



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

**ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA
HIDROELÉCTRICA DE SOGAMOSO UTILIZANDO SOFTWARE DE
SIMULACIÓN DE PROCESOS**

AUTORES

**JAVIER ERNESTO MORA PALACIO
JAVIER ARENAS MUÑOZ
JEFFERSON DAVID PINZÓN MARÍN**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO
BARRANCABERMEJA**

Fecha de Presentación: 17-08-2018



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA
HIDROELÉCTRICA DE SOGAMOSO UTILIZANDO SOFTWARE DE
SIMULACIÓN DE PROCESOS

AUTORES

JAVIER ERNESTO MORA PALACIO
JAVIER ARENAS MUÑOZ
JEFFERSON DAVID PINZÓN MARÍN

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico

DIRECTOR

LEIDYS MARLEYN RODRIGUEZ CASTRO

GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO
BARRANCABERMEJA

Fecha de Presentación: 17-08-2018

Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: Análisis de los procesos de generación en la hidroeléctrica de Sogamoso utilizando la herramienta de simulación aspen HYSYS.

Presentado por: JAVIER ERNESTO MORA PALACIO, JAVIER ARENAS MUÑOZ Y JEFFERSON DAVID PINZÓN MARÍN. Para optar el título de Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico.

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso mayor exponente de la sabiduría y el conocimiento por este logro que me ha permitido alcanzar, a mis familiares, en especial a mis padres por el apoyo y la motivación que me han brindado a lo largo del proceso, y a todas aquellas personas que con sus aportes hicieron posible el alcance de esta meta.

JAVIER ERNESTO MORA PALACIO

Este proyecto está dirigido primordialmente a Dios el cual fue mi guía y respaldo durante el transcurso de este camino, quien a través de su amor infinito me capacito y me formo para alcanzar este logro que hoy veo culminado, a mi familia, amigos y compañeros que no cesaron de expresarme sus voces de aliento cuando sentía desfallecer, y aquellos que formaron parte fundamental durante este recorrido que hoy puedo ver concluido en victoria.

JAVIER ARENAS MUÑOZ

Este logro es dedicado a Dios autor y creador de la sabiduría y conocimiento, por ser mi mayor respaldo a lo largo de este propósito que me permitió cumplir, a cada uno de mis familiares y amigos solo puedo expresar palabras de agradecimiento, por sus consejos y buenos deseos, a cada persona que hizo posible que hoy pueda dar por culminada esta etapa de mi vida, agradezco de forma especial.

JEFFERSON DAVID PINZÓN MARÍN.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por guiarnos y fortalecernos espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. El más sincero agradecimiento a nuestra familia amigos y compañeros que con su permanente aliento y comprensión nos ayudaron a alcanzar esta meta tan deseada. Y por último agradecemos a todos los profesionales que trabajan en las Unidades Tecnológica de Santander por su colaboración y la confianza brindada para poder culminar con nuestro trabajo final y ver cumplida esta etapa de nuestra vida que nos abrirá paso a experiencias futuras en nuestro campo profesional.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la ingeniería Leidys Marleyn Rodríguez Castro por habernos acompañado en nuestra última etapa de la carrera, la cual nos permitió adquirir conocimientos básicos de investigación que nos serán útil para nuestra vida profesional. Al igual nuestra gratitud a los docentes quienes estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para nosotros, agradecer la ayuda, las palabras motivadoras, conocimientos, sus consejos y su dedicación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	13
INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	19
2. MARCOS REFERENCIALES.....	24
2.1. MARCO HISTÓRICO	24
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	32
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	47
3.1. EVALUAR LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA FUERZA HIDRÁULICA A ENERGÍA ELÉCTRICA, TENIENDO EN CUENTA FACTORES TÉCNICOS DE CONSTRUCCIÓN, CAPACIDAD DE POTENCIA GENERADA, CONDICIONES CLIMÁTICAS Y ENERGÍA PRODUCIDA.....	47
3.2. IDENTIFICAR EL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS EN LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL ELÉCTRICA.	54
3.3. DESARROLLAR LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA ASPEN HYSYS.	56

4. RESULTADOS	63
5. CONCLUSIONES	66
6. RECOMENDACIONES	67
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
8. ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la central hidroeléctrica Sogamoso	47
Figura 2. Esquema de las unidades de generación	48
Figura 3. Puntos principales de generación	49
Figura 4. Vista en perspectiva finalizado el embalse de la hidroeléctrica.....	51
Figura 5. Turbinas tipo Francis de eje vertical	52
Figura 6. Abrir un nuevo caso	56
Figura 7. Selección de componentes.	57
Figura 8. Selección de paquete termodinámico	57
Figura 9. Modelo de paletas	58
Figura 10. Selección de equipos y líneas de corriente	59
Figura 11. Ingreso de variables	59
Figura 12. Descripción de los componentes.....	60
Figura 13. Turbina 1.	61
Figura 14. Simulación de turbinas	61
Figura 15. Turbina 1	63
Figura 16. Corriente de materia.....	64
Figura 17. Solapa de visualización de la turbina	64

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Características técnicas de la Turbina tipo Francis de eje vertical de cabeza nominal.....	54
Tabla 2. Características técnicas del generador	55
Tabla 3. Cuadro Comparativo	65

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Turbina 2	71
Anexo 2. Turbina 3	71
Anexo 3. Figura de la turbina 1.	72
Anexo 4. Resultados de la simulación.....	72

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto expone un análisis de los procesos de generación de la energía eléctrica, a través de turbinas tipo Francis; la selección de herramientas de investigación se efectúa bajo una metodología descriptiva la cual permite el estudio de antecedentes, quienes se encargan de reflejar argumentos e hipótesis, caracterizadas por brindar al autor una guía de trabajo para el modelo a simular. El análisis parte inicialmente de la recopilación de variables nominales como presión, caudal, temperatura, etc., con el propósito de llevar a cabo la simulación en el software de procesos.

El estudio de los procesos de generación de energía, le permite al estudiante identificar los fenómenos de flujo que implica la geometría interna y las condiciones de operación de la máquina. Dando cabida a la inclusión de temáticas obtenidas en el proceso formativo como tecnólogo electromecánico los cuales implican el estudio práctico de teóricas vistas en asignaturas como termodinámica en las que se identifican variables de turbulencia, transición de flujo y vibración.

Al mismo tiempo, las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja adquieren un informe estructurado con el diseño y simulación de la turbina, la cual permite modificar los parámetros de entrada, generando así la variabilidad de estudios que permitan comprobar los resultados obtenidos con relación a los analíticos ejecutados.

INTRODUCCIÓN

El uso de centrales de generación permite la transformación de la energía hidráulica en mecánica rotacional, con base al agua proveniente del embalse que ingresa a la turbina con una velocidad y presión graduada la cual permite el accionamiento del sistema.

La realización del proyecto investigativo se caracteriza por la simulación de una turbina Francis. Por lo que inicialmente se efectúa un recorrido por el estado del arte, con el fin de tratar la información pertinente a los parámetros propios de funcionamiento, propiedades, entre otros.

La realización del proyecto investigativo se caracteriza por la simulación de una turbina Francis. Por lo que inicialmente se efectúa un recorrido por el estado del arte, con el fin de tratar la información pertinente a los parámetros propios de funcionamiento, propiedades, entre otros. Se construye un consolidado de teorías y conceptos sobre el funcionamiento del proceso de transformación de la energía en etapas como hidráulica, mecánica y su fin, convertida en energía eléctrica. Con todo los requerimientos y sistemas que en ella se integran para, posteriormente definir las variables a utilizar en la simulación que se lleva a cabo en el software Aspen HYSYS, de manera que cada elemento que hace parte del proceso, al poder evidenciarlo en la simulación, generando resultados de comparación.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de energía constituye un trabajo importante para el mundo moderno, esta basa gran parte en el aprovechamiento de los recursos naturales y su energía contenida. Su desarrollo en elementos que la transforman de tal forma que se convierte en beneficios que suplen determinadas necesidades como lo es el funcionamiento de múltiples equipos en la vida diaria como los electrodomésticos o en la industria como aparatos de alto consumo. Los aparatos marchan gracias a los flujos de energía que corren por sus unidades, estos flujos consiguen ser energía térmica, hidráulica, mecánica, neumática, etc. Gran parte de equipos y electrodomésticos utilizan como fuente de alimentación la energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica en una represa o central hidroeléctrica consta de tres factores relevantes y que, de no coexistir en el proceso, no podría darse: una cantidad de agua represada, una turbina y un generador. El agua estancada se lleva hacia la turbina que es operada gracias a la presión y caudal del agua; la turbina está conectada al generador. La turbina y el generador se han de ubicar en un nivel por debajo del nivel del agua represada, para así garantizar que el agua represada gane altura con respecto a la turbina con las circunstancias necesarias para el arranque (Botero, 2006).

Las principales turbinas utilizadas por las centrales de generación de energía, transforman la energía de la fuerza del agua –hidráulica- en mecánica rotacional, con la fuerza del agua proveniente de la presa, que ingresa a la turbina con una velocidad y presión medida que permite la acción de la turbina (Roldan, 2013).

