grava, madera y otros desechos, con la finalidad de que el agua, una vez atravesada la presa, se libere de dichos materiales.
- **PRESAS DE COFRE** Es una estructura temporal construido alrededor del lugar de selección, de una obra hidráulica, para excluir el agua, de modo que se puede elaborar en seco. Por lo tanto, una presa en cofre sirve para desviar el curso del agua hacia un túnel, un canal, un conducto u otras estructuras de desviación.

5.2.3.2. MATERIALES EN LOS QUE SE CONSTRUYEN

Esta clasificación se basa en lo materiales utilizados para construir la estructura. Sin embargo, este punto también reconoce el tipo de diseño, como la presa “gravedad en concreto” o la de “arco en concreto”. Otros tipos más comunes de represas ejecutadas hoy en día son las de relleno en tierra y roca; y actualmente se encuentran discutiendo las presas elaboradas en contrafuertes de concreto y madera. (18)

Estas dos últimas clasificaciones van de la mano, debido a ello existen tipos de presas según su diseño y materiales: (10)

- **PRESAS DE GRAVEDAD** Es una presa de tamaño masivo fabricada en concreto o en mampostería de piedra, diseñada para contener grandes volúmenes de agua. Al emplear concreto, el peso de la presa es capaz de resistir el empuje horizontal del agua, por ello se le asigna su nombre.
- **PRESAS DE TIERRA** Elaborada en tierra compactada, utilizando materiales impermeables para la formación del núcleo y permeables, en los costados de aguas arriba y aguas abajo. Se realiza un revestimiento en piedra triturada para evitar la erosión y el aliviadero, generalmente en concreto. Este tipo presa es usada por su resistencia al corte en el suelo.
- **PRESAS DE ROCA** Construida por fragmentos de rocas de gran tamaño, y la membrana está hecha en hormigón de cemento u hormigón asfáltico para reducir la filtración a través de la presa.
- **PRESAS DE ACERO** Consiste en un marco de acero con una placa de revestimiento de acero en su cara corriente arriba, son usadas como represas temporales de cofre durante la construcción de las represas permanentes.
- **PRESAS DE MADERA** Los estructurales principales están hechos en madera. Elaboradas para cabezas pequeñas y generalmente tienen esclusas. Las aberturas de las presas de madera están restringidas por pilares: donde la compuerta es muy larga; se divide en varias aberturas por soportes intermedios: muelles, contrafuertes y postes

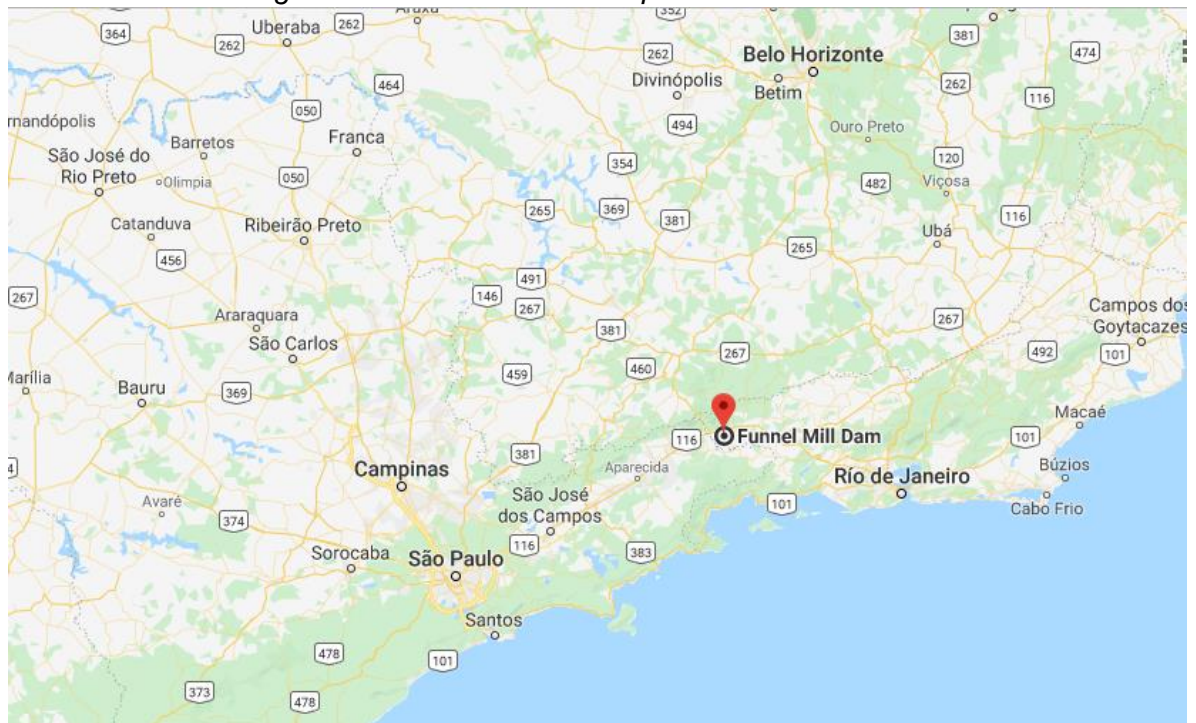


5.3. MARCO GEOGRÁFICO

5.3.1. FURNAS

Esta central hidroeléctrica se encuentra ubicada en el tramo medio del río Paraíba do Sul, exactamente en el sitio conocido como “Salto do Funil” limitando al sur del municipio de Itatiaia, a unos 12 kilómetros de allí. Furnas se concentra en el complejo energético – económico del sur de Brasil, importante para su desarrollo.

Figura 3. Localización de la represa de Furnas - Funil



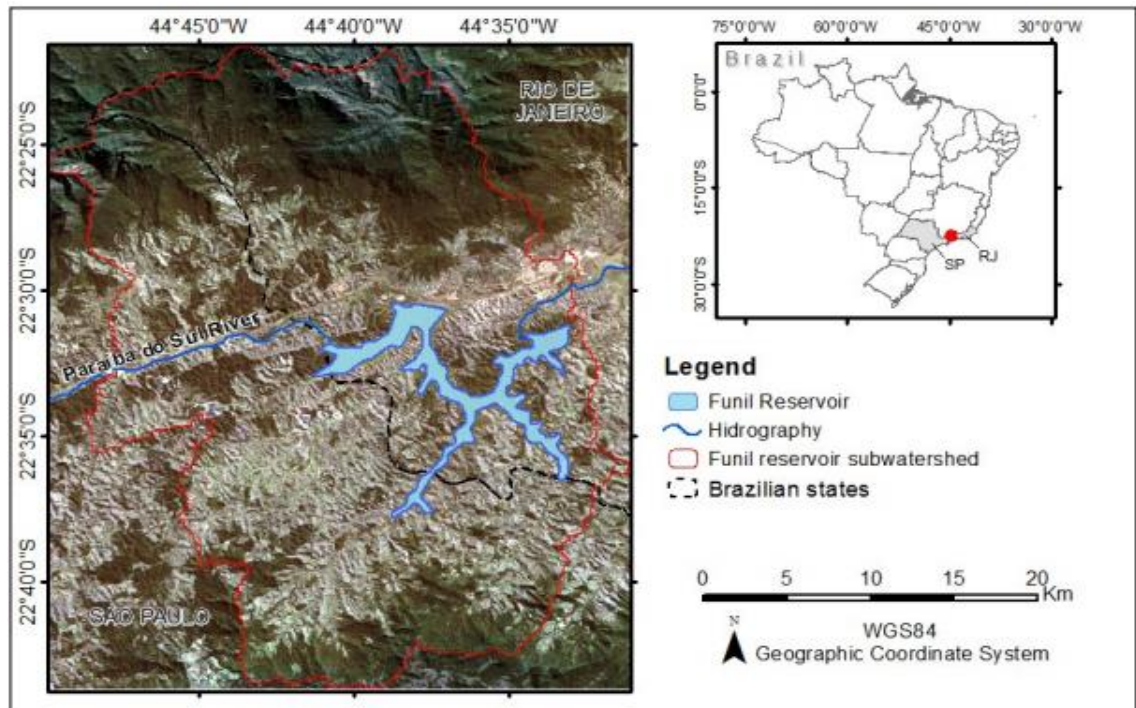
Fuente Google Maps

Figura 4. Vista 3D de la presa de Furnas – Funil sobre el río Paraíba do Sul



Fuente Google Earth

Figura 5. Área inundada del embalse central hidroeléctrica Funil – Furnas



Fuente The *aCDOM* spatial and temporal distribution analysis in funil reservoir)




5.3.2. HIDROITUANGO

Las obras donde se encuentra el proyecto hidroeléctrico Ituango, están localizados al norte del departamento de Antioquia, en Liborina al sur y la confluencia con la desembocadura del río Ituango en el Cauca, al norte. Las principales obras están a unos 171 kilómetros de la ciudad de Medellín, pasando sobre el municipio de San Andrés de Cuerquia y a 7 kilómetros aguas abajo del denominado puente Pescadero en la jurisdicción de los municipios de Ituango y Briceño. Finalizada la construcción, el embalse inundará territorios por la margen izquierda de los municipios de Ituango, Peque y Buriticá y por la margen derecha los municipios de Briceño, Toledo, Sabanalarga y Liborina.

Figura 6. Ubicación de la represa Hidroituango sobre el río Cauca y municipios que limita



Fuente Manual de inducción Hidroeléctrica Ituango

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 30 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

6. ESTADO DEL ARTE

Colombia cuenta con 33 represas principales en todo el país que se encargan de aportar diferentes beneficios a la sociedad, entre estos está la generación de energía, riego y abastecimiento de agua potable, estos proyectos han tenido un buen desarrollo, pero no han sido obras de infraestructura muy reconocidas a nivel mundial como otros países. Las represas que han presentado un excelente desarrollo y funcionamiento encargados de la generación de energía, han sido la represa del Guavio, La Miel, Porce II, Prado, Calderas, Hidroeléctrico Sogamoso, Tominé, Guatapé, entre otras (19)

6.1. REPRESAS DE COLOMBIA


La central Hidroeléctrica del Guavio, está ubicada entre los municipios de Guavio y Mámbita, en la cuenca media-baja del río Guavio, con afluentes de los ríos Guavio, Batatas y Chivor. Esta represa fue realizada por la firma INGETEC, que se encargó del diseño de todas las obras del proyecto, incluyendo los estudios de prefactibilidad, factibilidad, diseño y elaboración de pliegos de licitación para su construcción, además de asesorarla técnicamente en su ejecución: (19)

La función principal de este proyecto es la producción de energía eléctrica. Abarca un área total inundada de 150 km² y un volumen total del embalse de 1043x10⁶ m³. La presa tiene una altura total de 247 metros y longitud de coronación de 390 m, asimismo fue construida con materiales sueltos y un núcleo de hormigón. Para la generación de energía se emplean ocho turbinas tipo Pelton de 230 MW.

La central Hidromiel está ubicada en el municipio de Norcasia, Caldas situado sobre el río La Miel aguas abajo de la desembocadura del río Moro, formando el embalse Amaní de 12,2 km² y un volumen total de la represa de 571x10⁶ m³, la corona de la presa tiene 340 m de longitud. Contiene tres unidades de producción energía impulsadas por turbinas tipo Francis, generando 132 MW cada una.

La central hidroeléctrica Porce II se encuentra al Noroeste del departamento de Antioquia a 120 km de la ciudad de Medellín, su principal fuente de abastecimiento es el río Porce. La presa es de tipo gravedad, construida en concreto con una altura de 118 m y la capacidad de inundar un área total de 8,90 km². Se emplea tres generadores sincrónicos de 142 MW, con turbinas tipo Francis de eje vertical.

La represa de Prado está localizada en el departamento del Tolima, entre los ríos Prado y Cunday, está incluida en medio de rocosos farallones, convirtiéndose en un lugar ideal para la pesca deportiva y deportes náuticos. Esta represa está sobre un área de 42 Ha, se almacenan 966,22x10⁶ m³ de agua, de los cuales 506,84

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 31 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------


corresponden a embalse útil. La central hidroeléctrica posee propiedad sobre los predios que forman el embalse hasta la cota 367 msnm. Además, produce la energía con 4 unidades de generación, tableros de control, equipos de servicios auxiliares y la subestación tipo metalclad a 33 KV.

La represa Calderas está localizada cerca a los municipios de Santuario, Granada y San Carlos del departamento de Antioquia. En el funcionamiento de esta hidroeléctrica, consta de una presa de gravedad con una altura de 25 m, 24 m de longitud y capacidad de almacenar un volumen de 25000 m³. Esta obra capta aguas del río Tafetanes y la desvían por un túnel a la quebrada “Los Medios”, afluente del río Calderas, sus caudales se dirigen a las turbinas para producir anualmente 87 GWh.

La hidroeléctrica Sogamoso se ubica entre los municipios de Betulia y Girón, con el fin de aprovechar el caudal del río Sogamoso se instaló una en gravas con cara en concreto para captar un volumen de 4800x10⁶ m³, el cual posee una altura de 190 metros y longitud de cresta de 345 m. Este es uno de los proyectos más recientes del país.

La represa de Tominé, utiliza el cuerpo de agua para la generación de energía eléctrica que se suministra a la ciudad de Bogotá, específicamente a la EMPRESA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BOGOTÁ – EEEB operado por EMGESA S.A. E.S.P. Esta construcción está ubicada en la cuenca del río Bogotá, en los municipios de Sesquilé, Guatavita y Guasca, tiene un área de superficie de 3.693 Ha, una profundidad promedio de 19.1 m, un volumen de 690.6x10⁶ m³, una longitud máxima del embalse de 18 km y ancho del embalse de 4 km, maneja un caudal de 4.16 m³/s y sus principales afluentes son el río Bogotá, río Aves, río Siecha y su río efluente es el Tominé.

Finalmente hablando de los proyectos generadores de energía que más importantes del país, se encuentra la represa el Peñol-Guatapé; localizada al oriente del departamento de Antioquia en una zona batolítica a 50 km de Medellín, específicamente entre los municipios de San Rafael, el Peñol y Guatapé. El embalse tiene de principal tributario al río Nare con un caudal promedio anual de 50 m³/s, en este embalse descargan agua diferentes quebradas por la margen derecha y la margen izquierda. En su margen izquierda tributan las quebradas San Miguel, La Magdalena, San Lorenzo y Cucurucho. En la margen derecha del embalse descargan las quebradas La Culebra, Santa Marina, San Pedro y La Candelaria. La represa recibe las aguas de la quebrada “Peñolcito”, la cual tiene una capacidad de embalse cercana a los 1240 x10⁶ m³, también profundidades máximas de 43 m y promedio y 27.5 m. Su longitud máxima es de 7.25 Kilómetros y su ancho máximo de 5 Kilómetros. En total, el embalse cubre un área de 6240 ha y el tiempo de retención hidráulico es 285 días. La presa fue construida en enrocado con cara de concreto.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 32 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

La primera etapa de la central Hidroeléctrica, tiene una capacidad de 280 MW, con cuatro unidades de 70 MW cada una, entró en servicio en 1971 y 1972; en la segunda etapa la presa de Santa Rita se elevó a la cota 1892 incrementando la capacidad del embalse el peñol a $1240 \times 10^6 \text{ m}^3$, dicha etapa entró en servicio entre 1979 y 1980 con cuatro máquinas de 70MW cada una, con un total de 280MW.

En el caso de Brasil, se cuenta con 231 represas, entre las que se encuentran unos de los mejores proyectos a nivel mundial. Este país ha tenido un desarrollo altamente eficiente en este tipo de obras, desde hace varias décadas han realizado un sinnúmero de proyectos de represas que intervienen principalmente en el desarrollo del país, Brasil cuenta con muchas más fuentes de información, experiencia y normatividad en este tipo de estructuras, además que desempeña el aprovechamiento del recurso hídrico de tal manera que sea útil en la mayoría de actividades humanas y principalmente en la generación de energía.

La brecha existente en esta comparación es la falta de información en Colombia acerca de este tipo de proyectos y la implementación de métodos innovadores con respecto a los proyectos existentes en Brasil, ya que, en Brasil dichos proyectos cuentan con muchos años de elaboración, estructuras muy grandes, funcionamiento eficiente, excelente aprovechamiento del agua en la mayoría de actividades humanas. La eficacia de la normatividad y procesos constructivos acerca de este tema de interés se ve reflejada en la construcción excelente de las represas de este país.


Una de las hidroeléctricas más importantes de Brasil está ubicada sobre el río Paraná, exactamente en la frontera con Paraguay y es conocida como la represa de Itaipú. Al inicio de su operación, se encargó en producir alrededor de 2,6 millones de megavatio-hora en el año de su finalización, en 1984.

6.2. REPRESA ITAIPÚ BINACIONAL

energía, en la cual un 15% es suministrado a Brasil y 90% a Paraguay, se emplea una presa con la capacidad de inundar un área de 1350 km^2 , una sala de máquinas con unos equipos especializados y un vertedero para descargar el agua no consumida para dicha actividad: (20)

HISTORIA

En 1973 técnicos, entre ellos el ingeniero Corrado Piasentin, recorrieron el río Paraná en un barco para determinar el sitio indicado para la construcción de esta hidroeléctrica, después de unos estudios hidrográficos y geológicos seleccionaron un tramo conocido como "Itaipú", en el que se encontraba una isla sumergida situada luego de una curva acentuada del río, donde la corriente parecía medir

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 33 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

fuerzas contra las barrancas y a pocos kilómetros de la confluencia con el río Iguazú. Los estudios realizados indicaban aquel punto como lugar excepcional para la producción de energía.

La construcción del hidroeléctrico inicio con la llegada de las primeras máquinas y la elaboración del campamento, edificaciones, oficinas, almacenes, alojamiento y puesto de combustibles en el año 1974. Para llevar a cabo la ejecución de la obra, se alteró el curso del río Paraná removiendo 55 millones de m³ de tierra y roca para realizar un desvío de 2 km de extensión, 150 m de ancho y 90 m de profundidad. La excavación del canal de desvío termina dentro del plazo y hacia el 20 de octubre de 1978, 58 toneladas de dinamita eliminan a las dos ataguías de hormigón en arco que protegían a la construcción del nuevo curso. El canal permitió secar el tramo del echo origina del río para construir la presa principal.

El 14 de noviembre de 1978, se vaciaron en la obra 7207 m³ de hormigón en 24 horas para la construcción de la presa, acción que fue ejecutada mediante siete cables carriles aéreos, para obtener un total de 12,3 millones de m³ consumidos por la estructura. Con el hormigonado casi listo, la fase siguiente fue el montaje de las unidades generadoras, para ello se emplearon turbinas y una de tantas, salió el 4 diciembre de 1981 de Sao Paulo y llegó el 3 de marzo de 1982 al sitio de construcción. En octubre de 1982 la represa llega a su fin constructivo, procediendo con el cierre de las compuertas del canal de desvío y 14 días tomaron las corrientes del río Paraná en llenar el embalse.

HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA

La energía producida por la represa depende del monitoreo de los ríos y del clima en la cuenda del Paraná. La previsión del volumen de agua que llegara al embalse, genera un mejor aprovechamiento de los recursos.

EMBALSE

La represa inunda un área de 1350 km², disponiendo de un índice de 9,3 MW por km² de aprovechamiento del agua para generar energía.

Tabla 4. Características embalse de la represa Itaipú.

Volumen de agua al nivel máximo normal	29 billones de m ³
Extensión	170 km
Nivel máximo normal (Elevación)	220 m
Área en el nivel máximo normal	1350 ²

Fuente Itaipú Binacional

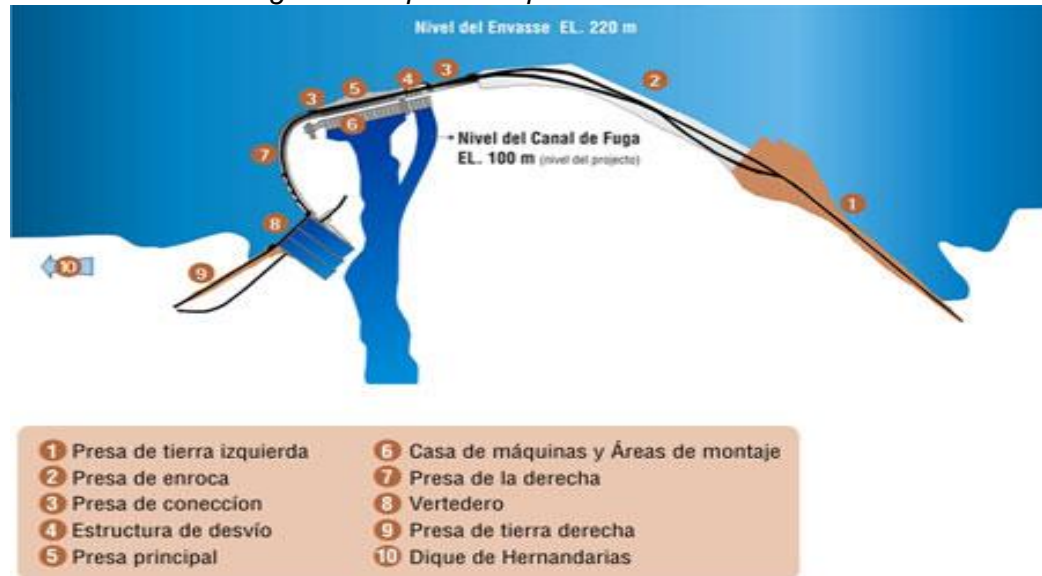
REPRESA

La presa tiene de extensión 7744 m, alto máximo de 196 m, longitud de 7919 m y es la combinación de estructuras en hormigón, roca y tierra y sirven para contener el agua y obtener un desnivel de 120 m (la caída bruta nominal) que impulsa la



operación de las turbinas. En la parte superior, están situadas las tomas por donde el agua inicia su descenso por la tubería de presión hasta la caja espiral, pre distribuidor y distribuidor hasta accionar y hacer girar la rueda de la turbina.

Figura 7. Represa Itaipú sobre el río Paraná



Fuente Itaipú Binacional

Tabla 5. Tomas de agua de la represa Itaipú.

Número	20
Tipo de compuerta	Vagón
Dimensiones	8,23 x 16,35 m
Tipos de accionamiento	Servomotor Hidráulico
Peso de cada compuerta	2420 KN

Fuente Itaipú Binacional

Tabla 6. Tuberías de presión de la represa Itaipú.

TUBERÍAS DE PRESIÓN	
Cantidad	20
Diámetro interno	10,5 m
Longitud	142,2 m
Descarga nominal	700 ³ /s

Fuente Itaipú Binacional

CASA DE MÁQUINAS

La casa de máquinas concentra los equipos electromecánicos directamente responsables por la producción de la energía. En ella están la caja espiral, la turbina, el generador, el sistema de excitación y el regulador de velocidad.

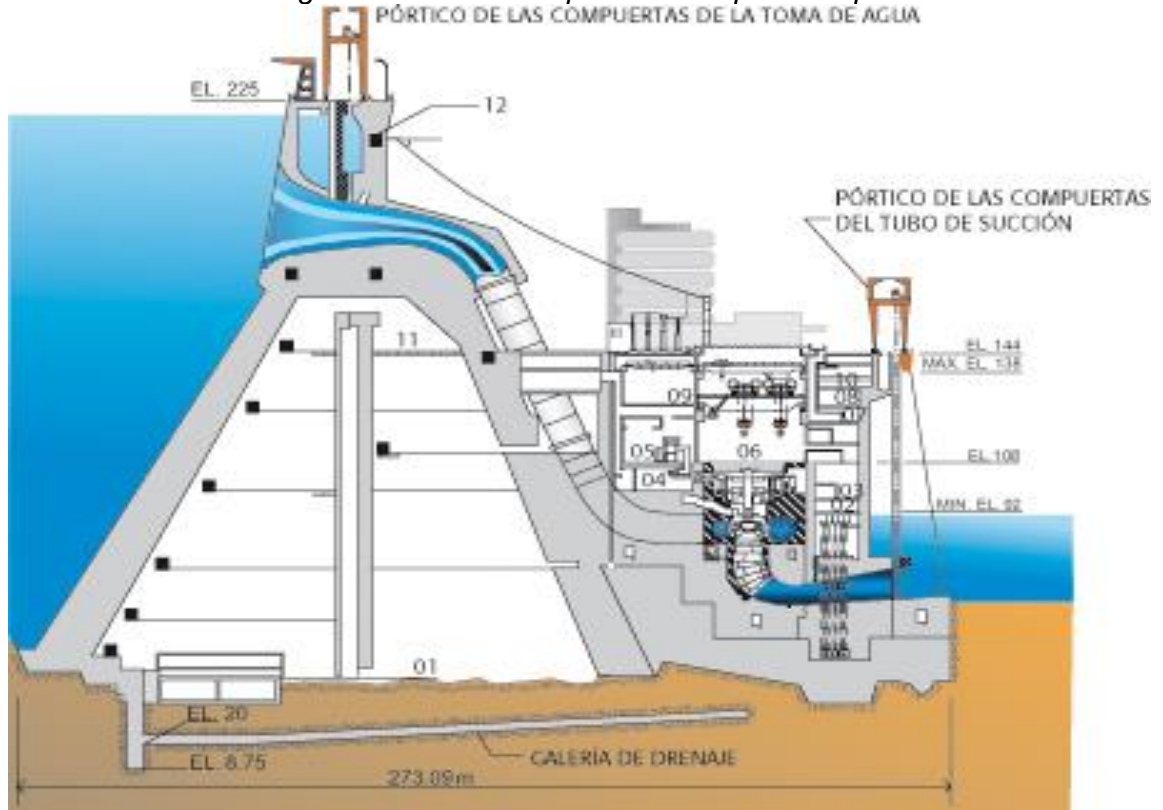


Tabla 7. Generadores de la represa Itaipú.

Número de Unidades Generadoras	20
Longitud	968 m
Ancho	99 m
Altura	112m
Elevación de la cobertura	148 m
Elevación del piso de los generadores	108 m
Espacio entre unidades	34 m

Fuente Itaipú Binacional

Figura 8. Casa de máquina de la represa Itaipú



Fuente Itaipú Binacional

Tabla 8. Localización de los equipamientos y las principales cotas

No.	Cota (m)	Equipamientos
01	40	Fundación de la represa
02	92,4	Acceso al pozo de la turbina
03	98,5	Servicio auxiliar de la unidad – Sistema de agua pura
04	98,5	Sistema de excitación, acceso al housing del generador y regulador de velocidad
05	108	Transformadores elevadores



06	108	Piso de los generadores y salas de control local
07	122	Sistema de ventilación
08	127,6	Galería de cables
09	128,2	GIS – SF6
10	133,2	Paneles principales del servicio auxiliar AC y sala de los generadores Diesel
11	144	Servicio auxiliar de la represa
12	214	Central hidráulico de las compuertas

Fuente Itaipú Binacional

UNIDADES GENERADORAS

La represa Itaipú cuenta con 20 unidades generadoras, la última unidad comenzó a funcionar en el año 2007. Todas las unidades tienen la capacidad de 14000 MW, idóneas para suministrar toda la energía consumida en los tres Estados del sur de Brasil. Cada unidad está compuesta por un generador, una turbina y sus auxiliares, la presión del agua entra en la turbina por el conducto forzado, produciendo un movimiento giratorio del eje, el cual, a través de un campo electromagnético inducido dentro del generador, genera electricidad, es decir, la energía hidráulica se transforma en energía mecánica pasando el agua por la turbina, el generador está conectado a la turbina y finalmente la energía mecánica se convierte en eléctrica.

Tabla 9. Características de generadores de la represa Itaipú.

Cantidad	20 unidades
Frecuencia 60 Hz	10 unidades
Frecuencia 50 Hz	10 unidades
Potencia nominal 50/60 Hz	823,6/737,00 MVA
Tensión nominal	18 Kv
Numero de polo 50/60 Hz	66/78
Momento de inercia – GD2	320000 t.m ²
Factor de potencia 50/60 Hz	0,85/0,95
Pieza más pesada – rotor	1,760 t
Peso de cada unidad 50/60 Hz	3343/3242 t

Fuente Itaipú Binacional

Tabla 10. Características turbinas de la represa Itaipú.

TURBINAS	
Cantidad	20
Tipo	Francis
Potencia nominal unitaria	715 MW
Velocidad de proyecto - 50/60 Hz	90,9/92,3 rpm
Caída neta de proyecto	118,4 m
Caudal nominal unitario	645 m ³ /s
Pieza indivisible más pesada – rotor	296 t
Peso de cada unidad	3360

Fuente Itaipú Binacional




VERTEDERO

Tiene la función de descargar toda el agua no utilizada para la generación. La capacidad máxima de descarga del vertedero es de 62200 m³/s.

Tabla 11. Características vertedero de la represa Itaipú.

Descarga máxima	62200 m ³ /s
Capacidad máxima de descarga	62200 m ³ /s
Longitud	483 m
Compuertas	14 unidades
Dimensiones de las compuertas	21 de altura y 20 m de ancho

Fuente Itaipú Binacional

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 38 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

7. LIMITACIONES

ESPACIO

La visita técnica internacional fue a la Represa de Furnas (Funil) en Brasil, en la que se obtuvo información restringida para efectuar la comparación de las represas en este país con respecto a las represas de Colombia, caso del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

TIEMPO

La disponibilidad de tiempo fue un factor muy importante, ya que la visita a la Central Hidroeléctrica de Furnas en Brasil tuvo una duración de una hora aproximadamente, y para el desarrollo de este proyecto sólo se contó con un periodo de tres meses (julio-octubre) en el cual ejecutó a cabalidad los objetivos propuestos y el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

Recopilación de la información de los casos de estudio, antecedentes, metodología, desarrollo del proyecto, conclusiones y recomendaciones. La información obtenida de las dos represas fue a partir de la visita técnica internacional y de las fuentes bibliográficas citadas, teniendo en cuenta las limitaciones en la información de la visita técnica, se optó en gran parte por adquirir información secundaria para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos y el desarrollo del proyecto.

ALCANCE

El proyecto presenta una comparación de parámetros y obras hidráulicas de la represa de Furnas e Hidroituango, indagando respecto a los tipos, técnicas o modelos empleados que se han llevado a cabo décadas atrás y los que se están implementando en la actualidad y, de esta manera, se analizan las mejoras y falencias que surgen en estos proyectos de ingeniería, teniendo en cuenta la eficiencia del funcionamiento. La información obtenida de la represa de Furnas fue limitada debido a muchos factores, en los cuales está la duración de la visita y las políticas que maneja la Empresa de Furnas S.A. con respecto a la restricción de la información específica.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 39 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

8. METODOLOGÍA


Para realizar de forma adecuada el desarrollo del problema planteado anteriormente en la realización del proyecto de grado, se tienen en cuenta las siguientes fases con el fin de cumplir los objetivos propuestos.

FASE I: Hacer una recolección de la información necesaria para conocer las obras hidráulicas pertenecientes a las represas en Colombia y en Brasil, teniendo en cuenta características de diseño, conformación y funcionamiento.

FASE II: Llevar a cabo una visita técnica a Brasil, asistiendo a diversos lugares que abarcan diferentes disciplinas de los programas de ingeniería de la universidad, teniendo en cuenta la disciplina y el presente tema de interés en la visita de la represa de Furnas, obteniendo información acerca de ella como: sistema de ataguías, accesorios que la conforman, funcionamiento y aprovechamiento por parte de la comunidad.

FASE III: Realizar una comparación de los parámetros y obras hidráulicas de las represas con la información compilada en la visita técnica a Brasil, específicamente en la represa de Furnas y lo investigado de las represas en Colombia en el caso de Hidroituango, haciendo énfasis en la información que determina la necesidad de estos proyectos, la población que se beneficia de los mismos, el diseño general de la presa, la importancia de diseño de los accesorios que componen cada una de las represas, los impactos que generan estas obras en el lugar donde están ubicadas y demás aspectos que den lugar a dicha comparación para encontrar diferencias y similitudes en los casos de estudio.