Dentro de las mencionadas se encuentran la turbina Pelton para saltos grandes y caudales pequeños; Turbina Francis para saltos medianos y caudales mayores; o, Kaplan para saltos pequeño y caudales muy grandes. Sea el tipo que sea, las

turbinas son máquinas, que, al igual que otros equipos por deterioro, uso, vida útil, etc., sufren paradas, daños y desgastes lo que hace requerir de mantenimiento y seguimiento en aras de constituir señales de paradas próximas, desgastes de elementos internos u otros indicios que conlleven a detectar fenómenos que ocurren durante su funcionamiento y que constituyen la causa de diferentes modos de falla.

En la turbina Francis los fenómenos como la cavitación que se produce en cualquier tipo de paso de caída de agua hacia los rodets de las turbinas pueden ser agravantes no solo en los daños que sufra la máquina y sus elementos, sino en la ineficiencia de la generación de energía y las pérdidas de trabajo hidráulico que evitan la máxima optimización del recurso hídrico.

Todo estudio locativo o experimental que se realice sobre el proceso de la transformación de la energía hidráulica a mecánica y posteriormente a eléctrica permite a cualquier institución que realice este proceso la creación de lecciones aprendidas y elevación de sus niveles de conocimiento propio sobre las fallas y cualidades de sus proceso y equipos, pues, aunque todo esté definido, las variables que se asocian a cada turbina puede verse afectadas por fenómenos particulares. Es por ello, que resulta el siguiente cuestionamiento ¿Qué nuevos resultados o aportes al proceso de generación de energía eléctrica se obtiene de analizar los procesos de generación de energía en la hidroeléctrica de Sogamoso utilizando la herramienta de simulación de procesos?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La formación adquirida por el estudiante en la carrera de operación y mantenimiento electromecánico permite la proyección de actividades en las que se plantee la intervención, control e interconexión de equipos, siendo el claro ejemplo el funcionamiento de turbinas Franci. Es por esto, que conocer las características y propiedades de trabajo que implica el accionamiento del sistema da paso a la fundamentación de bases sólidas, encaminando al profesional a conocer las variables de entrada y salida requeridas para la puesta en marcha del sistema generador de energía eléctrica.

Según lo indicado anteriormente, la investigación realizada pretende generar en detalle y de forma simbólica mediante el software de procesos las variables que influyen en el accionamiento de turbinas Francis. Asimismo, se describen los componentes principales, empleando como parámetro de diseño las variables reales del sistema. Seguidamente, se comprobó los valores nominales de operación, con la información derivada del modelo simulado, lo que permitió concluir que la aproximación es altamente adecuada dentro del rango de precisión.

El manejo del software por parte de la institución funciona como apoyo al proceso de aprendizaje y/o desarrollo de las capacidades del estudiante para afrontar la resolución de problemas complejos de simulación. La investigación presentada muestra el manejo elemental y práctico del programa, con el propósito de facilitar la actualización de conocimientos en este campo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar los procesos de generación de energía en la hidroeléctrica de Sogamoso utilizando la herramienta de simulación de procesos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los procesos de transformación de la fuerza hidráulica a energía eléctrica, teniendo en cuenta factores técnicos de construcción, capacidad de potencia generada, condiciones climáticas y energía producida.
- Identificar el comportamiento estacionario de las variables eléctricas en la operación de la central eléctrica.
- Desarrollar la simulación del sistema de generación de energía eléctrica a través de la herramienta de procesos

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Murillo y Flores (2015) mencionan que la generación eléctrica en la planta de tratamiento NPF, está conformada por dos turbinas GE LM2500 con una capacidad de 18.5 Mw. cada una, y cinco generadores a gas, WUAKESHA, con una capacidad de 1.05 Mw. cada uno.

Las turbinas que fueron objeto de estudio (Bloque 16) utilizan fuel oil N° 4 como combustible para generar energía eléctrica. Pero su proceso, aún las plantas termoeléctricas más eficientes, solo logran la conversión a electricidad de menos del 40% de la energía disponible en el combustible (Murillo & Flores, 2015). el resto se transforma en pérdidas de energía o se descarga a la atmósfera, mediante los gases producto de la combustión que salen por la chimenea del generador.

Murillo y Flores (2015) expresan en su procedimiento, que Aunque la cantidad de calor que se desecha a la atmósfera es alta, su temperatura baja, y esto disminuye en la capacidad para realizar un trabajo útil dentro de las plantas generadoras. Sin embargo, la mayoría de los procesos industriales requieren de vapor a temperatura baja. Así, ellos pueden combinar la producción de electricidad y la energía en forma de calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma se desearía, como ocurre en las termoeléctricas convencionales.

Los gases de escape de las turbinas GE LM2500 tienen una temperatura que va de 400 a 600 °C, y estos gases son relativamente limpios y por lo tanto se pueden aplicarse directamente a procesos de secado, o pueden ser aprovechados para procesos de combustión posteriores, ya que tienen un contenido de oxígeno de alrededor del 15% (Murillo & Flores, 2015). Debido a su temperatura, estos gases pueden ser empleados, para producir vapor, que se utilizara en los procesos

industriales e inclusive, para generar energía eléctrica por medio de un ciclo combinado.

Murillo y Flores (2015) señalan que para desarrollar un análisis de pre-viabilidad, es necesario conocer los factores que involucran a la generación termoeléctrica como: información particular de las características energéticas del sitio, en donde se planea instalar el sistema de cogeneración, incluye los consumos y demandas de energía térmica, energía eléctrica; los combustibles usados en la planta, los equipos existentes, la información de los precios y costos de los combustibles y de la electricidad.

April (2016) expone en su proyecto la implementación de un diseño de una turbina para un pico central hidroeléctrica para las condiciones del río Vaupés en Mitú, con el cual permitió el esquema de una turbina de río con base a criterios hidrodinámicos y de mecánica de materiales.

El proceso de diseño, partió por establecer las condiciones del afluente hídrico en el cual se enfocó el diseño de la turbina, hasta llegar al diseño completo de la misma, la elaboración del modelo a escala y la estimación de los costos de fabricación para la escala real (Abril, 2016). Para su desarrollo, fue necesaria la obtención de datos hidrológicos del río Vaupés por medio de las estaciones limnigráficas y limnimétricas del IDEAM, una investigación acerca del diseño de turbinas hidráulicas de Gorlov, la utilización de software de diseño por elementos finitos para el análisis de dinámica de fluidos (CFD) y la utilización de prototipado rápido en la construcción del modelo a escala.

April (2016) mediante la simulación en el software, obtuvo como resultado una velocidad tangencial de $2,475 \text{ m/s}$. La velocidad de flujo promedio calculada en el río fue de $1,348 \text{ m/s}$, lo que representa que las velocidades de flujo presentadas en

el río son idóneas para el funcionamiento de la turbina, ya que no exceden el valor máximo presentado por la simulación en el software.

Villacrés (2016) pronuncia que la falta de acceso a servicios de energía modernos condena a miles de millones de personas en el mundo en vías de desarrollo a vivir en absoluta pobreza. Hoy en día, casi un tercio de la humanidad no dispone de energía eléctrica en las noches, utilizando equipos de cocina poco saludables, tiene acceso limitado a comunicaciones modernas, instalaciones educativas y sanitarias inadecuadas y energía insuficiente para sus trabajos y compañías.

Villacrés (2016) propuso un mecanismo sencillo de benéfica confiabilidad en su funcionamiento y a bajo costo de construcción, no requiere de un programa complejo de mantenimiento y la máquina es el sistema de turbo bombeo en el que se ha conjugado una turbina de flujo axial y una bomba rotativa de pistón.

Al determinar las características de máxima eficiencia de la turbina, diseñó el perfil aerodinámico de los álabes del rotor según norma NACA, construyendo así el prototipo de turbina axial para su posteriores pruebas respectivas (Villacrés, 2016). Esta turbina funciona tomando todo o una parte de la corriente de agua para hacerla pasar por el canal interno, haciendo girar la turbina, para luego dejarla fluir libremente. Únicamente requiere de un flujo constante de agua en caída vertical (una pequeña cascada de río, presa, o canal de desvío) y suficiente fuerza en el agua. La fuerza motriz del eje tiene la capacidad de mover una bomba o cualquier tipo de máquina que tenga movimiento rotacional.

Villacrés (2016) indica como finalidad en los ensayos realizados en la turbina, muestran que se obtiene una eficiencia que está en torno al 33% que para una micro turbina es un valor satisfactorio, ya que al considerar las perdidas mientras más

pequeña es la turbina el rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico es menor por condiciones de holgura, acabado y fricción mecánica.

Martínez & Mosquera (2017) muestran el diseño de una Picocentral Hidroeléctrica (PCH) que aprovecha la corriente del río San Juan (Chocó, Colombia) para producir electricidad en la vereda El Salado o Salao, la cual se encuentra alejada de la red de interconexión nacional. Escogieron esta zona en particular, porque el potencial hidráulico que posee el río en San Juan en estado natural (caudal puro del afluente) cerca a esta vereda, permite utilizar turbinas de río para producir energía eléctrica.