FASE IV: Presentar las conclusiones, recomendaciones y soluciones con respecto a lo observado y comparado en las represas de los dos países, considerando el análisis de funcionamiento de estas.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 40 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------------------------------

9. DESARROLLO DEL PROYECTO

Con las indagaciones realizadas en distintas fuentes y la visita técnica en Brasil, se presentará a continuación la información obtenida

9.1. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN

9.1.1. VISITA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE FURNAS


A continuación, se puede evidenciar el cumplimiento a uno de los objetivos y fases de estudio, la visita técnica internacional misión Brasil promovida por la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Colombia, en la que se realizó la visita a tres empresas, entre ellas la central Hidroeléctrica de Furnas objeto de estudio en el presente trabajo, además de la participación en el II seminario de ingeniería civil e industrial de la Universidad de São Paulo en la sede de São Carlos (Anexo I) .

La empresa Furnas posee 21 centrales hidroeléctricas, entre ellas la central de Funil – Furnas, otorga una amplia experiencia en seguridad de presas bajo un protocolo de control de seguridad, llevado a cabo por una inspección periódica y mantenimiento correctivo y preventivo en todos los sistemas de generación. De igual modo Furnas adquiere un compromiso con el medio ambiente, en especial con las especies que rodean sus centrales.

Figura 9. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial – Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Mirante Usina de Funil Brasil



Fuente Propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 41 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------------

La visita a cada una de las instalaciones de la central hidroeléctrica Furnas, estuvo a cargo del supervisor de operación Jorge Luiz Florentino donde explicó de manera general el funcionamiento y operación para la generación de energía eléctrica a los estados de Rio de Janeiro y São Paulo.

Figura 10. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial – Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Casa de máquinas central Hidroeléctrica Funil Furnas Brasil



Fuente Propia

Figura 11. Estudiantes del programa de Ingeniería civil e Ingeniería Industrial Universidad Católica de Colombia. Visita Técnica Julio 2019 – Universidad de São Paulo sede São Carlos



Fuente Propia



9.1.1.1. REGISTRO FOTOGRÁFICO

A continuación, se presenta el registro fotográfico respecto a la visita técnica de la central hidroeléctrica Furnas en Itatiaia perteneciente al estado de Rio de Janeiro, se tiene inicialmente la zona administrativa, en su interior se encuentra la casa de máquinas y sala de control y operación para la generación de energía eléctrica. En la casa máquinas se sitúan las turbinas, generadores sincrónicos, transformadores y tableros de comando:

Figura 12. Casa de máquinas central Hidroeléctrica Funil Furnas Brasil – Turbinas y tableros de comando



Fuente Propia

Figura 13. Características de las turbinas de la represa Furnas



Fuente Propia

La sala de control y operación se encarga de la supervisión del proceso de generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica Funil – Furnas, además de monitorear el funcionamiento de otra central hidroeléctrica ubicada sobre el mismo río (Paraíba do Sul) perteneciente a la empresa Furnas, denominada Usina de Simplício con 333.7 MW de capacidad de instalada, por otra parte también vigila la actividad de una subestación de 500 MW para alimentar una siderurgica.

Figura 14. Sala de control y operación



Fuente Propia



Figura 15. Presa y Sala de control y operación



Fuente Propia

Una vez se conoció la operación y control de la central, se ingresó al sitio donde están ubicadas una de las turbinas tipo Francis, en la cual se evidenció la llegada del agua a la turbina haciendola girar, cuando la fuerza del agua puso en movimiento a la turbina el caudal fue devuelto al rio sin ninguna alteración. La turbina esta conectada a través de un eje vertical al generador y puesto este en movimiento finalmente se genera energía eléctrica.

Figura 16. Turbina Usina de Funil Furnas

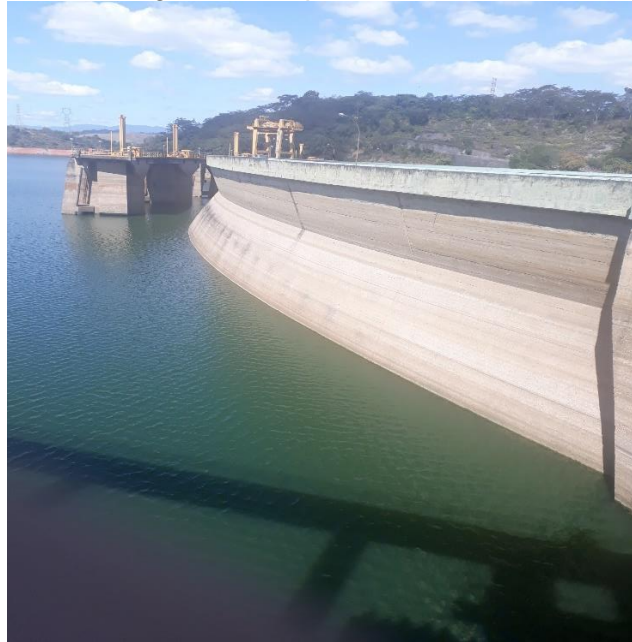


Fuente Propia



Se visitó la presa, siendo la estructura más grande de la central hidroeléctrica, destacada por ser una presa única en Sur América debido a su formato tipo bóveda de doble curvatura y encargada de contener el agua del río Paraíba do Sul, finalizando con el vertedero, el cual es de tipo canal abierto controlado con compuertas radiales.

Figura 17. Represa de Furnas



Fuente Propia

Figura 18. Vertedero de la represa de Furnas



Fuente Propia



Figura 19. Compuerta 1 de la represa de Furnas - Margen izquierdo




Fuente Propia

Figura 20. Compuerta 2 de la represa de Furnas - Margen izquierdo



Fuente Propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 47 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

9.2. LICENCIAS AMBIENTALES

En cualquier parte del mundo debe existir una entidad encargada en otorgar permisos o licencias, bajo estudios analizados con detalle, para poder ejecutar proyectos que alteren la dinámica del medio ambiente. En Brasil, se encuentra el Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (IBAMA) establecido con el fin de desarrollar distintas actividades para la preservación y conservación del patrimonio natural, donde lleva a cabo el control e inspección sobre el uso de recursos naturales. IBAMA es la agencia responsable de las licencias ambientales a nivel federal, determinado por la Política Nacional del Medio Ambiente mediante la Ley No. 6938/81: (21)

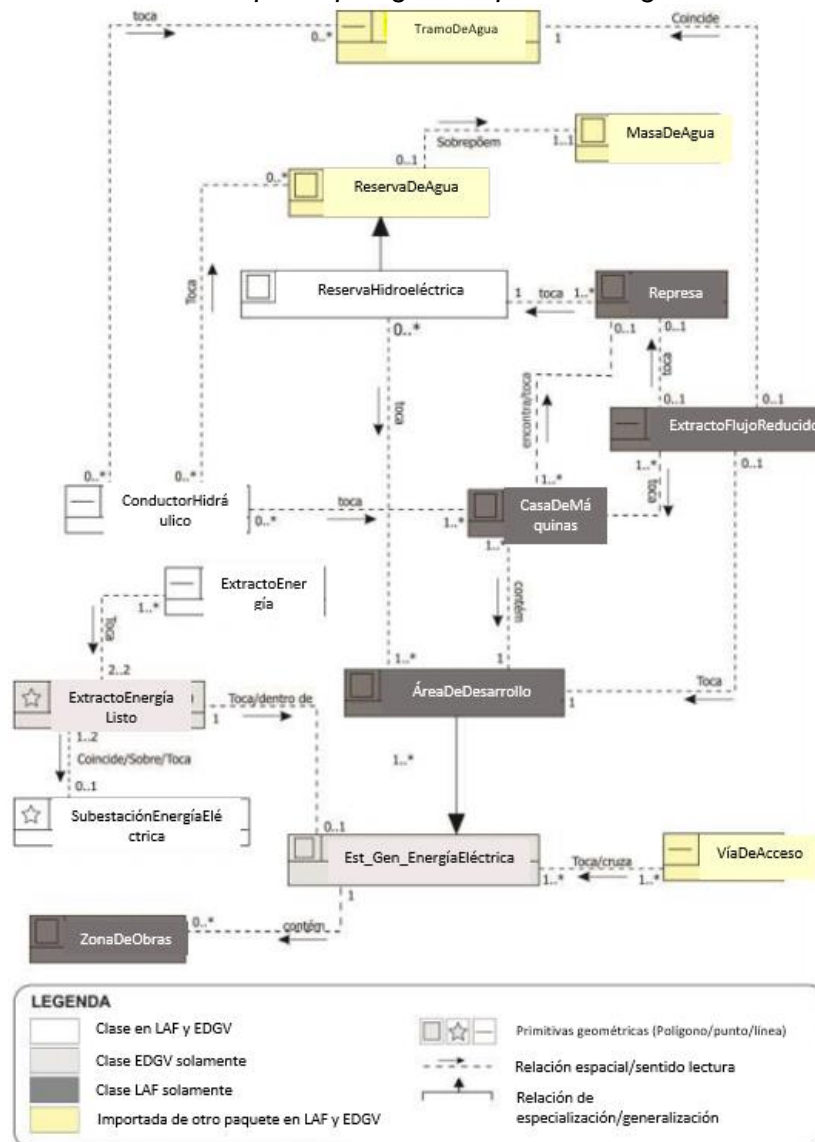
Artículo 10. La construcción, instalación, expansión y operación de establecimientos y actividades que utilizan recursos ambientales, efectivamente o potencialmente contaminantes o capaces, de cualquier manera, de causar degradación ambiental dependerá de la licencia ambiental previa.

Por lo tanto, actividad, proyecto o empresa que se encuentre ubicada en tierras indígenas, áreas protegidas, mar territorial, entre otras deberá presentarse a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), sujeta a unos procedimientos administrativos para la obtención de la licencia ambiental.

Al momento de planificar y elaborar proyectos Hidroeléctricos, IBAMA interviene debido a la generación de energía eléctrica a partir del recurso hídrico de un cuerpo de agua, siempre y cuando las centrales tengan una capacidad instalada de más de 30000 kilovatios. Un ejemplo de estructuras de esta tipología se muestra a continuación.




Figura 21. Modelo de datos para tipologías de plantas de generación hidroeléctrica



Fuente Guía Práctico I – Licenciamento Ambiental Federal

La central Hidroeléctrica Furnas afecta el río Paraíba do Sul junto con otras centrales, entonces IBAMA mediante la Agencia Nacional del Agua (ANA), crearon la resolución 1382 del 7 de diciembre de 2015 donde establece condiciones de operación monitoreada para el sistema hidráulico del río Paraíba do Sul, supervisando los embalses y estructuras que alteren su entorno. La ANA adquiere la responsabilidad de definir y supervisar las condiciones de operación de los embalses sean de orden público o privado, con el fin de garantizar el uso múltiple

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 49 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------------------------------

del recurso hídrico. Según lo pactado, los planes de modificación del área hídrico, en el caso de reservorios hidroeléctricos, la definición la ejecutará en unida con el Operador del Sistema Eléctrico Nacional (ONS). De acuerdo a lo anterior, la cuenca del rio Paraíba do Sul es de gran importancia debido a: (22)


- La cuenca abastece varias ciudades de su valle y también a las regiones metropolitanas de Rio de Janeiro, São Paulo y Campinas.
- La distribución del recurso hídrico debe inspirarse en los principios de la explotación múltiple, racional, armoniosa e integra, con el objetivo de beneficiar a todos.
- Los volúmenes almacenados por debajo de los niveles operativos mínimos de los depósitos del sistema hidráulico de Paraíba do Sul, representan una reserva estratégica para su uso en situaciones de sequía en los estados de Minas de Gerais, Río de Janeiro y São Paulo

El ONS establece las siguientes condiciones para observar el comportamiento y cumplimiento de los embalses y estructuras instaladas sobre el rio Paraíba do Sul: (22)

- 1) El flujo aguas abajo deberá respetar los siguientes límites mínimos:

Paraíbuna 10 m³/s (instantáneo)
Santa Branca 30 m³/s (instantáneo)
Jaguari 4 m³/s (instantáneo)
Furnas 70 m³/s (instantáneo)
Santa Cecilia 71 m³/s (instantáneo)
Pasos de Pereira 120 m³/s (instantáneo)

- 2) La operación normal para el sistema hidráulico de este rio, corresponde a caudales instantáneos de 71 metros cúbicos por segundo (con una variación hasta de 5% por encima de este valor) aguas debajo de la presa de Santa Cecilia, y 120 metros cúbico por segundo (con una variación hasta de 2% por encima de este valor) aguas debajo de Pasos de Pereira
- 3) El aumento de los caudales por encima del límite de 71 y 120 metros cúbico por segundo, solo se permitirá aguas debajo de la presa Santa Cecilia y Pasos de Pereira, respectivamente, siempre y cuando se presente algunas de estas situaciones:
 - Se produzcan flujo incrementados incontrolados en el tramo de la presa Furnas y Santa Cecilia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 50 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

- El embalse de Furnas funcione con el fin de cumplir las reglas de control de inundaciones
 - El sistema hidráulico Paraíba do Sul esté operando por encima del 80% del volumen útil del depósito
- 4) El funcionamiento del sistema hidráulico debe respetar los siguientes porcentajes mínimos de volumen útil de los depósitos, observando el orden y las etapas indicadas de agotamiento:

Tabla 12. Funcionamiento del sistema hidráulico

Orden de agotamiento	Presas	Etapas de agotamiento (%)		
		Primero	Segundo	Tercero
Primero	Furnas	30	30	30
Segundo	Santa Branca	70	40	10
Tercero	Paraíbuna	80	40	50
Cuarto	Jaguari	80	50	20


Fuente Resolución 1382 del 7 de diciembre de 2015.

La ANA, podrá revisar los límites mínimos de volumen útil, el orden y las etapas de agotamiento mediante una declaración con el consentimiento de las agencias estatales de gestión de recursos hídricos de Minas de Gerais, Río de Janeiro y São Paulo, y para garantizar los caudales o flujos límites mínimos, el ONS está autorizada a operar el depósito de Paraíbuna.

En el seguimiento del sistema hidráulico de Paraíba do Sul, el ONS enviará anualmente a la ANA, donde el informe deberá contener la actualización de la curva de seguridad de almacenamiento para la operación normal del sistema, presentando volúmenes mínimos requeridos del depósito de la cuenca equivalente en cada mes, para garantizar las condiciones de operación de las centrales hidroeléctricas, el cumplimiento de requisitos ambientales y de usos múltiples de agua.