En el caso de las centrales hidroeléctricas con turbinas de río o turbinas cero, algunos países han logrado importantes adelantos respecto a los dispositivos para generar electricidad; tantos, que no siempre es adecuado utilizar la denominación “Pico” para referirse a este tipo de PCH, ya que se han alcanzado potencias generadas superiores a los 5 KW en algunos modelos (Martínez & Mosquera, 2017). Cabe destacar que en gran medida la potencia generada no sólo depende del tipo de turbina, sino de las velocidades que ofrezca el río donde se implementará.

Como conclusión del diseño de la turbina y los componentes auxiliares de LA PCH, Martínez & Mosquera (2017) expresan que para velocidades de río menores a 1,468 m/s y profundidades menores a 1 m, la turbina no alcanzará la potencia clasificada o nominal. Sólo en el caso hipotético de que por debajo de la profundidad límite, la velocidad del afluente aumente lo suficiente como para alcanzar el par y la velocidad radial nominales, y que además el material de las partes soporte dicha carga, podría producirse la potencia que se estipuló debía entregar el generador.

Betancur (2016) su proyecto fue desarrollado ante la necesidad de proponer una solución energética para comunidades aisladas en el territorio colombiano, dada la falta de servicio eléctrico, denominado análisis de una solución energética para

pequeñas comunidades aisladas, mediante la utilización de generación hidro-cinetica.

La generación hidro-cinética es una forma de generación moderna de energía, que parte del principio de generación eólica, utilizando un energético primario que se encuentra en cercanías a muchas comunidades de Colombia (Betancur , 2016). Para determinar el funcionamiento de este tipo de generación, se planteó la selección de los principales elementos naturales previo a un diagnóstico de los recursos en los posibles escenarios de funcionamiento en donde se realizaron las simulaciones que demuestran la viabilidad del sistema; por lo tanto, realizó una aproximación a la potencia, la cual pudo extraer de los ríos e identificar a su vez, posibles problemas ante un desarrollo hidro-cinetica.

En este documento Betancur (2016) plateó la generación hidro-cinetica como alternativa de solución a la problemática que aqueja a varios municipios que no cuenta con fluido eléctrico. Mediante esta propuesta innovadora se espera contribuir con la solución a aquellas poblaciones marginadas del territorio para que logren resolver la situación de atraso que influye directamente en su economía y bienestar social.

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO HISTÓRICO

La fuerza del agua ha sido utilizada durante mucho tiempo para moler trigo, pero fue con la Revolución Industrial, y especialmente a partir del siglo XIX, cuando comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. El bajo caudal del verano y otoño, unido a los hielos del invierno hacían necesaria la construcción de grandes presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor con en cuanto se pudo disponer de carbón (Daza, 2017).

La primera central hidroeléctrica se construyó en Gran Bretaña en 1880, el principal impulso de la energía hidráulica se produjo por desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad. A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de energía hidroeléctrica eran Canadá y Estados Unidos (Daza, 2017).

Es de deber mencionar la presa de Asuán (presa del río Nilo), situada al sur de Egipto, cerca de la ciudad de Asuán, en uno de los lagos más grandes del mundo. La presa original se terminó en 1902, y se elevó su altura en 1912 y 1934. La construcción de la nueva presa, situada 6km más arriba comenzó en 1960, y su coste total está estimado en más de mil millones de dólares (Daza, 2017).

La antigua URSS sufragó una tercera parte de los gastos de su construcción, que empleó a 400 técnicos soviéticos se terminó a mediados de 1968, aunque las últimas de las doce turbinas soviéticas se instalaron en 1970. Esta gran presa tiene

111 m de altura y una anchura de un kilómetro. El embalse se llamó lago Nasser en honor al presidente egipcio Gamal Abdel Nasser; cubre un área de 480km de largo y 16km de ancho, e inundó muchas poblaciones de la cuenca del Nilo. La capacidad de producción eléctrica es de 2.100 megavatios (Daza, 2017).

En Colombia, desde los años 80 hay numerosas instalaciones hidroeléctricas que generan el 69,70% de la producción eléctrica, los principales sistemas hidroeléctricos están situados en Antioquia, Cundinamarca, Huila, Tolima y Santander (Semana, 2015).

La prestación del servicio de energía eléctrica en Colombia se inicia a finales del siglo XIX por cuenta de inversionistas privados, quienes formaron las primeras empresas con la finalidad de generar, distribuir y comercializar electricidad. Durante la primera mitad del siglo XX se mantiene el esquema de propiedad privada, sin embargo, las empresas existentes pasan a manos del Estado por la continua presión de la clase política de las distintas regiones del país (Semana, 2015).

En 1967 se crea Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), asumiendo la coordinación del suministro de electricidad, adoptando procesos de optimización tendientes a minimizar los costos del sistema, planeando la expansión del sistema de generación y, si fuere necesario, de la construcción y operación de las nuevas centrales de generación (Bello & Beltran, 2010).

En 1976 se propuso la creación de un fondo eléctrico nacional para financiar las inversiones locales con recursos provenientes de captación de ahorro y del crédito externo como resultado de las dificultades financieras que enfrentaba el sector debido a la congelación de las tarifas por un periodo de cuatro años, medida que deterioró considerablemente la situación económica de las empresas del sector (Cuadros & Ortega, 2012).

El periodo de 1971 – 1980 se caracterizó por un aumento de la demanda de energía a raíz del crecimiento de la población, el desarrollo de la economía, los cambios tecnológicos y por las políticas del gobierno enfocadas en ampliar la cobertura del servicio. A comienzos de la década de los 90, el sector enfrentaba una difícil situación financiera como resultado de la desfavorable gestión y escasa eficiencia administrativa, operativa y financiera del Estado la cual se tradujo finalmente en un racionamiento nacional de electricidad durante 1991 – 1992 (Cuadros & Ortega, 2012).

Lo anterior demostró la urgente necesidad de modernizar el sector eléctrico colombiano, iniciando dicha reestructuración con la Constitución de 1991 donde se estableció la libre entrada y competencia de todo agente interesado en la prestación de servicios públicos. Con esta nueva Constitución, el Estado pasó de ser un empresario monopólico a ser el ente regulador y controlador que vela para que se cumpla la prestación eficiente y mejora en la calidad de los servicios públicos. En 1992 se creó la Comisión de Regulación Energética, entidad autónoma e independiente encargada de la regulación del sector (Cuadros & Ortega, 2012).

2.2. MARCO TEÓRICO

Ecuación de bernoulli

La ecuación sencilla para flujo estable, no viscoso e incomprensible.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho yz = \text{Constante a lo largo de la línea de corriente} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Esta celebre ecuación de Bernoulli, que constituye una poderosa herramienta en mecánica de fluidos. “Daniel Bernoulli (1700-1782) publicó en 1738 su hidrodinámica, donde apareció, por primera vez un equivalente de esta famosa ecuación” (Munson, 2003, pág. 198).

Numero de reynolds

Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo (Garcia, 2003).

El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re < 2000$) es función sólo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función del tipo de pared de la tubería. (Munson, 2003, pág. 4)

Así se define el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

V_s = Velocidad característica del fluido

D = Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

V = Viscosidad cinemática del fluido

Q = caudal

$\pi = 3.14159$

Introducción de las maquinas hidráulicas

Las maquinas hidráulicas o máquinas de fluido son aquellas que intercambian energía con el fluido que está conteniendo o que circula por su interior. Este fluido comunica la energía que absorbe la máquina, o bien el fluido es el que recibe la energía que la maquina le transmite (Garcia, 2003)

Las maquinas hidráulicas constituyen una de las aplicaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y se encuentran presentes en todo tipo de instalaciones y maquinaria industrial (Garcia, 2003). Su estudio parte del conocimiento de las ecuaciones generales de conservación de la mecánica de fluidos.

El flujo a través de una maquina hidráulica puede ser laminar o turbulento, aunque suele ser a altos números de Reynolds, es decir, turbulento y además tridimensional y no estacionario: ello hace que en general no existan soluciones exactas de las ecuaciones de Navier Stokes. Por lo tanto, el análisis y diseño de las máquinas de fluido es bastante complicado, las ecuaciones y condiciones de contorno que rigen el movimiento del fluido en el interior de una maquina hidráulica son muy complejas y en la mayor parte de los casos no es posible su solución analítica o numérica, por lo que hay que recurrir a otras técnicas, con la experimentación bajo la guía de análisis dimensional y la semejanza dinámica o analizar modelos teóricos simplificados

suficientemente aproximados del comportamiento del fluido en el interior de la máquina. (Munson, 2003, pág. 14)

Hay otras teorías simplificadas de las máquinas de fluido a saber: unidimensional y bidimensional. También el importante desarrollo alcanzado por los ordenadores en las últimas décadas ha proporcionado el impulso de métodos de análisis. En esto se presenta el flujo al interior de las máquinas hidráulicas, esto se presenta muy complejo y sigue siendo materia de investigación en el campo analítico, experimental y numérico (Munson, 2003).