Para una mayor seguridad en el cumplimiento de requisitos, se estableció durante la misma resolución el Grupo Asesor del Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS), con la misma función de órganos anteriores de gestión, pero, además se encargará del análisis y planteamiento de soluciones alternas en caso de acontecimientos no previstos por las condiciones generales. (22)

En Colombia, La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del País. (23)

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 51 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

La ANLA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidieron La Resolución 1519 de 2017 “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica y se toman otras determinaciones”. (24)

Los términos presentados en esta resolución son de carácter genérico y en consecuencia deben ser adaptados a la magnitud y particularidades del proyecto, así como las características ambientales regionales y locales en donde se pretenda desarrollar. Por lo anterior, el EIA debe contener como mínimo un resumen ejecutivo que incluya:

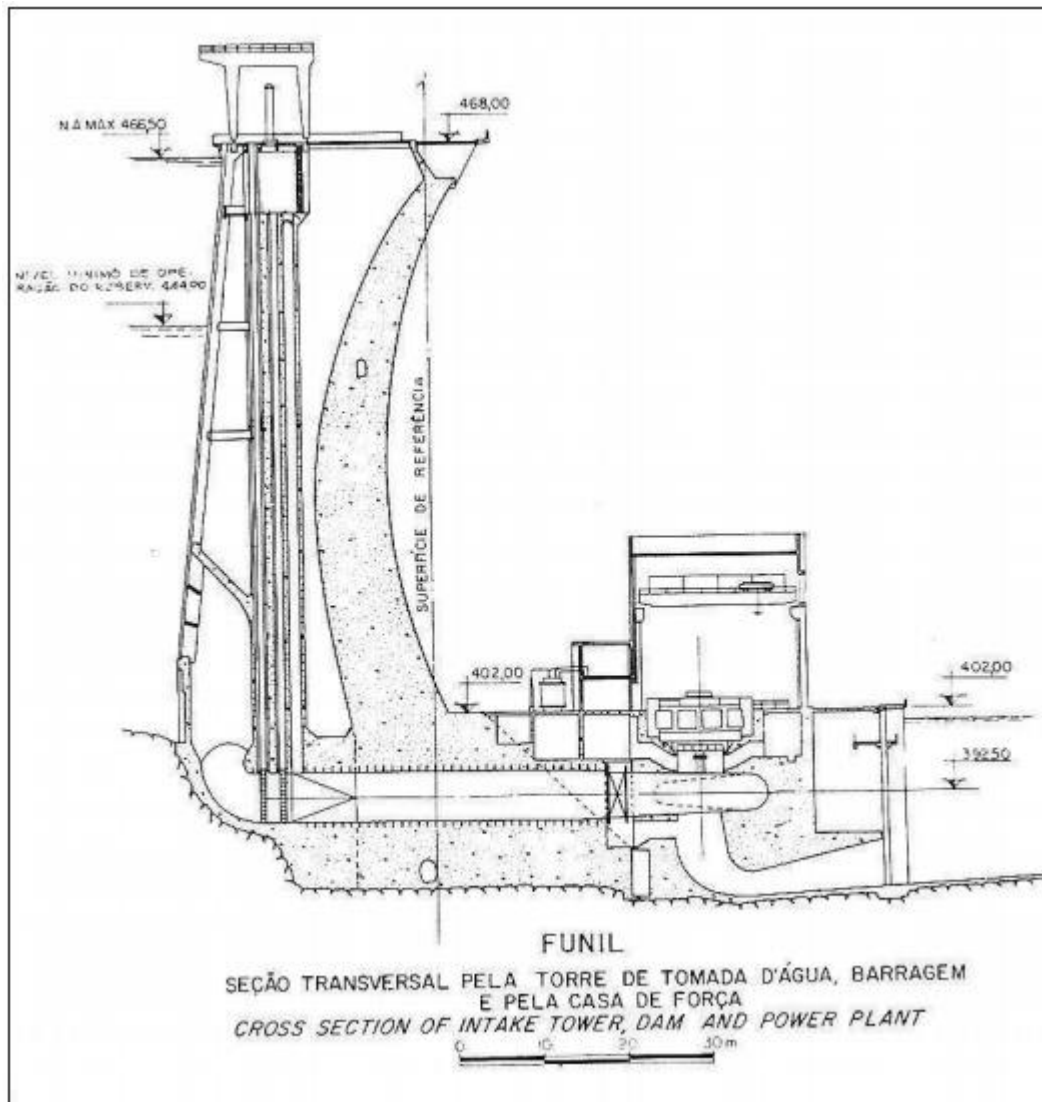
- Síntesis del proyecto en donde se establecen las características relevantes de las obras y acciones básicas de la construcción y operación.
- Localización, extensión y características principales de las áreas de influencia por componentes.
- Indicar, si aplica, información general sobre el reasentamiento de población.
- Necesidades de uso y/o aprovechamiento de recursos naturales renovables y no renovables.
- Método de evaluación ambiental de impactos utilizado, jerarquización y cuantificación de los impactos ambientales significativos.
- Zonificación de manejo ambiental.
- Breve reseña del Plan de Manejo Ambiental – PMA.
- Breve reseña del Plan de Gestión del Riesgo.
- Resumen del Plan de Inversión del 1%, EN LOS CASOS QUE APLIQUE.
- Resumen del Plan de Compensación por Pérdida de Biodiversidad.
- Principales riesgos identificados.
- Costo total aproximado de la implementación del PMA.
- Cronograma general estimado de ejecución del PMA concordante con la ejecución del proyecto.
- Actividades a seguir en la fase de desmantelamiento y abandono.



9.3. INICIOS Y GENERALIDADES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS


REPRESA DE FURNAS

Figura 22. Sección transversal de las captaciones de agua, presa y casa de máquinas



Fuente Estudio de ruptura da barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS

Centrales de energía de Furnas S.A. es la empresa encargada en la generación, transmisión, operación y comercialización de energía eléctrica de 21 centrales en Brasil, entre ellas, la central de Funil Furnas. La construcción de esta hidroeléctrica, fue un proyecto portugués y se había planeado desde 1930, con el fin de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 53 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------


proporcionar electricidad a un ferrocarril que unía las ciudades de Rio de Janeiro, São Paulo y Belo Horizonte, pero hasta el año 1961 la Compañía Hidroeléctrica Vale de Paraíba, llevo a cabo este proyecto. En 1965, fue adquirida por Eletrobrás y entregada a Furnas para dar finalización a la construcción de la central y ponerla en funcionamiento. La operación inició en 1969 y, luego de dos años y medio la central suministraba su capacidad total a la empresa Furnas.

Está ubicada en el tramo medio del rio Paraíba do Sul, y, a pesar de poseer una de las menores capacidades instaladas en comparación a las demás centrales de la empresa, adquiere importancia por su ubicación en pleno centro de consumos, además, por ser única en América del Sur por su formato de control dual en curvatura. La estructura de contención, para la producción de energía tiene 85 metros de altura y suministra energía eléctrica a la región sur del estado de Rio de Janeiro, y junto con Itaipú Binacional bridan el servicio a la totalidad de los habitantes de esta ciudad. Las turbinas son italianas y tienen la capacidad de producir 216 MW de energía para abastecer a 520 mil habitantes, posee una vida útil de 80 años, se tiene previsto que cuando cumpla ese tiempo, se baja el reservatorio y se recuperan las estructuras para volver a producir energía. Además de proveer agua que genera energía limpia y renovable, el embalse de Furnas regulariza el flujo del Río Paraíba do Sul reduciendo inundaciones en ciudades. (2)

Lo planes de seguridad realizado por la empresa Furnas se enfocan en estudios rigurosos de manera periódica que permite vigilar los niveles de seguridad frente a la aparición de una emergencia, Furnas se encarga en presentar un plan de gestión para el análisis del comportamiento de la estructura de contención, donde aseguran su normalidad y rendimiento. La inspección es monitoreada por la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) e igualmente encargada en certificar todas las centrales hidroeléctricas de Brasil. El ingeniero encargado de los estudios de seguimiento es el señor Gustavo Spiegelberg empleando el software HEC – RAS 2D, presenta información de topografía, batimetría, los mecanismos de ruptura de la presa, tiempo de llegada de olas, nivel máximo de agua y punto máximo de inundación (25). Para el mantenimiento de la central se emplean tres métodos programados que se realizan principalmente en el periodo de sequía, uno cada 50 mil horas trabajadas, otro cada 100 mil horas trabajadas y el ultimo es de emergencia donde se detiene el proceso de generación.

REPRESA DE HIDROITUANGO

Actualmente se construye una de las centrales hidroeléctricas más importantes en Colombia, la cual aportará un 17% de energía a su población. Proyecto que ha sido posible su ejecución, gracias a la financiación hecha por Empresas Públicas de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 54 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

Medellín, y que está encargada de la construcción, operación y mantenimiento la misma. Las primeras aproximaciones para realizar una de los grandes proyectos en Colombia iniciaron en el año 1969, cuando el ingeniero y gerente de la firma Integral, José Tejada Sáenz realizó un trabajo de campo y un estudio sobre el río Cauca donde proponía la elaboración de una hidroeléctrica para aprovechar el recurso hídrico, generando energía y otros beneficios tales como la regulación para riego agrícola de las tierras planas del Bajo Cauca, control de inundaciones, fomento de la pesca y el desarrollo de la navegación. En 1974, era casi un hecho la posible elaboración del proyecto cuando Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) e Integral realizaron la estimación del potencial hidroeléctrico del Cauca medio y, en 1979 y 1982 iniciaron estudios de prefactibilidad en tres puntos del río: Farallones, Cañafisto e Ituango. El primero sitio es descartado por problemas geológicos y los dos últimos obtienen más viabilidad técnica por su aproximación elaborada en producir 1200 MW y 4270 MW respectivamente.

Se crea la Sociedad Promotora de la Hidroeléctrica Pescadero S. A. con el objetivo de diseñar, construir y explotar Hidroituango, presentando un diagnóstico ambiental de alternativas en 1999 al Ministerio del Medio Ambiente, este, al siguiente año iniciaría el proceso para estudiar la licencia ambiental del proyecto. Sin embargo, la falta de recursos por medio de la Sociedad provocó el retraso y los obligó a realizar una asamblea para conseguir el dinero suficiente y poder así, concebir los estudios respectivos del proyecto hidroeléctrico. La Sociedad fue capitalizada en el 2002, y junto con Empresas Públicas de Medellín (EPM) y el Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA) aceleraron los estudios para el mejoramiento de la presa. Hacia el 2006 y 2007 se hicieron los estudios de obra donde se determinaban los detalles técnicos, económicos, ambientales y tiempos de construcción, que dieron vía libre a la ejecución del proyecto con la obtención de la licencia ambiental el 30 de enero de 2009.

Los estudios realizados, en su mayoría fueron realizados por la empresa Integral a excepción de la actualización del Estudio de Impacto Ambiental:

Tabla 13. Estudios proyecto Hidroituango

Estudio	Año	Autor
Prefactibilidad: evaluación del potencial hidroeléctrico del Cauca medio	1971 – 1974	ISA- Integral
Proyecto Hidroeléctrico de Ituango, Estudio de factibilidad	1979 – 1983	ISA- Integral
Actualización del estudio de factibilidad	1998	Integral – AGRA Monenco

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small> FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	PROYECTO TRABAJO DE GRADO	FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 55 DE 85
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	-----------------------------------------------

Estudio de restricciones ambientales	2004	Integral
Complementación de la factibilidad - Estudio del impacto ambiental	2007	Integral
Actualización de la información socioeconómica y predial	2007 – 2010	Integral - SHPI
Actualización EIA y diseños detallados para construcción	2008 - 2010	SHPI – Consorcio Generación Ituango

Fuente Ideas verdes, análisis político


En enero de 2008, el gobernador Luis Alfredo Ramos se reunió con representantes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con la finalidad de buscar la financiación de 2300 millones de dólares correspondientes al costo aproximado del proyecto y en agosto de 2010 fue aprobado mediante un acuerdo firmado por los gerentes de IDEA y EPM permitiendo operación, construcción, mantenimiento y transferencia de la Central Hidroeléctrica Hidroituango por la empresa de servicios públicos. Una vez otorgado el proyecto a EPM, se realiza las licitaciones para la construcción de los túneles de acceso, equipamiento de la turbina de generación y de empresas nacionales e internacionales para la construcción de la casa de máquinas. En este último, más de 20 empresas se mostraron interesadas en la participación, entre ellas Dragados, Sacyr y Ferrivol, empresas españolas con una amplia experiencia en todo el mundo; las dos últimas se retiraron de la licitación después de denunciar irregularidades en el proyecto. (26)

9.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y UNIDADES DE GENERACIÓN

A. PRESA

PRESA DE FUNIL - FURNAS Para la generación de energía la central hidroeléctrica de Funil - Furnas cuenta con una presa elaborada en hormigón de 85 metros de altura, 3.6 y 385 metros que corresponden al ancho y largo de corona, respectivamente, y un volumen calculado en cuanto a los diferentes materiales empleados de 270 mil metros cúbicos, además de ser única en América del Sur por su tecnología en forma de bóveda de doble curvatura en la estructura de contención, encargada de almacenar el recurso hídrico del río Paraíba do Sul.

La forma de la presa se debe al cañón cerrado en el que se encuentra localizada la estructura, ideal para generar una presión uniforme en la caja espiral de las turbinas, siendo este, uno de los motivos por el cual se encuentran distintas geometrías o formas alrededor del mundo en las estructuras de contención de agua para la generación de energía.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 56 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

La presa de esta central se encuentra entre las presas de fábrica, conocidas por su esbeltez y elaboración en hormigón, clasificándose en tres tipos:

- Presas de gravedad
- Presas aligeradas o de contrafuerte
- Presas de arco: Arco – bóveda, bóveda y bóveda múltiple

La estructura de contención de Funil - Furnas pertenece a una presa de arco bóveda, basado en el concepto antifunicular, es decir, la fuerza ejercida por cualquier material (en este caso el empuje del agua) lo resiste toda la zona convexa del arco, transmitiendo esos esfuerzos de compresión a los estribos. El campo de aplicación de estas presas se ajusta a cerradas en macizos rocosos competentes. (27)


PRESA DE HIDROITUANGO La presa de esta central genera una diferencia de alturas entre el nivel del agua y la cota de emplazamiento de las turbinas para la producción de energía, donde presenta unas dimensiones de 225 metros de altura, 18 metros de ancho, 548 metros de longitud y 19.3 millones de metros cúbicos del volumen calculado de los diferentes tipos de materiales implementados en la construcción de la estructura. La central de Hidroituango hace uso de una presa tipo de materiales sueltos, versátil a la hora de su ejecución. La sección de este tipo de estructuras es trapezoidal y son menos esbeltas a las presas de fabrica debido a la zonificación de sus materiales. Las presas de materiales sueltos se clasifican además en tres grandes grupos: (27)

- Presas homogéneas
- Presas de núcleo: Morfología del núcleo (delgado o grueso) y su inclinación (núcleo inclinado)
- Presas de pantalla

La estructura es enrocada con núcleo de tierra, la cual pertenece a la subclasificación de presa de núcleo grueso, el diseño y la construcción del sistema anti - filtración con un relleno tierra proporciona el soporte adecuado para la presa por su peso y estabilidad interna.

B. EMBALSE

EMBALSE DE FUNIL FURNAS El embalse está ubicado en los tramos medios de Paraíba do Sul, en la frontera entre Rio Janeiro y São Paulo tiene 6.2 mil millones de metros cúbicos y 40 kilómetros cuadrados de área inundadas en su volumen total de 8.9 mil millones de metros cúbicos, empleado para la producción de energía eléctrica. (28)

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 57 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

EMBALSE DE HIDROITUANGO El proyecto operará con un nivel máximo normal a la cota 420 m.s.n.m, tendrá una longitud de 79 kilómetros y un área inundada de 38 kilómetros cuadrados, un volumen total de 2720 millones de metros cúbicos y un volumen útil de 976 millones de metros cúbicos. El caudal medio del río Cauca en el sitio del proyecto es de 1010 metros cúbicos sobre segundo. (29)

C. VERTEDERO

VERTEDERO FUNIL – FURNAS El vertedero de excedentes tiene por objeto proteger la obra durante la etapa de operación de la central y devolver al río el agua que no se utiliza para la generación de energía. Esta central posee un vertedero de tipo canal abierto controlado por tres compuertas de segmento: una de 11.47 metros de ancho, 16.53 metros de altura y 16.10 metros de radio al margen derecho y dos de 13 metros de altura, 14.16 metros de ancho y 13 metros de radio al margen izquierdo; ambas fabricadas por empresas brasileñas. Las compuertas están diseñadas para una descarga máxima de 1700 y 2700 metros cúbicos sobre segundo en el margen derecho e izquierdo, respectivamente.


VERTEDERO HIDROITUANGO El vertedero es de tipo canal abierto controlado por cinco compuertas tipo segmento o radial de 15 metros por 19.5 metros. Está localizada sobre el estribo derecho de la presa, el cual tendrá la capacidad para evacuar un caudal de 22600 metros cúbicos sobre segundo, que corresponde al tránsito por embalse de la creciente máxima probable, cuyo pico tiene un valor de 25300 metros cúbicos sobre segundo. Esta estructura tendrá un ancho variable entre 95 metros en el azud de control y 70 metros en el deflector, en una longitud de 405 metros. (29)

D. OBRAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN

OBRAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN FUNIL – FURNAS Se localiza sobre la parte convexa de la presa las tres obras de captación conectadas a las turbinas. La altura de agua sobre el umbral es de 77.83 metros

OBRAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN HIDROITUANGO Las obras de captación se localizan sobre el contrafuerte derecho de la presa, y están constituidas por una plazoleta ubicada a la cota 350 m.s.n.m. en la que se disponen ocho estructuras de captación divididas en dos grupos de cuatro tomas contiguas cada uno. Cada una de las tomas es de 92 metros de ancho, 14 metros de altura y un caudal de diseño de 1350 metros cúbicos sobre segundo.