Distribución de presiones y pérdidas en el interior de una turbina

En la turbina en su interior se presenta unas pérdidas de fricción debido a la acción de la viscosidad y pérdidas de desprendimiento de capa límite, lo cual se debe al mal ángulo de ataque de la corriente relativa sobre los alabes fuera del punto de diseño.

En las pérdidas de fricción A_h , análogamente al caso de las bombas, son proporcional al cuadrado del caudal, lo cual se producen al atravesar el fluido, por los diversos elementos de la máquina, como la cámara especial, el distribuidor, y el rotor (Munson, 2003).

Las pérdidas por desprendimiento, también igual que en las bombas, son proporcionales a $(Q-Q_0)^2$ siendo Q_0 el diseño, caudal que hace para una posición determinada del distribuidor la velocidad relativa W_1 sea tangente a los alabes y por tanto las pérdidas por este motivo, $A_{h\text{ desp}}$, sean mínimas. A la salida de rotor, excepto en el punto de diseño, la velocidad absoluta no es axial: existe lo tanto una componente tangencial C_{u2} que es considerada como una pérdida de carga más, ya que implica una pérdida de energía cinética no aprovechada $h_{\text{tang}} = C_{u2}^2/2g$. Esta pérdida es proporcional a $(Q-Q_0)$. (Munson, 2003, pág. 15)

Existen además otras clases de perdidas como son as perdidas mecánicas P_r , las perdidas por rozamientos en disco y por fugas q . Las pérdidas por fugas son tales que $Q=Q^r + q$, siendo que Q^r el caudal que atraviesa el rotor, q en el que se pierde entre las holguras entre el rotor y el estator y Q el que desagua el embalse (Munson, 2003). La potencia de salto será de $pgQH$ y la máxima altura que podría cederse al rotor en el caso ideal pide obtenerse por aplicación de la ecuación de Bernoulli entre la entrada y salida del mismo suponiendo que estos mismos puntos se encuentran en la misma cota:

$$H = \frac{(p_1 + \frac{1}{2}\rho c_1^2) - (p_2 + \frac{1}{2}\rho c_2^2)}{\rho g} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Y, además, debe cumplirse:

$$H = H_t + \Delta h_t + \Delta h_{desp} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Sin embargo, normalmente lo que interesa es la potencia y los rendimientos de la maquina en su conjunto, por lo que se considera la altura H como la obtenida mediante la ecuación de Bernoulli entre la entrada (punto e) y la salida (punto 2) de la máquina, obteniéndose (Munson, 2003).

$$pgH = (p_e + \frac{1}{2}\rho c_1^2) - (p_2 + \frac{1}{2}\rho c_1^2) \quad \text{Ecuación (5)}$$

Que también puede expresarse como:

$$pgH = pgH_t + \Delta h_{fe} + \Delta h_{fd} + \Delta h_{fr} + \Delta h_{desp} = pgH_t + \Delta h_{maquina} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$\text{Dónde: } \Delta h_{fe}, \Delta h_{fd}, \Delta h_{fr}, \Delta h_{desp} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Son respectivamente las pérdidas de la carga en la cámara espiral, en el distribuidor en el rotor (es decir, en todos los elementos que consta la turbina) y las pérdidas

son desprendimiento de la capa limite. También habrá que añadir en su caso las pérdidas por velocidad de salida del flujo. Según Munson (2003), con esta nueva definición de H los rendimientos quedan:

$$n = \frac{pg(H-\Delta h_{maq})(Q-q)-P_m-p_t}{pgQH} = \frac{p_e}{p} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$n_h = \frac{H-\Delta h_{maq}}{H} = \frac{p_t}{H} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$n_v = \frac{pg(H-\Delta h_{maq})(Q-q)-P_m-p_t}{pg(H-\Delta h_{maq})(H-q)} = \frac{p_e}{p} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$n = \frac{Q-q_n}{Q} \quad \text{Ecuación (11)}$$

En las pérdidas de velocidad tangencial termina por influir en el resultado a través del valor de H, cuando se aumentan estas pérdidas de energía ideal máxima que se puede aprovechar al interior de la máquina y disminuye (Munson, 2003).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Turbina hidráulica.

Es una turbo máquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, así son el órgano fundamental de una Central hidroeléctrica (Hernandez, 2011).

Turbina hidroeléctrica.

Constituye uno de los elementos fundamentales de una central hidroeléctrica, porque es la encargada de “recoger” el agua para hacerla girar y producir energía eléctrica. El diseño de la turbina depende de varios factores, con la eficiencia energética o el salto de agua que va a soportar. Las más utilizadas son:

- **Turbina Pelton:** Una de las más eficientes energéticamente. Consiste en una rueda que está rodeada por una serie de palas o cucharas que son las encargadas de soportar la caída del agua. Las Pelton son unas turbinas de flujo transversal y su esquema es el siguiente
- **Turbina Kaplan:** En este caso estamos ante una turbina de flujo axial, con una forma muy parecida a la hélice de un barco. Tiene la peculiaridad de que sus hélices son regulables, por lo tanto, se adapta a diferentes saltos de agua y caudales.
- **Turbina Francis:** Es la más utilizada en las centrales hidroeléctricas, ya que su diseño permite adaptarse a los caudales de agua y a los diferentes saltos de

agua. Además, es la más eficiente energéticamente. En su caso, el flujo es mixto, a medio camino entre la Kaplan y la Pelton (Hernandez, 2011).

Turbinas a reacción. Turbinas tipo francis.

Una clasificación de turbinas hidráulicas se basa en la forma como actúa el fluido con el rodete de la turbina, en este caso existen dos tipos: turbinas de chorro o de acción simple o directa (p.ej. turbinas tipo Pelton) donde en el rodete se realiza el intercambio de energía hidráulica a mecánica a la presión atmosférica y turbinas de reacción o de sobrepresión (p.ej. turbinas tipo Francis y Kaplan) donde ocurren cambios tanto en la presión como en la velocidad, en éstas, el rodete se encuentra ahogado. (Nayar, 2016, pág. 6)

Operación transitoria de turbinas Francis.

“El flujo en estado estacionario mediante una turbina Francis depende de la carga neta disponible, la velocidad de rotación de la turbina y de la apertura de álabes del distribuidor” (Nayar, 2016, pág. 9).

Nayar (2016) menciona que aunque se tienen registros del consumo de los usuarios durante las horas pico, la energía que demanda la red eléctrica no es constante, lo que provoca que durante la operación existan variaciones de carga eléctrica que deben ser reguladas por dispositivos de control (gobernador) para mantener siempre la velocidad sincrónica del conjunto turbina-generator y evitar sobre velocidades peligrosas en caso de un rechazo total de carga eléctrica.

Modelo del orificio dinámico.

Naya (2016), indica que el modelo del orificio dinámico es una opción sencilla para el análisis de las condiciones extremas generadas por el cierre de álabes después de un rechazo total de carga eléctrica.

El modelo del orificio dinámico se basa en el concepto de que la turbina opera como un dispositivo hidráulico de resistencia donde la pérdida de carga por el flujo es caracterizada por la ecuación de un orificio que cuenta con un coeficiente dinámico de descarga, la variación de este coeficiente depende de las características de la turbina (Nayar, 2016).

Transitorios hidráulicos.

El estudio de un fluido dentro de un sistema hidráulico es complejo, dentro de un tiempo determinado pueden existir variaciones en el flujo por distintas circunstancias (fugas, fallas mecánicas, maniobras de control, etc.) que pueden ser ajenas o no a la operación del sistema, se dice que un flujo es estacionario si la velocidad en todos los puntos del fluido no varía con el paso del tiempo, aun pudiendo variar de una sección a otra. (Nayar, 2016, pág. 11)

Operación transitoria de turbinas Francis.

“El flujo en estado estacionario a través de una turbina Francis depende de la carga neta disponible, la velocidad de rotación de la turbina y de la apertura de álabes del distribuidor” (Nayar, 2016, pág. 12).

Nayar (2016) señala que una forma útil de representar la información de la operación de las turbinas hidráulicas es a través de sus curvas características en las que se relacionan dos o más variables (estas variables son: altura neta, caudal turbinado, grado de apertura del distribuidor, potencia útil y revoluciones por minuto de la máquina).

Ecuaciones del modelo de orificio dinámico.

Trabajar con variables adimensionales hace que se tenga un manejo más sencillo de las ecuaciones del orificio dinámico.

1. **Factor de compuerta C_g** ; es el coeficiente de apertura de la válvula y se puede expresar como el cierre de los álabes de la turbina que varía entre uno y cero de acuerdo con el porcentaje de apertura, donde uno es totalmente abierto y cero es totalmente cerrados y define el gasto máximo en la turbina para una carga dada.
2. **Factor de velocidad C_s** ; es el coeficiente de velocidad del rotor de la turbina que modifica el coeficiente de descarga como una función de la velocidad del rotor, porque para turbinas de reacción a carga y posición de álabes constantes, el gasto está en función de la velocidad del rotor.

Masas giratorias.

“En un sistema rotacional, el torque es igual al producto de la aceleración angular por el momento polar de inercia” (Nayar, 2016, pág. 31).

El tiempo polar de inercia tiene una influencia indicadora en la variación de la velocidad del conjunto turbina-generador (Nayar, 2016). Mientras más pequeño sea el momento de inercia del sistema rotacional, la velocidad de la turbina en un rechazo total de carga tiende a aumentar más fácilmente debido a que el rotor de la turbina halla menos resistencia.

Válvula esférica.

Portilla (2015), (como citó Inecel, 1990). LA válvula esférica es el elemento de protección e interconexión entre la tubería de presión o conducto forzado y el caracol. El cual se conecta con la tubería tipo pelton, la turbina está diseñada para trabajar con agua a presión (nominal) de 66kg/cm

La válvula esférica trabaja en position abierta o cerrada, asegurando en el primer caso un flujo continuo con el mínimo de perdida y en el segundo caso una

estanqueidad total hacia el lado de la turbina. La válvula es de tipo rotativo, accionada por un servomotor hidráulico que le da un giro de 90°. Está dotada de dos sellos móviles aguas arriba y aguas abajo, que garantizan la estanqueidad de la válvula. (Portilla, 2015, pág. 13)

Utilización de las turbinas hidráulicas

Las turbinas de acción se emplean en situaciones de grandes saltos y caudales pequeños, es decir velocidades específicas bajas, por ello se instalan en centrales, en las cabeceras de los cauces, en zonas próximas a los nacimientos de los ríos donde las fuertes pendiente permiten obtener grandes desniveles entre puntos relativamente próximos, mientras que el caudal es pequeño, puesto que las cuecas que vierten sus aguas en las cabeceras son reducidas (Correa, 2012).

Este tipo de centrales son normalmente de agua acumulada y suele obtener de un canal de derivación de bastante longitud para general el salto neto necesario. Las turbinas de reacción se utilizan para un amplio rango de altura y caudales, con una relación caudal-altura mayor que en el caso de las turbinas de reacción (Correa, 2012).

Los valores más bajos de dicha relación corresponden a las turbinas Francis y a medida que van aumentando van pasando más o menos por este orden, hélice, Kaplan, deriaz, bulbo (Correa, 2012). Las centrales hidroeléctricas con turbinas de reacción se sitúan en la zona media o al final de los cauces de los ríos y disponen de canales de derivación más cortos que de los centrales de las turbinas de acción o incluso pueden carecer de ello.

Cámara de distribución

Consiste en la prolongación de la tubería forzada, acoplada a éste, mediante brida de unión, posteriormente a la situación de la válvula de entrada a turbina, según la

trayectoria normal del agua (Duarte & Niño, 2004). Tiene como misión fundamental conducir el caudal de agua. Igualmente, sirve de soporte a los demás mecanismos que integran el distribuidor.

Propiedades de los fluidos

Flujo compresible e incompresible: El flujo compresible se presenta cuando la densidad de un fluido es prácticamente constante a través del espacio, independientemente de las variaciones producidas por la temperatura y la presión. El flujo incompresible se presenta cuando no se cumplen las condiciones anteriores (Duarte & Niño, 2004).

Viscosidad: Es una medida de la resistencia de fluido al corte cuando el fluido está en movimiento. Un fluido no puede resistir esfuerzos de corte sin moverse, pero un sólido sí. La viscosidad se debe principalmente a las interacciones entre las moléculas del fluido (Duarte & Niño, 2004).

Volumen específico: El volumen específico de una sustancia está relacionado con el peso específico a través una ecuación, por lo que su magnitud al nivel de la superficie del agua será igual que para determinar el cambio que ocurre en el volumen específico del agua de más debido al aumento de presión a causa de la profundidad, es necesario hacer uso del concepto de módulo de elasticidad, E_v . Así es posible mostrar que este resultado indica que el volumen específico del agua (es decir su densidad) varía levemente a pesar del aumento de presión. Esto es un claro ejemplo de un fluido incompresible. (Duarte & Niño, 2004, pág. 15)

$$V_1 = \frac{1}{P} = \frac{Y}{g} = \frac{32.2(\text{pie}/s^2)}{64(\text{lb}/\text{pie}^3)} = 0.504(\text{ft}^3/s)$$

Ecuación (12)

Densidad: La densidad ρ de una sustancia se define como la cantidad de masa m por unidad de volumen que ocupa V .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Si el fluido de una sustancia pura, la densidad puede variar con la temperatura T y la presión P . La ecuación que relaciona las distintas variables del estado de un sistema se denomina ecuación de estado (Gonzalez, 2002). Peso específico: se define como el peso por unidad de volumen. En el sistema internacional sus unidades son $[N/m^3]$.

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad \text{Ecuación (14)}$$

Siendo:

γ = el peso específico

P = el peso de la sustancia

V = el volumen de la sustancia

ρ = la densidad de la sustancia

m = la masa de la sustancia

g = la aceleración de la gravedad

Presión: la presión en un punto se define como el valor absoluto de la fuerza por la unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto y en el sistema internacional su unidad es el Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). En el caso de los fluidos en reposo la fuerza ejercida sobre la superficie debe ser siempre perpendicular a la superficie, ya que, si hubiera un componente tangencial, el fluido fluiría. En el caso de los fluidos en movimiento, si este no es viscoso tampoco aparecen componente tangenciales de la fuerza, pero si

se trata de un fluido viscoso sí que aparecen fuerzas tangenciales de movimiento. (Crane, 1987, pág. 3)

Tipos de flujos

Flujo estacionario/no estacionario: se dice que un flujo estacionario si la velocidad $\vec{v}(\vec{r})$ y la densidad $\rho(\vec{r})$ del flujo no dependen del tiempo y no estacionario en caso contrario. Esto no quiere decir que la velocidad y la densidad deban ser las mismas en dos puntos distintos, sino que solo en un mismo punto no deben variar con el tiempo. “Flujo irrotacional-rotacional: se dice que el flujo es irrotacional cuando el elemento del fluido en un punto dado no tiene una velocidad angular neta alrededor de dicho punto, y es rotacional en caso contrario. Un fluido que circula a través de una tubería recta de sección uniforme sería un ejemplo simple de flujo irrotacional, mientras que un remolino en un río sería un ejemplo de flujo rotacional. (Crane, 1987, pág. 8)

Flujo compresible-incompresible: se dice que el flujo es compresible si la densidad en el mismo varia, como por ejemplo ocurre con los gases el caso más general, mientras que se dice que un flujo es incompresible cuando la densidad apenas varía en el caso de los líquidos (Crane, 1987).

Flujo viscoso - no viscoso: se dice que el flujo es viscoso cuando aparece en él importantes fuerzas de rozamiento que no se pueden despreciar. Como consecuencia de estas fuerzas de rozamiento aparecen unas fuerzas tangenciales entre las capas del fluido en movimiento relativo y hay una disipación de energía mecánica. Por el contrario, se dice que el flujo no es viscoso cuando estas fuerzas de rozamiento son muy pequeñas o bien no se tienen en cuenta (Crane, 1987).

Bomba hidráulica.

Es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli.

En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica (ECURED, 2015).

Simulación.

Consiste en construir modelos informáticos que permitan describir el comportamiento esencial de un sistema real o hipotético, así como diseñar y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, para apoyar al usuario en la toma de decisiones.

Normalmente la simulación construye modelos matemáticos tan complejos que no es posible su tratamiento analítico por medio de métodos numéricos. Sus orígenes están en los trabajos de Suden para aproximar la distribución que lleva su nombre, y los métodos que Von Neumann y Ulam introdujeron para resolver ecuaciones integrales. (Valdivieso Aranda, 2012) Desde entonces, la simulación ha adquirido

importancia en la resolución de problemas en diferentes campos como la ingeniería, la economía, biología, medicina, informática, química y las ciencias sociales con enormes aplicaciones industriales y comerciales (Martinez & Porras, 2015).

Software de simulación

Permiten mejorar e incrementar la eficiencia de las mismas a permitir hacer simulaciones de diferentes procesos antes de que ocurran en realidad, las cuales producen resultados que pueden ser analizados para una futura realización de los mismos.

Aspen Plus

El Sistema Avanzado para Ingeniería de Procesos (ASPEN) es un mercado líder en herramientas de modelado de proceso de diseño conceptual, optimización y monitoreo de desempeño para la industria química, polímeros, especialidades químicas, metales y minerales. Aspen Plus es un simulador estacionario, secuencial modular (en las últimas versiones permite la estrategia orientada a ecuaciones) (Ramírez, 2014).

Aspen Hysys.

Es una herramienta computacional de simulación de procesos muy poderosa, para la simulación de plantas petroquímicas y afines. Ha sido específicamente creada teniendo en cuenta lo siguiente: capacidades ingenieriles, arquitectura de programa, operación interactiva y diseño de interface.

Este software consiente simulaciones en estado estacionario y en estado dinámico o transitorio. La gran cantidad de componentes que comprende la librería de Aspen HYSYS proveen un enfoque extremadamente poderoso del modelado en estado

estacionario. Sus operaciones y 25 propiedades permiten modelar una extensa gama de procesos con confianza (Martinez & Porras, 2015).