El agua es conducida hacia ocho túneles superiores de carga de 117.8 metros de longitud y 6.6 metros de diámetro, luego se dirige hacia ocho pozos de presión de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 58 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

131.5 metros de altura y finalmente a ocho túneles de presión inferiores de 68.5 metros de longitud con sección final de 4.70 metros de diámetro. (29)

E. CASA DE MÁQUINAS

CASA DE MÁQUINAS FUNIL – FURNAS La casa de máquinas es de forma curva con una longitud de 90.47 metros y altura de 21 metros, ubicada en la parte inferior derecha de la presa.

CASA DE MÁQUINAS HIDROITUANGO La casa de máquinas tiene un volumen de excavación en roca de 225 mil metros cúbicos, tiene una longitud de 240 metros; 23 y 49 metros de ancho y altura, respectivamente, además cuenta con una sala de montaje ubicada en el centro, con cuatro grupos generadores a cada lado. (29)

F. ALMENARAS

ALMENARAS HIDROITUANGO El proyecto dispone de dos almenaras con longitud de 100 metros cada una: ancho de 18 metros, altura de 48.5 metros y un volumen de excavación en roca de 87000 m³. Cada almenara maneja el caudal entregado por cuatro unidades generadoras a través de su correspondiente túnel de aspiración y descarga por dos túneles independientes. (29)

G. UNIDADES DE GENERACIÓN

CENTRAL HIDROELÉCTRICA FUNIL - FURNAS

La capacidad instalada de esta hidroeléctrica es de 216 megavatios, la cual posee tres captaciones acopladas a las tres turbinas tipo Francis de eje vertical, donde la potencia nominal de cada una es de 72 megavatios. Las captaciones conducen el agua por la caja espiral, ejecutando un movimiento que golpea al eje conectado al generador que rota a 163.3 revoluciones por minuto, una distancia entre rotor y extractor de 2 a 3 milímetros, capaces de inducir fuerza electromotriz en la rotación para transformar la energía mecánica en eléctrica; es necesario que la presión sea constante sin importar el nivel del agua en el embalse. Los transformadores son 25 en total de tipo monofásicos con una capacidad operativa instalada de 270 megavoltioamperios.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO

Este proyecto tiene una capacidad instalada de 2400 megavatios, el cual cuenta con ocho turbinas tipo Francis de eje vertical donde la potencia nominal de cada una es de 307 megavatios, un salto neto de 197.3 metros, un caudal de diseño de 168.3 metros cúbicos sobre segundo y una velocidad de rotación 180 revoluciones por minuto.



Los generadores son ocho de tipo sincrónico de eje vertical con una capacidad nominal de 337 megavoltiamperios a 18 kilovoltios con una velocidad sincrónica de 180 revoluciones por minuto. El rotor de 600 toneladas, acoplado a la turbina por medio de un eje y girar velozmente convierten la energía mecánica en eléctrica mediante los conductores situados en el cuerpo del otro elemento importante llamado estator. Los transformadores son 10 en total de tipo monofásicos con una capacidad operativa instalada de 112 megavoltioamperios.


En las centrales hidroeléctricas de estudio se tienen instaladas turbinas Francis de eje vertical, debido a su ajuste de los rangos elevados de alturas. Usualmente las turbinas Francis de este tipo se instalan en grandes centrales hidroeléctricas ya que facilita su anclaje, y en pequeñas centrales hidroeléctricas se suelen instalar turbinas de eje horizontal, en una configuración de turbinas dobles o doble rodete (29)

TURBINA FRANCIS

Las turbinas Francis es una turbina de reacción, de flujo mixto centrípeto y de admisión total cuyo flujo interno es radial y axial. Es una turbina de reacción, debido a que el fluido cambia de presión a medida que se desplaza a través del maquina generadora, entregando su energía. Esto implica la instalación de una cámara espiral, un estator y un distribuidor dentro de la turbina: (30)

La **cámara espiral** es quién inicialmente dirige el caudal hacia el estator de la turbina. El estator está ubicado a la salida del caudal de la cámara espiral, formado por 10 – 16 álabes fijos ubicados entre dos anillos (superior e inferior) y su función principal es orientar el caudal hacia la directriz de la turbina, sin embrago en grupos de eje vertical debe soportar una elevada carga estática ocasionada por el peso y los esfuerzos generados por los rotores de la turbina y del generador entre otros elementos.

En el **estator**, se encuentra el distribuidor con un diámetro menor, el cual consta de una serie de álabes de posición variable y de perfil hidrodinámico que conforman conductos convergentes de tipo tobera. De este modo, el flujo del agua se acelera y se dirige hacia el rodete, bajo diferentes ángulos de inclinación permitiendo regulación del caudal y que a su vez lo hace con la potencia mecánica, el arranque y la parada en la turbina. El distribuidor cuenta entre 20 – 32 álabes móviles, los cuales disponen en su eje superior de una palanca fija y están ubicados y soportados por dos anillos estáticos (superior e inferior). Sobre el anillo superior se tiene un anillo móvil en cual se tienen unas palancas mecánicamente unidas a las palancas de los alabes móviles. La regulación de caudal en el distribuidor de realiza de la siguiente forma: El movimiento longitudinal de un pistón que este acoplado en

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 60 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

el punto al anillo móvil, hace que este gire, generando que las palancas de desplacen y a su vez hagan girar sobre su eje a las palancas fijas de los alabes móviles, cuyo resultado es el movimiento de toda la cadena de álabes móviles.

El **rodete**, conformado por álabes fijos que poseen doble curvatura, están ubicados dentro de un disco y una corona exterior. En ellos el caudal ingresa radialmente por la periferia externa y abandona el rodete en dirección axial para dirigirse hacia el tubo de aspiración. La característica que permite que este tipo de turbina se ajuste a un rango elevado de alturas, es la relación entre los diámetros del disco y de la corona exterior. En este caso turbinas con un diámetro de disco mayor que el de la corona exterior corresponde a turbinas para caídas bajas, si la relación es cercana a la unidad corresponden a turbinas para caídas medias y en caso contrario corresponden a turbinas para caídas altas.

El **tubo de aspiración** en su forma básica corresponde a la de un difusor, que puede ser del tipo recto o del tipo acotado. La adopción de uno u otro de estos tipos dependerá de la llamada altura de aspiración, cuyo valor se calcula basándose en la teoría de la cavitación.

Tabla 14. Ficha técnica de las centrales hidroeléctricas Funil – Furnas e Hidroituango

	FURNAS (2)		HIDROITUANGO (29)
LOCALIZACIÓN			
País	-	Brasil	Colombia
Municipio	-	Itatiaia – Rio de Janeiro	Ituango - Antioquia
Rio	-	Paraíba do Sul	Cauca
Coordenadas geográficas	-	22° 32' 00"S 44° 34' 00"W	7° 08' 04"N 75° 39' 43"O
DATOS DE LA PRESA			
Tipo / material	-	Bóveda de doble curvatura con hormigón	Escollera en enrocado con núcleo de tierra
Volumen total de material	m ³	270 mil	19.3 millones
Longitud de la coronación	m	385	548
Altura máxima sobre fundaciones	m	85	225
Ancho en la coronación	m	3.6	18
EMBALSE			
Área inundada	km ²	40	38
Volumen total	m ³	8900 millones	2720 millones
Volumen útil	m ³	6200 millones	976 millones
VERTEDERO			
		<i>Margen derecho</i>	<i>Margen izquierdo</i>
Tipo	-	Canal abierto	Canal abierto

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	PROYECTO TRABAJO DE GRADO	FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 61 DE 85
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------------------------------

Cantidad de compuertas	-	1	2	5
Altura compuertas	m	16.53	14.16	19.5
Ancho compuertas	m	11.47	13	15.4
Longitud total	m	87.4	31.5	405
Caudal de diseño	m ³ /s	1700	2700	22600
OBRAS DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN				
Compuertas	-	Tipo Lagarto		No aplica
Cantidad	-	3		8
Altura compuertas	m	6.2		No aplica
Ancho compuertas	m	4.5		No aplica
CASA DE MÁQUINAS				
Altura	m	21		49
Longitud	m	90.47		23
ALMENARAS				
Cantidad	-	No aplica		2
Altura	m	No aplica		48.5
Ancho	m	No aplica		18
Longitud	m	No aplica		100
UNIDADES GENERADORAS				
Cantidad	-	3		8
Potencia nominal	MW	216		2400
TURBINAS				
Cantidad	-	3		8
Tipo	-	Francis de eje vertical		Francis de eje vertical

Fuente Furnas y Manual de inducción y reinducción Hidroeléctrica Ituango

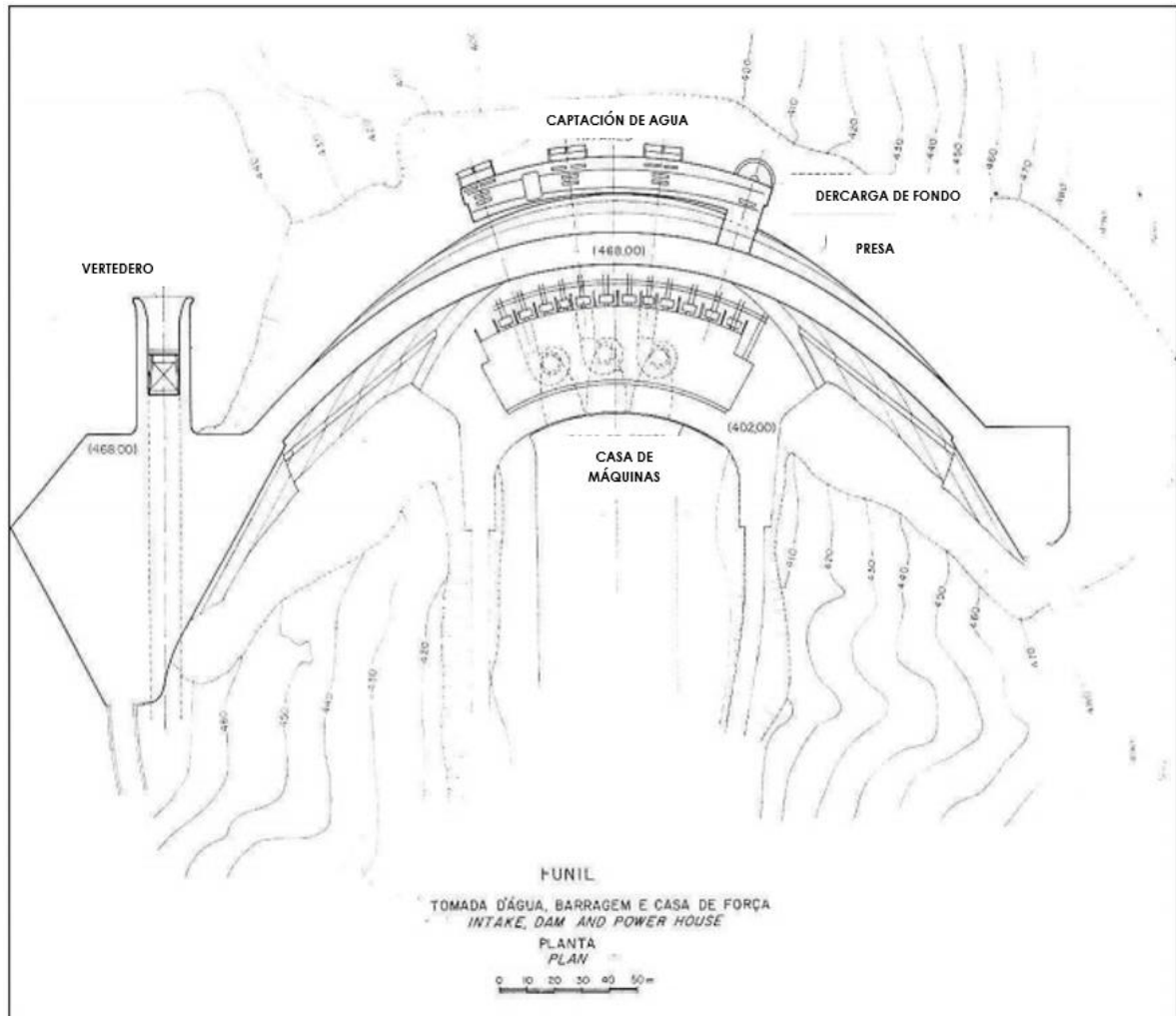
Respecto a la comparación (Tabla 14) de las obras hidráulicas de las represas de estudio, se analiza lo siguiente:

- En cuanto a las dimensiones de las presas existe una gran diferencia; Hidroituango tiene una estructura más grande frente a la de Furnas, esto se debe a la capacidad instalada de cada una de ellas, la cual beneficia a un porcentaje mayor de la población colombiana comparada con la población que beneficia la central de Furnas en Brasil.
- Teniendo en cuenta el punto anterior, la cantidad de unidades generadoras necesarias es mayor en Hidroituango que en Furnas, debido a que la demanda requerida es de 2400 megavatios estando once veces por encima de la demanda de Furnas, la cual tiene una capacidad instalada de 216 megavatios.
- Las turbinas para generación de energía en ambas centrales hidroeléctricas son tipo Francis, su instalación se debe a los rangos elevados de operación y a su fácil anclaje. Se evidencia en los años de funcionamiento de la



hidroeléctrica Furnas que este tipo de turbina garantiza un alto rendimiento en relación a su diseño hidrodinámico el cual permite bajas pérdidas hidráulicas, de igual manera requieren menor mantenimiento en comparación a otros tipos.

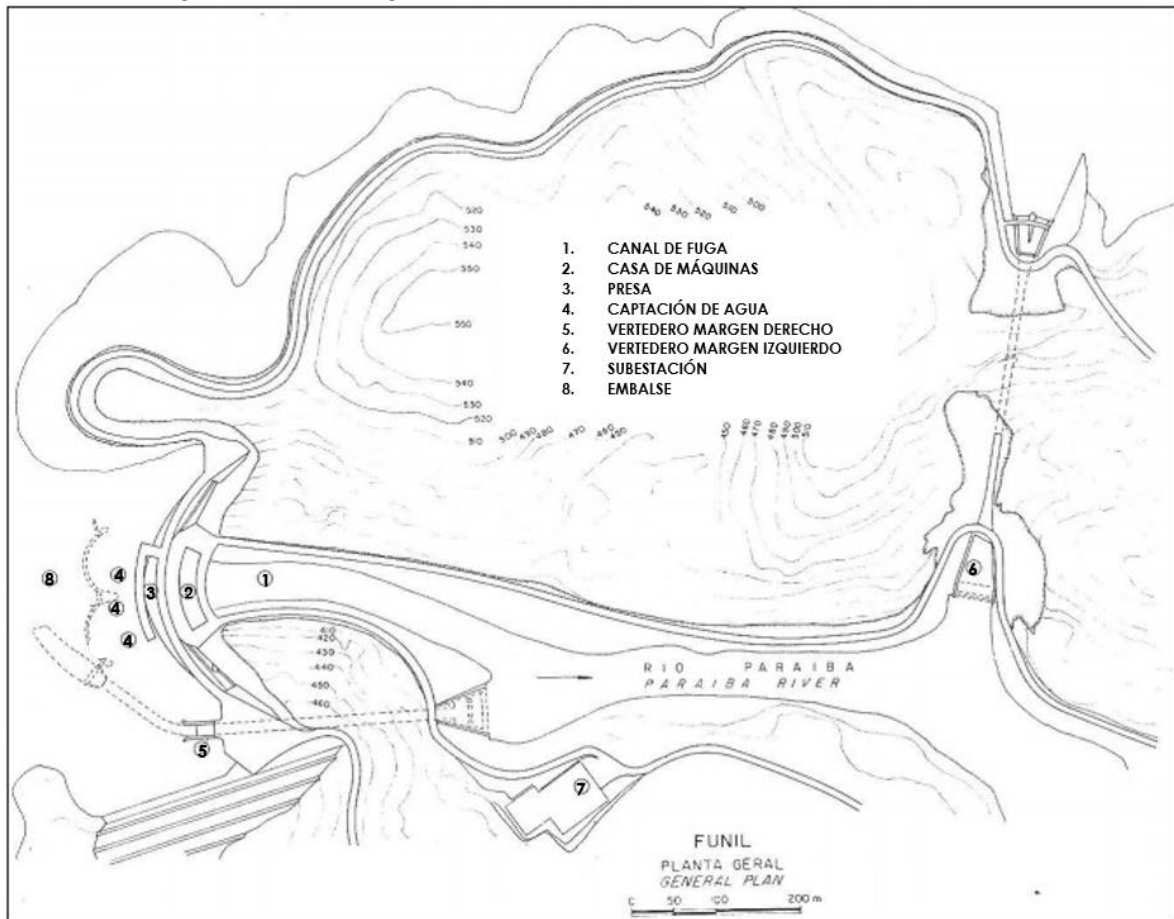
Figura 23. Principales obras de la central Hidroeléctrica Funil – Furnas



Fuente Estudio de ruptura da barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS

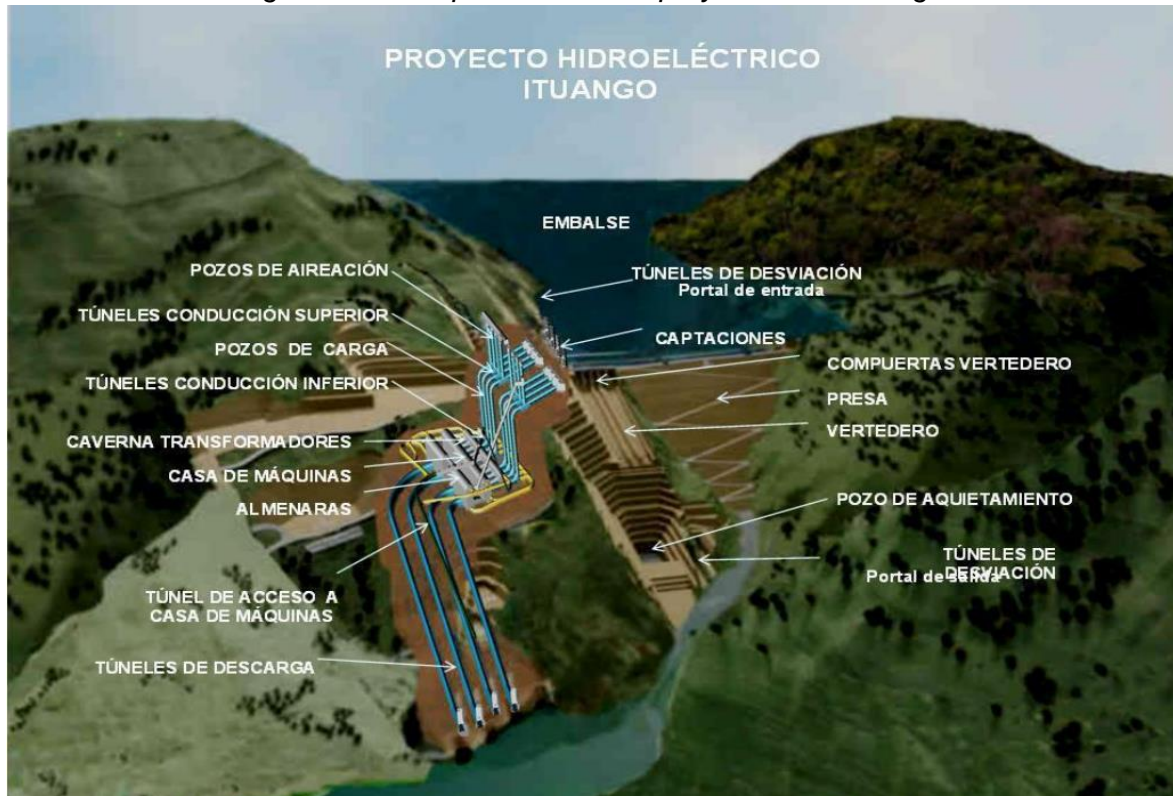


Figura 24. Planta general de la central Hidroeléctrica Funil – Furnas



Fuente Estudio de ruptura da barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS

Figura 25. Principales obras del proyecto Hidroituango



Fuente Manual de inducción Hidroeléctrica Ituango

9.5. PROCESO CONSTRUCTIVO

REPRESA HIDROITUANGO (31)

Para la realización del proyecto fue necesario implementar un sistema de desviación del río Cauca, que tiene por objeto la modificación temporal, encausando las aguas a través de túneles para que la zona donde se construye la presa este seca. Hidroituango cuenta con 4 estructuras de entrada en concreto que dirigen el agua hacia dos túneles de desviación, uno de 1090 y el otro de 1215 metros de longitud con una sección de 14 por 14 metros que se tapona una vez finalizada la presa para facilitar el llenado del embalse.

En la desviación del río, se elabora un muro tapón de roca de 30 metros de altura denominado pre-ataguía obligando a las aguas a tomar el curso deseado. Luego es construida la ataguía que es un muro de 55 metros de altura en concreto compactado que permitirá la construcción de la presa.



Figura 26. Pre-ataguía en perfil



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Figura 27. Pre-ataguía y ataguía en perfil



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

La presa es una de las estructuras más importantes del proyecto, de las más grandes del país y junto con de Itaipú en Brasil hacen parte de la más grandes de América Latina. La presa es un lleno de roca de 225 metros de altura medidos desde el lecho del río (cota 210), con corona de 18 metros y con un volumen total de 19.3 millones de metros cúbicos de los diferentes tipos de materiales. La cresta de la presa tiene una longitud de 550 metros, que son utilizados como puente en la vía que sustituye a la que conduce al municipio de Ituango, incluidos su núcleo de tierra impermeable, por su altura se convierte en un hito de la ingeniería colombiana.

Una vez construida la presa, los túneles de desviación se cierran mediante compuertas y se inicia el llenado del embalse que, según lo previsto, tendría una duración de unos 45 días con el caudal medio del río. El embalse cubre un área de 3800 hectáreas y ocupa un volumen total de 2720 millones de metros cúbicos, de



los cuales 975 corresponden al embalse útil. Recorre 75 kilómetros entre santa fe de Antioquia en el occidente hasta Ituango y Briceño en el norte.

Figura 28. Presa



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

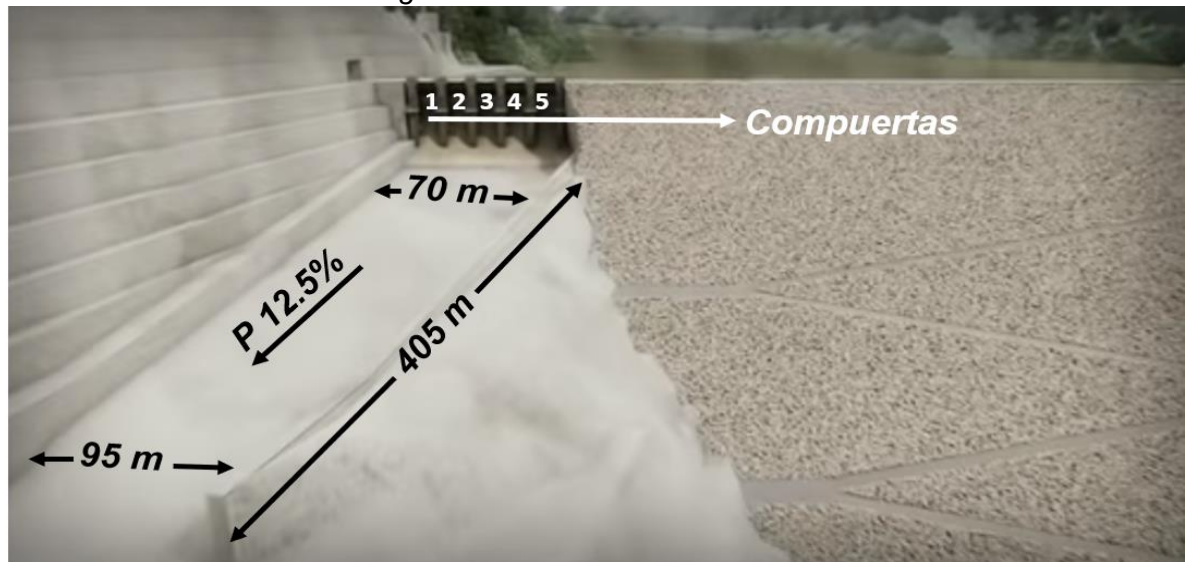
Figura 29. Presa en perfil



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

El vertedero es un canal abierto excavado en roca sobre la margen derecha de la presa, sirve para evacuar las crecientes del río o los excedentes del embalse, tiene capacidad para evacuar crecientes de hasta 22600 metros cúbicos por segundo y se controla con cinco compuertas radiales de 15.4 metros de ancho por 19.5 metros de alto cada una, su canal tiene una longitud de 405 metros y una pendiente del 12.5%, un ancho inicial de 70 metros y uno final de 95 metros.

Figura 30. Dimensiones vertedero




Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Figura 31. Dimensiones compuertas



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Las captaciones son ocho en total, una por cada túnel de conducción que alimenta a su vez a una unidad de generación de manera independiente, estas son bocatomas sumergidas que toman el agua a una cota aproximada de 350 msnm para dar inicio a lo que se denomina sistema a presión. Este sistema consiste en ocho túneles de conducción superior provistos de compuertas de cierre, ocho pozos verticales y ocho túneles inferiores blindados para un total de 340 metros de longitud de conducción subterránea por cada unidad de generación, las compuertas de cierre de los túneles superiores operan en pozos verticales, el caudal de diseño de cada conducción es de 168.8 metros cúbicos por segundo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 68 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

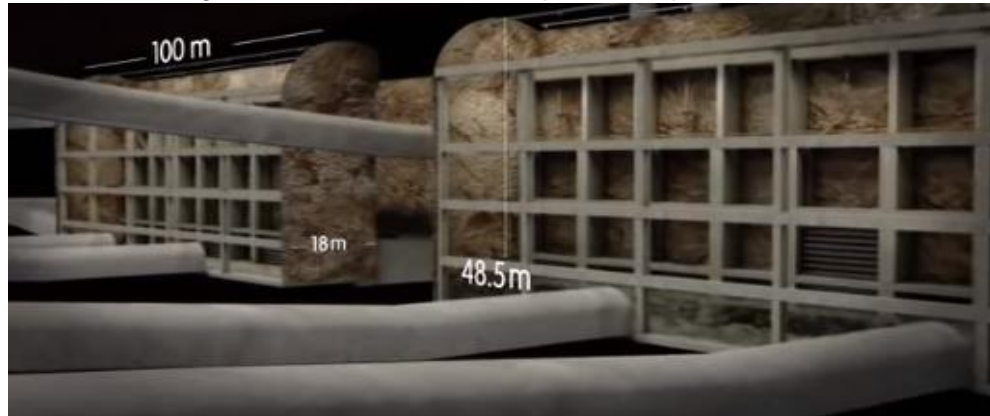
La casa de máquinas tiene 240 metros de longitud, 23 metros de ancho y 49 de altura y requiere un volumen de excavación aproximado de 225000 metros cúbicos en roca, en la parte central se encuentra ubicada la sala de operaciones con ocho unidades de generación, cuatro a cada lado. Para dirigirse a la casa de máquinas se hace desde la superficie mediante un túnel de acceso a 950 metros de longitud y una pendiente del 10%.

Con relación a las unidades de generación, el proyecto cuenta con ocho turbinas tipo Francis de eje vertical, con una potencia nominal de 307 megavatios, un salto neto de diseño de 197.3 metros y una velocidad de rotación de 180 revoluciones por minuto; cada una de las turbinas está acoplada a un generador sincrónico trifásico de eje vertical con una capacidad nominal de 337 mega voltio amperio, 18 kilovoltio de voltaje de salida y una velocidad sincrónica de 180 revoluciones por minuto. Por su parte la caverna de transformadores tiene 200 metros de largo, 16 metros de ancho y 19 metros de altura, albergará 25 transformadores monofásicos, tres por cada unidad de generación más uno de repuesto con un voltaje de 18 y 500 kilovoltios, de entrada y salida, respectivamente y una potencia de 112 mega voltio amperios. Las dos cavernas esta unidas por las galerías de barras y la galería de acceso.

También cuenta con otras obras menores del esquema subterráneo como pozos para salida de los cables de potencia, las galerías de construcción, el túnel para la entrada de aire y de salida de emergencia y el pozo para evacuación de humos, luego de ser turbinadas las aguas pasan por el sistema de descarga que las retorna al río Cauca, este inicia en dos tanques de quietamiento o almenaras, cada almenara tiene 100 metros de largo, 18 de ancho y 48.5 metros de altura, cada una recibe los caudales de cuatro unidades a través de su túnel de aspiración y mediante dos túneles de descarga entrega las aguas turbinadas al río, en total son cuatro túneles de descarga que tienen entre 906 y 1157 metros de longitud y 12.5 metros de diámetro.



Figura 32. Dimensiones tanques de aquietamiento



Fuente Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrico Ituango

La subestación del proyecto es superficial con equipos de tipo encapsulados, la conexión del sistema de transmisión nacional se hace mediante líneas de transmisión a 500 kilo voltios a tres subestaciones, Cerromatoso, San Carlos y Primavera. La energía para la construcción del proyecto se obtiene de la subestación Yarumal propiedad de EPM.

9.6. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

La presa de la central hidroeléctrica Funil - Furnas ha generado un gran logro durante aproximadamente cinco décadas, debido a la tecnología empleada en su geometría tipo bóveda, aplicada por las características topográficas del lugar donde se encuentra, puesto que está localizada en un accidente geográfico del tramo en el río Paraíba do Sul, donde se evidencia un terreno tipo cañón de propiedades rocosas. Por otra parte, la hidroeléctrica Ituango está ubicada en un terreno similar al de Funil - Furnas, motivo por el cual es importante tener en cuenta que dicha tecnología se podría haber implementado en este proyecto, dado que, en Colombia y en Brasil existen características topográficas, geológicas y morfológicas semejantes.

Algunas de las presas de las centrales hidroeléctricas más importantes de Colombia (Guavio, Chivor y Betania) tienen una tipología similar, pues algunas están construidas en un terreno enrocado y presentan una geometría trapezoidal. En general, la ingeniería colombiana no innova al momento de iniciar el diseño de un proyecto de este tipo, considerando lo anterior y evidenciando que el tipo de presa de Hidroituango es igual a las nombradas, es importante destacar que éste sería un gran aporte de transferencia tecnológica para Colombia en proyectos hidroeléctricos a futuro.



A continuación, se muestra la similitud de la topografía de las represas de estudio de Brasil y Colombia.

Figura 33. Ubicación de la represa Fumas



Fuente Video Hidrelétrica de funil

Figura 34. Ubicación de la represa Fumas



Fuente Video Hidrelétrica de funil



Figura 35. Ubicación de la represa Hidroituango




Fuente Video Así va saliendo a flote Hidroituango, entre gotas de esfuerzos, sudor y lágrimas-Los Informantes

Figura 36. Ubicación de la represa Hidroituango



Fuente Video Así va saliendo a flote Hidroituango, entre gotas de esfuerzos, sudor y lágrimas-Los Informantes

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 72 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

Considerando la transferencia tecnológica contemplada en este proyecto con respecto al uso de las presas tipo bóveda, es importante destacar los beneficios que aportaría a Colombia la implementación de estas, ya que existe un uso frecuente de presas tipo escollera o en materiales sueltos como rocas, piedras, gravas, arenas, limos y arcillas, acción que se debe gracias a la facilidad de obtención de estos materiales por las características topográficas del lugar de ejecución, convirtiéndose así en una buena alternativa económica.