Witness

Es un programa dirigido esencialmente a la simulación dinámica de procesos industriales de producción, más restringidos que los otros paquetes descritos bajo el punto de vista de la dinámica de sistemas, pero dotado de múltiples herramientas para su función principal. Puede modelizar sobre la base de dichas herramientas todo tipo de actividades relacionadas con los fluidos y cuenta con elementos de monetización específicos para la industria del petróleo, como pueden ser tanques, tuberías, etc. (Ramírez, 2014, pág. 4)

Energía Hidroeléctrica.

El aprovechamiento de la energía potencial acumulada en el agua para generar electricidad es una forma clásica de obtener energía. Alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente. Desde el punto de vista ambiental la energía hidroeléctrica es una de las más limpias, aunque esto no quiere decir que sea totalmente inocua, porque las presas o azudes que hay que construir suponen un impacto importante.

En el análisis de ciclo de vida, se evalúan los impactos ambientales durante las distintas fases (estudio y proyecto, construcción y explotación). Encontramos grandes diferencias según sea, gran hidráulica, mini hidráulica o micro hidráulica. Los impactos dependerán del tamaño de la central, la situación geográfica y su entorno físico, biológico y climático.

Los impactos negativos empiezan a producirse durante la fase de construcción, con vías de acceso para el traslado de materiales. En la fase de explotación hay un gran impacto, como es, la alteración del flujo natural del río. Entre otros impactos, los

peces se encontrarán con una barrera artificial, lo que dificulta el remolque de éstos. La reducción de todos estos impactos, se producen mediante la aplicación de medidas específicas para mitigarlos (Sanz, 2016).

Central eléctrica.

Es una instalación que transforma energía potencial en trabajo, por medio de máquinas denominadas generadores eléctricos, llamados igualmente alternadores, por ser alterna la corriente producida. Son accionados por máquinas motrices conocidas como generadores las cuales giran como resultado de la adecuada aplicación, sobre los mismos en las distintas formas de la energía presentes en la naturaleza (Suarez, 2015).

Tipos de centrales eléctricas.

Surgen en relación con las diferentes materias primas utilizadas para generar energía eléctrica. Según (Suarez, 2015) las centrales de producción se clasifican en:

- Centrales hidráulicas
- Centrales térmicas
- Centrales nucleares
- Centrales mareomotrices y geotérmicas
- Centrales eólicas y solares
- Centrales hidrotérmicas

Central hidroeléctrica.

Es aquella que utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual trasmite la energía a un generador el cual la convierte en energía eléctrica (Sanz, 2016).

Clasificación de las centrales hidroeléctricas

De acuerdo con (Sanz, 2016) las centrales hidroeléctricas se clasifican en:

- Central de agua fluente: se distingue por la utilización del agua que se origina del cauce natural de un río.
- Central de agua embalsada: a esta el agua llega regulada convenientemente desde un río, lago o pantano.

Variables eléctricas.

Las variables eléctricas que son más comunes son el voltaje, la corriente, la potencia y el consumo energético. Las variables eléctricas las empleamos a la hora de ensamblar un circuito eléctrico ya que necesitamos un voltaje, a parte las resistencias, una potencia y una intensidad o corriente eléctrica como se le conoce más comúnmente. Tienen una gran importancia ya que nos permiten cuantificar y medir las cantidades y magnitudes que vayamos a suministrar en nuestro circuito eléctrico (cardenas, 2014).

Fuerza hidráulica.

Es la fuerza que ejerce un cilindro hidráulico al ser presionado por el líquido del circuito. Esta fuerza será la que sea capaz de levantar un peso, abrir una puerta, etc. (Cembranos, 2012).

Mecanismos hidráulicos.

Los cilindros solo tienen recorrido de avance y retroceso en movimiento rectilíneo, es por eso que si queremos otro movimiento deberemos acoplar al cilindro un mecanismo que haga el cambio de movimiento. En un sistema hidráulico el aceite sustituye al aire comprimido que se usa en neumática. Muchas excavadoras, el camión de la basura, los coches, etc. utilizan sistemas hidráulicos para mover mecanismos que están unidos a un cilindro hidráulico movido por aceite.

Al llamarse hidráulica puede pensarse que solo usa agua, cosa que no es así, es más casi nunca se usa agua suele utilizarse con más frecuencia el aceite. En la teoría si se usa aceite debería llamarse Oleo hidráulica. En la práctica cuando hablamos de sistemas por aceite, agua o cualquier fluido líquido usamos la palabra hidráulica (Díaz, 2006).

Bombas.

Es un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva, son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido (Espitia, 2013).

Cálculo tubería de succión.

El diámetro de la tubería de succión se determina tomando el mismo diámetro de la impulsión o un diámetro comercial superior. Para el proyecto se determinó el mismo diámetro, es posible que las pérdidas sean mayores y se presenten problemas de cavitación por lo cual se hace una verificación y de ser necesario se hace el cambio del diámetro anterior, para ello se usan las fórmulas para utilizadas para el cálculo de la tubería de impulsión.

Se debe diseñar esta tubería lo más recta y corta posible, evitando codos, uniones, T horizontales con el fin de minimizar las pérdidas de energía. La velocidad mínima de la tubería de succión es de 0,45 m/s, la velocidad máxima se máxima se limita según el diámetro de la tubería, con el fin de reducir los problemas de cavitación (Espitia, 2013).

Cálculo altura dinámica total de elevación.

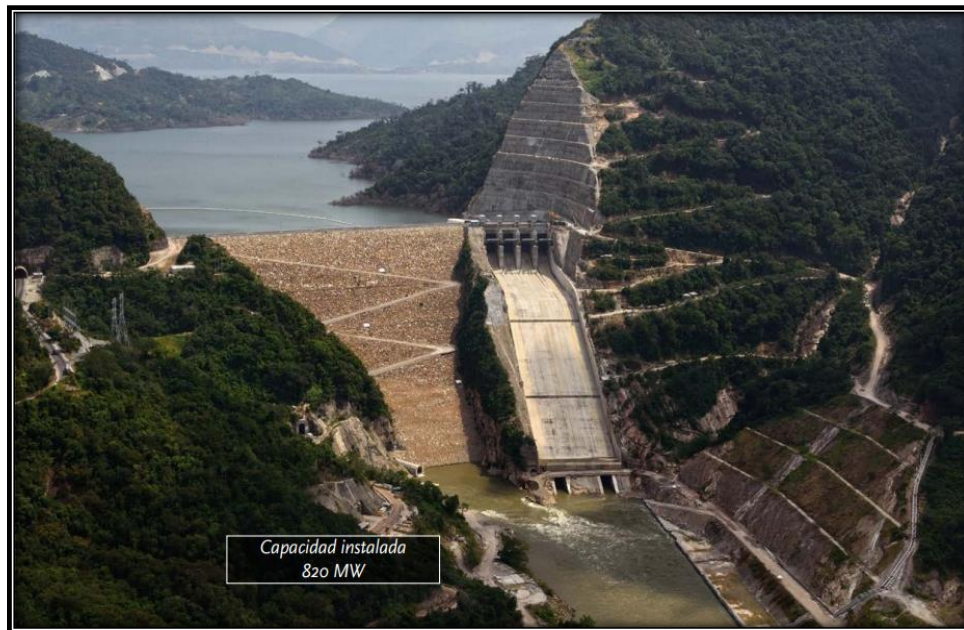
La altura dinámica total de elevación es la sumatoria de la altura estática total, las pérdidas totales en la succión y la impulsión y la altura de la velocidad de descarga. La altura estática de succión es la distancia existente entre el nivel del agua en el pozo húmedo y el eje de la bomba. La altura estática de impulsión es la diferencia entre el nivel de descarga de la bomba y la cota del tanque de almacenamiento (Espitia, 2013).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1.EVALUAR LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA FUERZA HIDRÁULICA A ENERGÍA ELÉCTRICA, TENIENDO EN CUENTA FACTORES TÉCNICOS DE CONSTRUCCIÓN, CAPACIDAD DE POTENCIA GENERADA, CONDICIONES CLIMÁTICAS Y ENERGÍA PRODUCIDA.

Generación de energía

Figura 1. Ubicación geográfica de la central hidroeléctrica Sogamoso



Fuente: Centrales de generación. [sitio web]. Colombia: Central hidroeléctrica Sogamoso. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/nuestro-negocio/generamos-energia/caracteristicas-tecnicas-central-sogamoso.pdf>

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, está localizado en la zona nororiental de Colombia, en el Departamento de Santander y desde febrero de 2009, se encuentra en etapa de construcción, Figura 1. El conjunto de obras que conforman el proyecto, está ubicado en el cañón donde el río Sogamoso cruza la serranía de La Paz; 62 km después de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha y 75 km antes de

su desembocadura en el río Magdalena. La presa y el embalse se localizan en jurisdicción de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, San Vicente de Chucurí. Los Santos y Lebrija, que, junto con los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de torres, ubicados aguas abajo del sitio de la presa, conforman el área de influencia del Proyecto (ISAGEN, 2018).

El proceso de generación que tiene lugar en la central subterránea, consiste en la conversión de energía mecánica en energía eléctrica y se logra en forma controlada por medio de la utilización de una serie de dispositivos cuya parte central es la turbina y el generador (ISAGEN, 2018).