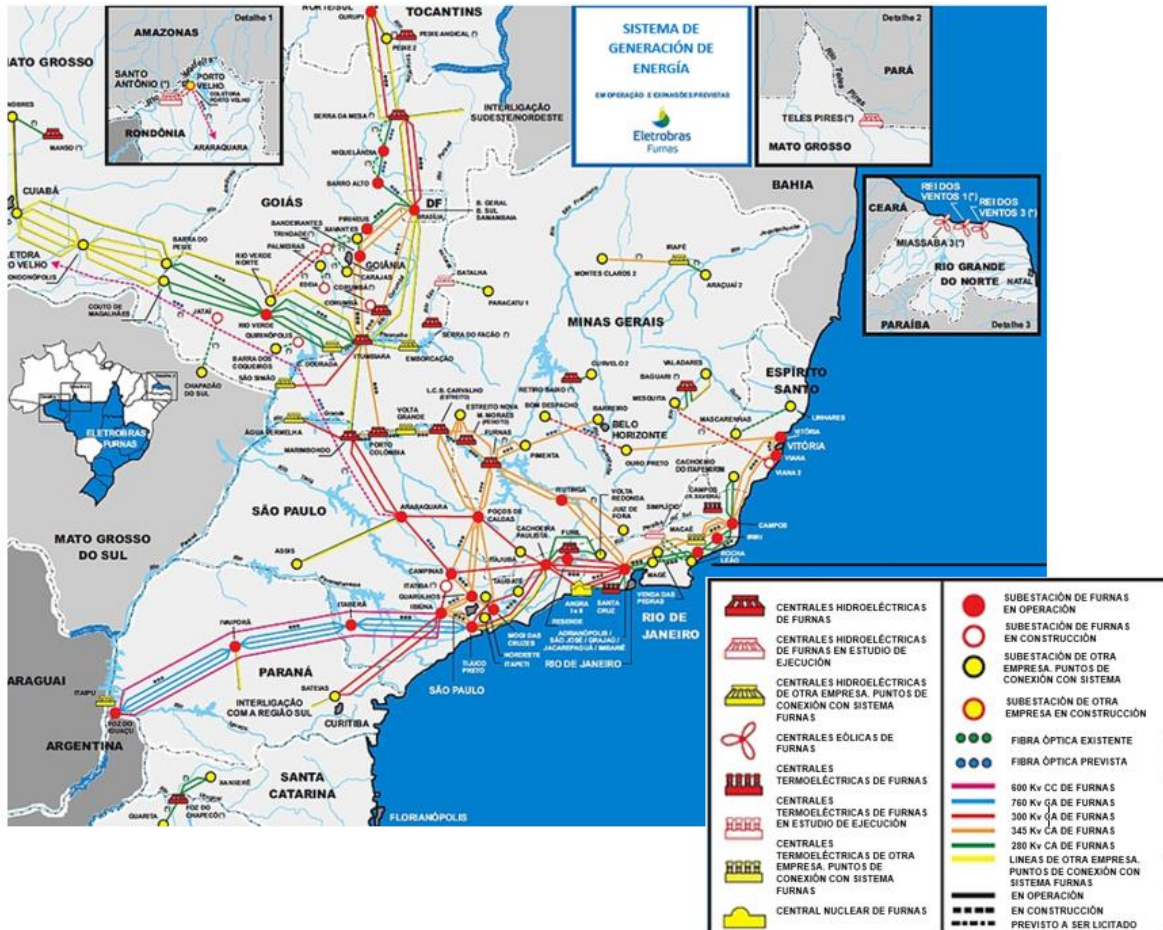
Sin embargo, estos materiales no garantizan totalmente una alta resistencia al momento de contrarrestar el empuje del agua, algo que es fundamental en estas construcciones, el tipo de presa de la central hidroeléctrica de Furnas conocida en la visita técnica tiene un formato en bóveda elaborada en hormigón, que estructuralmente es más eficiente y brinda una mejor distribución de fuerzas por su forma en bóveda (arco) y material empleado, logrando la transmisión de todas las cargas a los extremos y a los grandes apoyos que la componen, soportando los esfuerzos a los que la estructura está sometida. En pocas palabras, una presa de estas características es capaz de soportar las cargas necesarias sin ninguna dificultad, por ende, garantiza mayor estabilidad, durabilidad y resistencia.

Un factor significativo en el planteamiento de dicha transferencia es que las presas tipo bóveda son de mayor costo y su construcción representa una gran dificultad con relación a las de tipo escollera. Las presas en hormigón son las más comunes en los países desarrollados, y aunque se debe realizar una mayor inversión en este tipo de estructuras, aplicar esta tecnología sería una gran contribución otorgando un valor agregado a la infraestructura colombiana.

Existe otra tecnología importante llevada a cabo en Brasil que puede ser transferida a este país y lograr un avance o evolución en cuanto a la generación de energía eléctrica y se debe a que la empresa Furnas S.A. al mando del órgano Eletrobrás, encargado de coordinar todo el sector eléctrico de Brasil, hacen uso de tecnologías mediante la participación de otras centrales como eólicas, termoeléctricas, y nucleares, unificándolas mediante líneas de transmisión para proporcionar este servicio a varios estados de este país, incluyendo Paraguay, ya que también aporta en un 50% de energía eléctrica a la binacional Itaipú. La empresa Furnas ha logrado implementar exitosamente un excelente servicio a cada comunidad brasilera, brindando con constancia energía eléctrica con un alto nivel de eficiencia.




Figura 37. Sistema de generación de energía en Brasil, Sistema Furnas



Fuente Esqueletrica: Mapa sistema Eletrobras Furnas

De acuerdo a lo anterior, empresas colombianas como epm, emgesa, ISA y otras, lograrán adoptar tecnologías sobre estos tipos de generación de energía se aprovecharía al máximo los distintos recursos naturales, ideal para brindar en un gran porcentaje este servicio a toda la población del país.

Debido a las problemáticas ambientales entorno al manejo de las especies sobre el río Paraíba do Sul a causa de la operación de la central Hidroeléctrica de Funil - Furnas, se realizaron investigaciones acerca de una implementación tecnológica la cual propuso la construcción de una “escalera de peces” que tiene como objetivo preservar y conservar la ictiofauna. Esta solución adoptada, fue manifestada por los biólogos Claudio Lopes Soares y Felipe Viana Manzano pertenecientes a la Gerencia de Furnas del Medio físico-biótico, explicando que los peces que migran durante cierto período necesitan nadar río arriba para completar su ciclo de la vida,


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 74 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

evento en el cual gastan mucha energía para el proceso de su reproducción, vital para una naturaleza estable. Para llevar a cabo la estructura, los peces fueron monitoreados con el fin de determinar efectividad en cuanto a su implementación, con el acompañamiento de tecnología y actividad humana registraron todas las etapas desde que los pescadores y biólogos realizaron la captura de los peces, autorizados por el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (Ibama), para insertar chips en sus cuerpos que emitían señales hacia las antenas instaladas aguas abajo de la presa para estudiar su comportamiento. En la implantación de los chips, el pez era capturado y permanecía sobre 40 minutos en un tanque de descanso para calmarse y solo entonces pasaría por una intervención quirúrgica para insertar el chip, la operación era rápida y tomaba como máximo 20 minutos. Entonces el pescado se transfería a un tanque de recuperación donde permanecía otros 40 minutos para superar el estrés antes para ser devuelto al río, para estar monitoreado por las seis estaciones fijas en la estructura de peces construida en la presa. Los técnicos utilizan un equipo portátil y hacen seguimientos móviles que cubren parte del área que las antenas no alcanzan. (32)

Teniendo en cuenta lo anterior y conociendo los efectos e impactos ambientales que provocan las centrales hidroeléctricas en cuanto a las especies (peces), puede adoptarse la transferencia tecnológica de Brasil a Colombia en la represa de estudio. En vista a las emergencias generadas alrededor de Hidroituango a comienzos del año 2017, las acciones realizadas para evitar el colapso de la presa y desbordamiento del embalse durante los últimos tres años, alteraron el cauce del río Cauca provocando niveles muy escasos aguas abajo y consigo la muerte de 82500 peces, lo anterior, se debe a que no se ha considerado llevar a cabo un plan de manejo de especies acuáticas. Por lo tanto, implementar la estructura “escalera de peces” sería una buena solución y reivindicación para reparar a futuro la modificación en el ecosistema del lugar donde se encuentra Hidroituango.

9.7. IMPACTO SOCIO AMBIENTAL

Un estudio realizado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Programa Ambiental de la Naciones Unidas (UNEP), las represas causan un impacto importante sobre la biodiversidad, pues es un hecho que la elaboración de este tipo proyectos afectan la dinámica de poblaciones naturales, pérdidas de bosques e incluso la aparición de enfermedades infecciosas. El UNEP, hace un énfasis en su Guía Ambiental para Proyectos de Distribución Eléctrica, sobre el cuidado de los bosques cercanos al curso del agua de los ríos y la desintegración de los ecosistemas. Investigadores brasileiros aseguran que, durante el estudio de factibilidad de las centrales hidroeléctricas ignoran totalmente los impactos ambientales, debido a los casos ya vividos en Brasil, han obligado a

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 75 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------


ganaderos y agricultores a desplazarse a otras zonas donde es necesario derribar bosques para lograr su asentamiento y medio productivo. Además, estas obras exigen la construcción de nuevas vías de acceso, esto junto con el desalojo de una comunidad se convierten en motores de deforestación. (5)

Los impactos que se pueden presentar son de manera diversa cuando se elaboran proyectos de este tipo, por lo que tienden a ser tanto positivos como negativos, la generación de energía y empleo son factores positivos para el área de influencia, aunque, se debe tener en cuenta que algunas veces lo que interviene positivamente también puede ocasionar consecuencias negativas. El gran impacto socio-ambiental generado alrededor de las comunidades donde se ejecutan los proyectos hidroeléctricos como en este caso Hidroituango y Furnas, afectan el cambio climático local, modifican la temperatura del aire, las precipitaciones y la niebla. Además, causa la migración de las personas aledañas a la construcción, generan cambios en la economía rural, la estructura del empleo, la infraestructura y otros aspectos como cultura, relaciones sociales, de género y salud.

En lo que respecta al medio ambiente alrededor de la central Furnas, se registra que los cambios ocasionados en las características (flujo, temperatura, oxígeno) y componentes (concentración de fitoplancton) de las aguas del río Paraíba do Sul, desde el funcionamiento de la Hidroeléctrica hasta la plantación de la caña de azúcar y el cultivo de café en el estado de São Paulo, han contribuido en gran parte a la deforestación de Brasil.

A pesar de las diferentes fuentes de degradación que existen alrededor del río Paraíba do Sul, la calidad del agua se considera en un “nivel aceptable”, sin embargo, el Instituto ambiental del Estado de Rio de Janeiro afirmó que el ecosistema alrededor del río no es adecuado, debido a la presencia de actividad ganadera y la influencia directa de industrias aguas arriba, como consecuencia se han descubierto alteraciones en los compuestos de agua donde la presencia de cianobacterias, eutrofización y degradación varían la calidad del agua restringiendo el uso de ella. El reservorio generado por la presa se convierte en una barrera que impide la depuración y sedimentación de los contaminantes evitando el transporte aguas abajo. (28)

En el proyecto Hidroituango ubicado sobre el Cañón del río Cauca caracterizado por unas fuertes condiciones ambientales, altas pendientes y el clima han establecido una serie de distintas actividades económicas donde prevalece la agricultura, la pesca y la ganadería, desencadenó una alteración en toda la cadena productiva de esta zona, específicamente en los municipios de Santa fe de Antioquia, Olaya y Liborina encargados de la actividad turística. La llegada de docenas de trabajadores


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 76 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

para la construcción provocó una amenaza frente a las relaciones sociales impidiendo el desarrollo económico y amenazando dicha actividad por los problemas de abastecimiento de agua en estos sectores. Por lo tanto, los ingresos destinados no eran significativos y solo permitieron satisfacer algunas necesidades básicas. (33) Inicialmente, los proyectos realizan estudios de impacto en el ecosistema, sin embargo, existen factores más influyentes que otros, donde se deben tener en cuenta las actividades económicas de la región de localización del proyecto; en la ejecución de Hidroituango se llevó a cabo un plan de manejo ambiental, pero, no se tuvo en cuenta la prevención para tener un buen manejo de las especies acuáticas cuando se presentara alguna emergencia o una vez puesta en marcha la central hidroeléctrica. El proyecto ha tenido varias emergencias ocasionadas por temas constructivos, entre ellos los escasos niveles del río Cauca aguas abajo, ocasionaron la muerte de aproximadamente 82500 peces.

9.8. PROBLEMAS ASOCIADOS

En la Hidroeléctrica de Furnas se realizaron estudios previos de prevención de emergencias, específicamente con 30 años de antelación al inicio de la ejecución del proyecto para saber el comportamiento del río que evidenciaría fenómenos de la niña y el niño, elaborando un plan de acción de emergencia en caso de que existiera. Hoy en día, se conocen pocas emergencias sobre esta central hidroeléctrica, algunas de ellas han provocado inundaciones debido a la temporada invernal, entre ellas está una emergencia en el año 2010 por las fuertes lluvias en la zona de influencia de la represa, en la que decidieron abrir uno de sus vertederos. Este vertedero es utilizado cuando el volumen está por encima de la capacidad del embalse, el 27 de enero del 2010 el caudal de la presa se incrementó 100 metros cúbicos por segundo, al siguiente día el nivel del embalse fue del 82.42%, sabiendo que la presa recibe 659 metros cúbicos por segundo y libera 459 metros cúbicos por segundo, donde la apertura de la compuerta del vertedero aumentó aún más el nivel del río Paraíba do Sul, por lo que hubo una amenaza de inundación en las ciudades ribereñas aguas abajo de la presa. Teniendo en cuenta la situación de emergencia, el crítico nivel de agua del embalse y los constantes monitoreos por parte de la dirección de la presa, la empresa Furnas decidió orientar a los habitantes que posiblemente podrían afectarse por inundaciones y dar un plan de evacuación en caso de que existieran fuertes lluvias y no se lograra liberar el volumen de agua en el tiempo esperado. (34)

Por el contrario, Hidroituango se encuentra en ejecución y, aunque también tubo estudios previos desde hace muchos años, han ocurrido una serie de emergencias durante su construcción. El río Cauca tiene un caudal de 1000 metros cúbicos por segundo, y para la ejecución de la presa construyeron dos túneles de desviación y


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 77 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

un sistema de ataguías, con el objetivo de retener el agua del río y llevarla a los túneles de desviación que conducirían su cauce después de la obra, con todo el territorio seco. Inició la construcción en el año 2010 con una proyección de funcionamiento en noviembre del año 2018, la obra tomaba un buen curso, pero, ocurrieron una serie de sucesos debido a la temporada de invierno que venía acompañada de fuertes lluvias las cuales provocaron problemas en la obra.

Las emergencias iniciaron el 28 de abril de 2018 cuando las fuertes lluvias ocasionaron el primer derrumbe en los túneles de desviación y taponó por completo el acceso de agua que empezó a represarse, pero, horas más tarde, la tierra se removió y se superó la alerta. Dos días después, el 30 de abril de 2018 se registró un nuevo derrumbe y de mayores proporciones, el túnel de evacuación quedó completamente bloqueado, durante dos días, un puente peatonal de Valdivia quedó bajo el agua y algunas montañas comenzaron a agrietarse; el 12 de mayo de 2018 el agua iba en aumento a tal punto que desbordó la ataguía y empezó a llenar la presa descontroladamente. Teniendo en cuenta el crecimiento del cauce con el fin de evacuar 2 mil metros cúbicos por segundo y evitar que el agua sobrepasara la presa que aún no se había terminado de construir, EPM decidió dejar entrar el agua a la casa de máquinas por las bocatomas de los túneles de captación, inundándola y teniendo en cuenta que las obras no estaban listas, ocasionó la afectación de los equipos de generación de energía; dicha decisión fue debido al gran riesgo de avalancha que había, ya que no se tenía otra alternativa de desvío del río y era una gran emergencia no prevista. (35)

Para el 13 de mayo de 2018 las lluvias seguían, la presión del agua causó que uno de los túneles de desviación se destapara, toda el agua que empezó a entrar por el túnel y el que entraba por las bocatomas empezó a disminuir el caudal considerablemente, pero, todo terminó en una creciente, ya que el agua que llegó al río dio origen a otra emergencia, puesto que el municipio de Puerto Valdivia que se encuentra aguas abajo de la construcción de la presa se inundó dejando afectadas 40 edificaciones; el río Cauca se llevó 25 casas y destruyó el puente Simón Bolívar de Valdivia y otros dos puentes resultaron afectados. A continuación, sucesos significativos que generaron alerta roja durante el proyecto: (36)


- El 16 de mayo de 2018, el agua rebose la capacidad de la casa de máquinas y hubo otra emergencia, ya que existía riesgo de creciente súbita, incluso varios trabajadores del proyecto estuvieron en riesgo de ser arrastrados por las aguas represadas que salieron del lugar.
- El 21 de mayo de 2018 hubo alerta máxima en el proyecto hidroeléctrico, lo que produjo la evacuación de aproximadamente 35 mil personas de los municipios aledaños.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 78 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

- El 5 de junio de 2018 se detectaron movimientos de hasta 6 milímetros por hora en la enorme montaña, que es monitoreada todo el tiempo por expertos.
- Otro de los procesos que se han llevado a cabo en la construcción del proyecto fue el 16 de enero de 2019, cuando EPM realizó el cierre de la compuerta número 2 debido a la aparición de una socavación en la montaña con una dimensión de más de 18 metros.
- El 5 de febrero de 2019 la compuerta número 1 se cerró porque en el interior de la caverna se habían registrado variaciones en el nivel del agua por la circulación del aire. El cauca queda desconectado, generando impactos socioambientales. El 8 de febrero de 2019 se alcanzó la cota 401 sobre el nivel del mar y las aguas del río cauca comenzaron a fluir lentamente por el vertedero aguas abajo.