Figura 2. Esquema de las unidades de generación



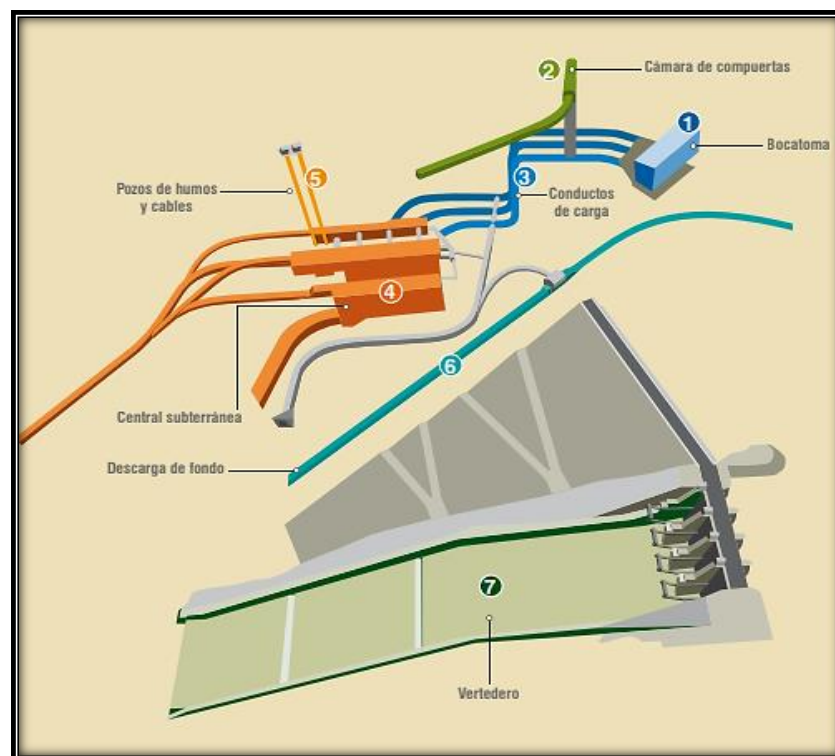
Fuente: Métodos matemáticos y técnicas de análisis. [sitio web]. Colombia: Imágenes digitalizadas adaptadas [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151293.pdf>

La turbina de tipo Francis de eje vertical, está conformado por varios componentes destacándose la cámara en espiral en forma de caracol, cuya función es llevar el agua a presión uniforme alrededor del distribuidor, en donde está ubicada la válvula cilíndrica que permite el cierre del paso del agua hacia la máquina, Figura 2. Los alabes móviles y su sistema oleo hidráulico de operación, el regulador de velocidad,

el rodete de la turbina, el cual gira con un eje vertical que estará acoplado al eje inferior del generador y el blindaje del tubo de aspiración, que lleva el agua a la caverna de oscilación (ISAGEN, 2018).

Isagen (2018), establece que una vez terminado el proceso de generación de energía, ubicado en la parte superior del mismo eje vertical de la turbina se encuentra el generador, el cual posee varios componentes como el rotor el sistema de excitación y el estator compuesto por un conjunto de bobinas montadas sobre un núcleo metálico que generan un campo magnético donde se induce la energía eléctrica

Figura 3. Puntos principales de generación



Fuente: Centrales de generación. [sitio web]. Colombia: Central hidroeléctrica Sogamoso. [Consulta: 13 agosto2018]. Disponible en: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/nuestro-negocio/generamos-energia/caracteristicas-tecnicas-central-sogamoso.pdf>

El sistema de desvío, conformado por dos túneles que permiten tener disponible la zona del cauce del río donde se construye la presa; el vertedero para control de crecientes durante la operación; la bocatoma que es la estructura a través de la cual se toma el agua del embalse; el sistema de carga, conformado por tres conductos y un sistema de compuertas (Torres, 2012).

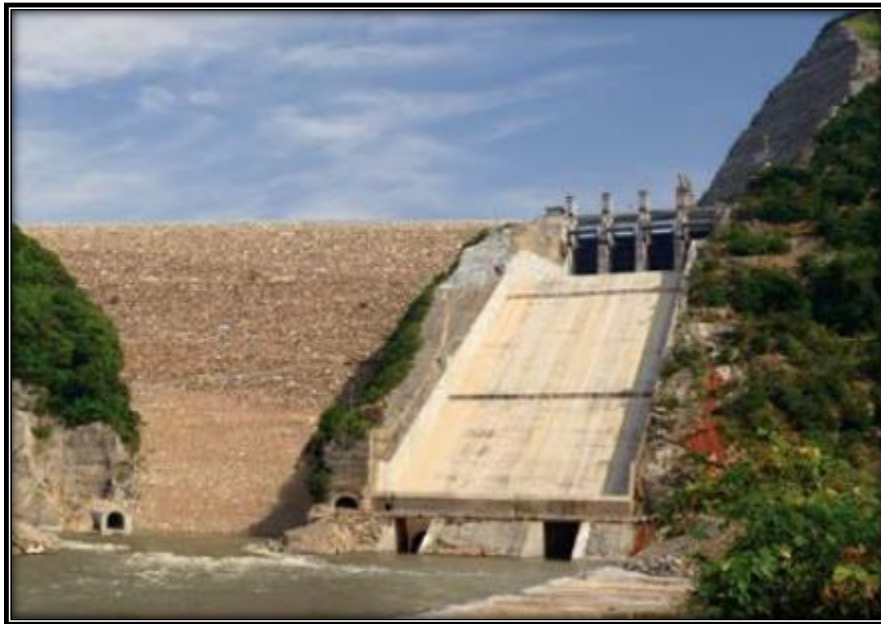
La central subterránea y sus túneles de acceso, conformada por las cavernas de transformadores, máquinas y oscilación; el túnel de descarga, que devuelve las aguas al Río Sogamoso después de su utilización en la generación de energía; un sistema de descarga de fondo, que sirve para garantizar el caudal ecológico aguas abajo de la presa durante el llenado del embalse y las tres unidades de generación con todos los equipos eléctricos y mecánicos que permiten la operación de la central y la generación de la energía eléctrica, Figura 3.

Torres (2012) señala que el proceso de generación de energía tiene lugar cuando el agua almacenada en el embalse, después de entrar por la captación y recorrer los conductos de carga, llega a las tres unidades de generación ubicadas a 155 de profundidad en la caverna de máquinas; es allí, donde utilizando la fuerza del agua, se produce la energía eléctrica, que luego de pasar por los transformadores de potencia ubicados en una caverna independiente, sale a la superficie por medio de un pozo vertical denominado pozo de cables, para entregarla a unas líneas que la lleven a la subestación de conexión. Una vez el agua se ha utilizado para el proceso de generación de energía, pasa a la caverna de oscilación y de allí es devuelta en su totalidad al río Sogamoso.

La presa está constituida por túneles, que permiten el paso de las crecientes, devuelven el agua al río inmediatamente aguas abajo de la zona de los trabajos, conservando sus caudales naturales. La presa, del tipo de gravas con cara de concreto, tiene 190 metros de altura, 345 metros de ancho en su parte más alta y

una longitud de pata, medida en forma paralela al cauce del río, de casi 500 metros. El volumen de los rellenos de la presa es de 8,5 millones de metros cúbicos (Torres, 2012). A partir del momento del cierre del sistema de desvío, el embalse tarda 3 meses en llenarse y llegar hasta su nivel de operación.

Figura 4. Vista en perspectiva finalizado el embalse de la hidroeléctrica



Fuente: Métodos matemáticos y técnicas de análisis. [sitio web]. Colombia: Imágenes digitalizadas adaptadas [Consulta: 13 agosto2018]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151293.pdf>

El agua almacenada en el embalse, llega a los equipos de generación alojados en la central subterránea a través del sistema de carga, conformado por una bocatoma ubicada a 90 metros de altura sobre el lecho del río. Consiste en una estructura de concreto Con una reja de aproximadamente 110 metros de longitud y 25 metros de altura, Figura 4. “Posteriormente, el agua pasa a través de tres conductos de carga, que poseen un tramo horizontal superior de 130 metros, un pozo de 95 metros y un tramo horizontal inferior de 180 metros” (ISAGEN, 2018, pág. 6).

Para controlar la entrada del agua al sistema de carga, se ubicó en su tramo superior de un sistema de compuertas, que permiten su cierre para labores de inspección o mantenimiento. Estas se operan a través de tres pozos de 83 metros desde una cámara subterránea que tiene 67 metros de longitud, 12 metros de ancho y 16 metros de altura (Torres, 2012).

Después de recorrer los conductos de carga, el agua llega a las unidades de generación alojadas en la central subterránea. La central subterránea, está constituida por tres cavernas: transformadores, máquinas, y oscilación. La caverna de máquinas, tiene 142 metros de longitud, 24 metros de ancho y 49 metros de altura. En ella se alojan tres grupos de turbinas y generadores y el edificio de control (Torres, 2012).