Por los problemas que surgieron desde el año 2018 en la ejecución de las obras, el proyecto se retrasó tres años en el cronograma de entrega; EPM declaró este tiempo para resolver las emergencias, el primer año para la mitigación de los riesgos para las comunidades y el medio ambiente, el segundo año para estabilizar las condiciones internas del macizo resolviendo los daños causados en la casa de máquinas y el tercer año está destinado para el montaje de las unidades de generación y poner en operación la central hidroeléctrica en el segundo semestre del año 2021.

Considerando los problemas y el control de emergencias en las centrales hidroeléctricas de estudio, las diferencias y similitudes de los dos proyectos, se puede evidenciar que, aunque la hidroeléctrica de Furnas fue construida hace varias décadas las emergencias alrededor de esta son de una escala preventiva ocasionado por fenómenos naturales y no por problemas constructivos, contrario a Hidroituango del cual se iba generar una catástrofe de alta magnitud, a un punto de eliminar cualquier posibilidad de asistencia al desastre. En Colombia falta un seguimiento adecuado en este tipo de proyectos, puesto que había inexactitud en los estudios realizados y por ello, empresas españolas rechazaron la ejecución de este, lo cual causa una gran preocupación actualmente donde existen requisitos, normas y licencias para evitar cualquier evento desafortunado en lo que respecta a la ejecución y construcción de centrales hidroeléctricas.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia <small>Vigilada Mineducación</small></p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 79 DE 85</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------


10. CONCLUSIONES

- Con la información recolectada de las centrales hidroeléctricas se logró realizar una comparación general de las obras hidráulicas y equipos de generación de energía, con el fin de evidenciar la existencia de algunas semejanzas, a pesar de las diferencias a sus dimensiones, problemas asociados y métodos de prevención de emergencias constructivos y naturales.
- Proteger al medio ambiente y a sus especies, es tan importante como el aporte que generan las centrales hidroeléctricas para el desarrollo de un país, de modo que, crear alternativas tecnológicas innovadoras que beneficien a todos los sectores brindará mayor estabilidad y confianza, debido a que muchas comunidades aledañas a este tipo de proyectos eléctricos viven de la pesca y, sí no existe un plan de manejo ambiental adecuado cuando se instalen obras civiles para el aprovechamiento del recurso hídrico de un río, no se logrará completamente el beneficio esperado.
- Para ejecutar hidroeléctricas en Colombia y Brasil, estas deben ser aprobadas por unos entes ambientales con el fin de proteger y aprovechar el recurso hídrico en su totalidad debido a la instalación de obras o proyectos para la generación de servicios públicos. Creando resoluciones que garanticen el buen funcionamiento de las actividades de los diferentes proyectos que alteren directamente un río.
- El sector eléctrico tiene un aporte significativo en la economía de Colombia, registrando un 66% de la energía eléctrica generada por hidroeléctricas y un 33% por termoeléctricas, lo cual un porcentaje de esto se vende a países como Ecuador y Venezuela, pero se busca ofrecer este servicio a otros como Panamá y Chile. Para lograr dicho objetivo, empresas colombianas podrían adoptar alternativas como la empresa Furnas en Brasil, aprovechando todos recursos naturales y químicos para transmitir una cantidad considerable de este servicio, teniendo en cuenta la unificación que existe entre todas las centrales hidroeléctricas, eólicas, termoeléctricas y nucleares.
- Evidenciando la tecnología empleada por Brasil en cuanto al tipo de presa construida en la central hidroeléctrica de Furnas y sus ventajas, para Colombia sería un gran avance implementar este tipo, teniendo en cuenta la necesidad del país para ejecutar estructuras de generación de energía hidráulica.
- Debido a la asignación de importancia en lo que respecta al desarrollo de un país sobre centrales hidroeléctricas, la emergencia que generó el posible




colapso de las obras hidráulicas como la presa en Hidroituango, ocasionó la inseguridad en toda la población del mundo sobre la ingeniería colombiana, cuestionando sí en un futuro exista la posibilidad de colaboración en gran porcentaje de proyectos de este calibre o más.

- Las obras hidráulicas de Furnas no poseen las grandes dimensiones de Hidroituango, sin embargo, esto no debería descartar el buen funcionamiento de esta central en Brasil durante años, brindando energía eléctrica continuamente a Rio de Janeiro y São Paulo. Hidroituango por ser un proyecto reciente y con las tecnologías que facilitan un poco la ejecución de estos hoy en día, debía presentar un resultado óptimo.
- De esta comparación se concluye que, el proyecto hidroeléctrico Ituango es un proyecto de gran envergadura para Colombia e incluso para los países vecinos que se beneficiarían del mismo, sin embargo, para ser un proyecto realizado con la tecnología que existe hoy en día, no da una gran impresión, esto a causa de los problemas ocasionados durante la ejecución, pues en vista de dichos problemas, se evidencia la falta de planificación del proyecto y la ausencia de un buen plan de manejo de emergencias, por otra parte, si se observa la central hidroeléctrica de Furnas, se puede evidenciar que es un buen proyecto, ya que no ha tenido impactos negativos mayores, es una construcción muy antigua y su funcionamiento es óptimo para tener tanta trayectoria.
- Aunque Brasil no ha sido una excepción en emergencias sobre presas, este país se fortalece día a día en el seguimiento y control de este tipo de construcciones para mitigar desastres como Bento Rodríguez y Brumadinho, hechos lamentables para que allí sean estrictos en los estudios y ejecuciones de estos proyectos. Con las alarmas alrededor de Hidroituango, Colombia obtuvo la oportunidad de no presentarse una catástrofe de gran impacto, pero provocó en un futuro ser más precavidos vigilando al margen nuevas construcciones para evitar los malos contratos con empresas que dañan la imagen de la ingeniería colombiana.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 81 DE 85</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------


11. RECOMENDACIONES

- Para ejecutar un proyecto que altere la dinámica de un río es recomendable seguir paso por paso los requisitos establecidos por las licencias ambientales para llevar a cabo estas construcciones. El cumplimiento de la norma debe ejecutarse por ambas partes, con el fin de garantizar estructuras de alta calidad en nuestro país.
- En la obtención de información se debe verificar que las empresas operadoras de las actividades de las centrales hidroeléctricas, permitan el acceso u ofrezcan completamente la información a solicitar, debido a que algunas manejan confidencialidad en lo que respecta a planos de obras, operación, funcionamiento, entre otros trabajos dentro de ellas, con el fin de dar un amplio análisis, comparación o estudio de lo obtenido.
- Realizar una visita técnica internacional, más que aportar conocimientos, interviene directamente en la formación profesional del estudiante, ya que se tienen bases teóricas y conocimientos generales de lo que se ve en Colombia, pero, visitar otro país permite comparar los conocimientos, avances y tecnologías que dan una visión más profunda en cuanto a conocimientos y saberes que se adquirieron en el transcurso de la carrera, además de lograr apropiar al estudiante de términos técnicos.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 82 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

12. BIBLIOGRAFÍA

1. epm. [En línea] <https://www.epm.com.co/site/nuestros-proyectos/proyecto-ituango/generalidades>.
2. FURNAS. [En línea] <https://www.furnas.com.br/subsecao/119/usina-de-funil---216-mw>.
3. Presas, Comité Nacional Español de Grandes. La PRESAS y el agua en el mundo. *Un libro sobre el papel de las presas en la gestión del agua*. [En línea] https://www.spancold.es/Archivos/Las_presas_y_el_agua_en_el_mundo.pdf.
4. Mundo Constructor. *Energía, hidroeléctricas en el mundo*. [En línea] <https://www.mundoconstructor.com.ec/energia-hidroelectricas-en-el-mundo/>.
5. RICO, GUILLERMO. Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. [En línea] 6 de Junio de 2018. [Citado el: 13 de Marzo de 2019.] <https://es.mongabay.com/2018/06/impactos-ambientales-hidroelectricas-en-colombia/>.
6. Álvarez, Luis Guillermo Vélez. Breve historia del sector eléctrico colombiano. *Blogger*. [En línea] 06 de 09 de 2011. <https://luisguillermovelezalvarez.blogspot.com/2011/09/breve-historia-del-sector-electrico.html>.
7. S.A., INGETEC. INGETEC S.A. *Proyectos hidroeléctricos - Guavio*. [En línea] <https://web.archive.org/web/20110916070829/http://www.ingetec.com.co/experiencia/textos-proyectos/proyecto-hidroelectricos/guavio.htm>.
8. Más de 9.000 evacuados por la obstrucción de una presa en Colombia. [En línea] 17 de Mayo de 2018. [Citado el: 12 de Marzo de 2019.] https://elpais.com/internacional/2018/05/17/colombia/1526573932_799098.html.
9. SANTAELLA VALENCIA, LUZ ELENA y MORALES, LUZ YOLANDA. Conceptos Básicos en Presas. [En línea] [Citado el: 30 de Marzo de 2019.] <file:///C:/Users/LAURA/Downloads/Dialnet-ConceptosBasicosEnPresas-5313884.pdf>.
10. Civil Engineering Blog. *Types of Dams - Classification of Dams Types*. [En línea] <http://www.civileblog.com/types-of-dams/>.
11. Khatsuria, R.M. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. New York : MARCEL DEKKER.
12. Danfluvial. *Esclusas ¿Qué son las esclusas y como pasarlas?* [En línea] [Citado el: 30 de Marzo de 2019.]
13. Villamarín, Sorayda. MANUAL BÁSICO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE. [En línea] 2013. [Citado el: 30 de Marzo de 2019.] <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6182/1/AC-CIVIL-ESPE-040211.pdf>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 83 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------------------------

14. Ingeniero de caminos. *Compuertas hidráulicas para presas*. [En línea] 2019.
<https://ingeniero-de-caminos.com/compuertas-hidraulicas-para-presas/>.
15. MENNA. Como funciona una turbina hidráulica. [En línea] 18 de Septiembre de 2018. [Citado el: 30 de Marzo de 2019.] <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>.
16. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS . [En línea]
<http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf>.
17. Kutzner, Christian. *Earth and Rockfill Dams, Principles of Design and Construction*. Netherlands : A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.
18. Univerity, New York. *DESIGN OF SMALL DAMS*. 1987.
19. Sierra, Ricardo Andrés Palacios. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada . [En línea] 2013. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11360>.
20. Itaipú Binacional. [En línea] <https://www.itaipu.gov.py/es>.
21. IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA. *Proceso de licenciamiento*. [En línea] 06 de 02 de 2018.
<http://www.ibama.gov.br/empreendimentos-e-projetos/licenciamento-ambiental-processo-de-licenciamento#projetos-laf>.
22. —. IBAMA. *Resolución 1382 del 7 de diciembre de 2015*. [En línea]
23. AMBIENTALES, AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS. ANLA. [En línea]
<http://www.anla.gov.co/>.
24. —. Términos de referencia para la elaboracion del estudio de impacto ambiental en proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica. ANLA. [En línea] 26 de 07 de 2017.
http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/SIPTA/Terminos_referencia/terminos_de_referencia_eia_hidroelectricas.pdf.
25. FURNAS. *Especialistas apresentam Plano de Ação de Emergência da Usina de Funil*. [En línea] 12 de 04 de 2019. <https://www.furnas.com.br/noticia/103/noticias/133>.
26. Afanador, Juana. IDEAS VERDES . [En línea] 12 de 2018. [Citado el: 01 de 09 de 2019.]
https://co.boell.org/sites/default/files/20190116_ideas_verdes_13_web.pdf.
27. Más que ingeniería, El blog de los futuros ingenieros. *Principales tipos de presas y su clasificación*. [En línea] <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>.
28. Martins, Sarah Cristina Araújo. THE α CDOM SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION ANALYSIS IN FUNIL RESERVOIR. [En línea] 2017.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 84 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------------------------------

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151454/martins_sca_me_prud.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

29. Ituango, Hidroeléctrica. Manual de inducción y reinducción. [En línea] [Citado el: 05 de 09 de 2019.]

https://www.hidroituango.com.co/documentos/Administrativos/Manuales_politica/Manua_de_induccion.pdf.

30. Flórez, Ramiro Ortiz. *Hidráulica Generación de energía*. Bogotá : Ediciones de la U, 2011.

31. *Conoce en detalle el Proyecto Hidroeléctrica Ituango*. EPM estamos ahí, 2013.


32. CONEXAO FURNAS. *Nova vida! Projeo refloresta área ambiental no Rio de Janeiro*. [En línea] 2019. <https://www.furnas.com.br/Upload/94-sub-708832311-conexao14.pdf>.

33. *Hidroeléctricas y desarrollo local ¿mito o realidad? caso de estudio: Hidroituango*. Maria Adelaida Torres, Humberto Caballero, Gabriel Awad. Medellín : s.n., 2014.

34. O GLOBO RIO . *La apertura de la compuerta de la presa de Funil en Itatiaia amenaza a los municipios debajo del río Paraíba*. [En línea] 08 de 01 de 2010. [Citado el: 01 de 08 de 2019.] <https://oglobo.globo.com/rio/abertura-de-comporta-da-represa-do-funil-em-itatiaia-ameaca-municipios-abaixo-do-rio-paraiba-3062213>.

35. *Qué pasó en Hidroituango*. Noticias Caracol, 2018.

36. *Así va saliendo a flote Hidroituango, entre gotas de esfuerzo, sudor y lagrimas*. Los informantes, 2019.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Vigilada Mineducación</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROYECTO TRABAJO DE GRADO</p>	<p>FECHA: 01 de abril de 2019 PÁGINA 85 DE 85</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

ANEXOS

1. Certificados de las dos estudiantes donde se demuestra la asistencia a la visita técnica internacional.



CERTIFICADO

II SEMINÁRIO EM ENGENHARIA CIVIL E INDUSTRIAL

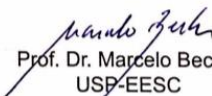
Em nome do Comitê Organizador do evento, atesto que:

Liyugeth Maritza Alfonso Bonilla

C.C 1.032.496.596

Participou do programa de palestras e visitas à Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP em São Carlos - SP, realizado de 22 a 24 de Julho de 2019.

São Carlos, 24 de Julho de 2019.


Prof. Dr. Marcelo Becker
USP-EESC



CERTIFICADO

II SEMINÁRIO EM ENGENHARIA CIVIL E INDUSTRIAL

Em nome do Comitê Organizador do evento, atesto que:

Laura Alejandra León Rodríguez

C.C 1.016.098.030

Participou do programa de palestras e visitas à Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP em São Carlos - SP, realizado de 22 a 24 de Julho de 2019.

São Carlos, 24 de Julho de 2019.


Prof. Dr. Marcelo Becker
USP-EESC