Figura 5. Turbinas tipo Francis de eje vertical



Fuente: Centrales de generación. [sitio web]. Colombia: Central hidroeléctrica Sogamoso. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/nuestro-negocio/generamos-energia/caracteristicas-tecnicas-central-sogamoso.pdf>

Arias, Duque, Meneses y Ramírez (2016), establece que la central contiene una estructura en concreto de 8 niveles, destacándose el nivel inferior llamado piso de

bombas, los niveles en los que se encuentran los equipos de generación, llamados piso de turbinas y piso de equipos electromecánicos y el nivel principal al que se llega cuando se accede a la central, en el cual se encuentra el área de montaje y el edificio de control, Figura 5. La caverna de transformadores tiene 119 metros de longitud, 14 metros de ancho y 16 metros de altura. Aloja de manera independiente los transformadores de potencia de 324 Mega Voltio Amperios.

Cuenta además con un pozo de evacuación de humos de 3,8 metros de diámetro. y de 120 metros de altura y finalmente se encuentra la caverna de oscilación, que tiene 100 metros de longitud, 20 metros de ancho y 43 metros de altura, en donde se recogen las aguas después de haber impulsado las turbinas para permitir el proceso de generación de energía (Arias, Duque, Meneses, & Ramírez, 2016).

El proceso de generación que tiene lugar en la central subterránea Consiste en la conversión de energía mecánica En energía eléctrica y se logra en forma controlada por medio de la utilización de una serie de dispositivos cuya parte central es el conjunto de la turbina y el generador (Arias, Duque, Meneses, & Ramírez, 2016). La turbina de tipo Francis de eje vertical está conformada por varios componentes destacándose la cámara espiral en forma de caracol cuya función es llevar el agua a presión uniforme al rededor del distribuidor en donde está ubicada la válvula cilíndrica que permite el cierre del paso del agua hacia la máquina.

3.2. IDENTIFICAR EL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS EN LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL ELÉCTRICA.

Para la identificación de las variables que rigen la turbina en la generación de energía se tuvo en cuenta información contenida en los informes realizados por las empresas encargadas de la construcción de la hidroeléctrica Sogamoso.

Tabla 1. Características técnicas de la Turbina tipo Francis de eje vertical de cabeza nominal

Características técnicas Turbina	
Presión de entrada	13 – 17 bares
Presión de salida	4.5 bares
Caudal	210 m^3/s
Eficiencia	93%
Energía	274 MW
Tipo turbina	Francis
Velocidad de giro	163.64

Fuente: Métodos matemáticos y técnicas de análisis. [sitio web]. Colombia: Imágenes digitalizadas adaptadas [Consulta: 13 agosto2018]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151293.pdf>

En la tabla número 1 se ilustra los datos de la turbina que se encuentran en la hidroeléctrica Sogamoso, son tres turbinas tipo Francis de eje vertical la cual realiza un trabajo mecánico gracias a la fuerza hidráulica de la presa que direcciona un caudal de 210 metros por segundo, teniendo una velocidad de 163.63 revoluciones por minuto generando así una energía de 274 MW, con una eficiencia del 93 por ciento. Estos valores son los cuales se utilizan para la simulación de la turbina para conocer las diferencias entre la construcción y la simulación.

Tabla 2. Características técnicas del generador

Características técnicas del generador	
Polos Saliente	44
Diámetro rodete	4.5 m
Síncrono	3 fases
Voltaje	16.5 KV
Energía	324 MVA
Factor de Potencia	0.9
Velocidad de giro	163.64
Tipo turbina	Francis

Fuente: Métodos matemáticos y técnicas de análisis. [sitio web]. Colombia: Imágenes digitalizadas adaptadas [Consulta: 13 agosto2018]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151293.pdf>

Arias, Duque, Meneses y Ramírez (2016), señalan que los álabes móviles y su sistema oleo hidráulico de operación, el regulador de velocidad el rodete de la turbina el cual gira con un eje vertical que estará acoplado al eje inferior del generador - y el blindaje del tubo de aspiración que lleva el agua a la caverna de oscilación una vez terminado el proceso de generación de energía - Ubicado en la misma parte superior del mismo eje vertical de la turbina encontramos el generador el cual pose varios componentes como el rotor, el sistema de excitación y el estator compuesto por un conjunto de bobinas montadas sobre un núcleo metálico que generan un campo magnético donde se induce la energía eléctrica - Después de generar la energía, el agua es devuelta en su totalidad al Río Sogamoso en un sitio ubicado inmediatamente después de la presa por un túnel de descarga que tiene 223 metros de longitud, 17 metros de altura y 14 metros de ancho.

3.3.DESARROLLAR LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA ASPEN HYSYS.

El desarrollo de la simulación de energía se establecen los criterios de identificación en el conocimiento del programa, que permitió estructurar el paso a paso para realizar una hoja de trabajo nueva, el software hysys es un entorno el cual es utilizado, en lo procesos de la industria, es así como es seleccionado para la simulación de una turbina capaz de generar energía eléctrica.

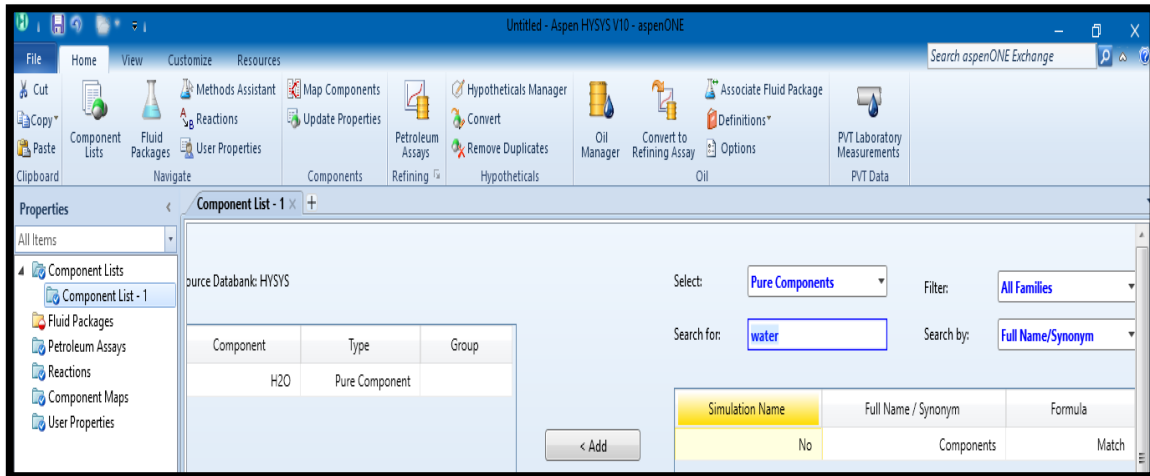
Figura 6. Abrir un nuevo caso



Fuente: Autor

Se inicia con la apertura del software aspen hysys en el cual se realiza una serie de pasos para la interacción con el programa, se selecciona en carpeta nuevo y luego se oprime caso como se ilustra en la Figura 6.

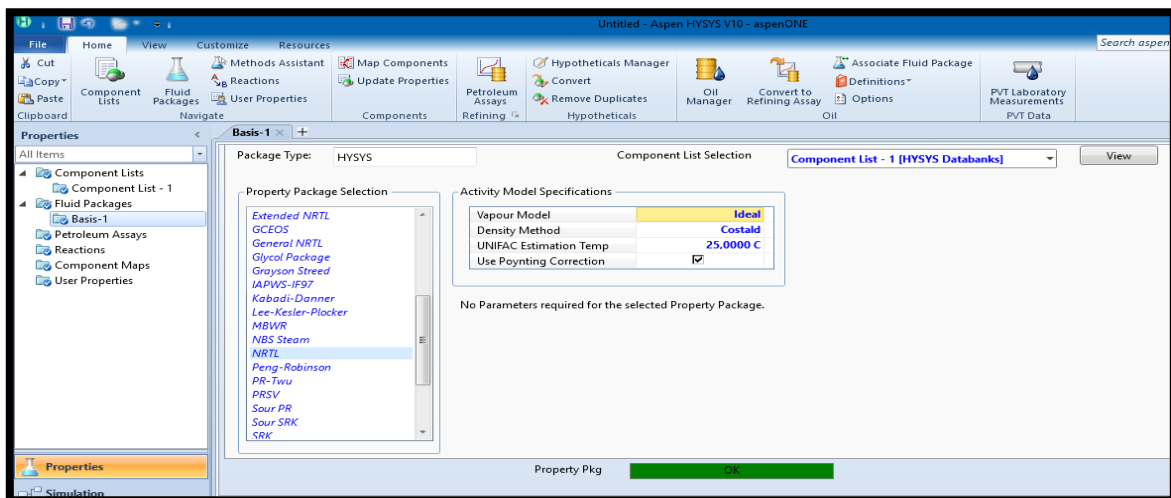
Figura 7. Selección de componentes.



Fuente: Autor

En la Figura número 7 se puede visualizar la lista de componentes, esto se realiza con el objetivo de agregar cada mecanismo que se necesite para el desarrollo del programa, se busca en la lista y se agrega con el botón “Add” el cual quiere decir añadir, en este caso se escoge el agua, que se utiliza para la simulación de flujo que se inyecta a las turbinas.

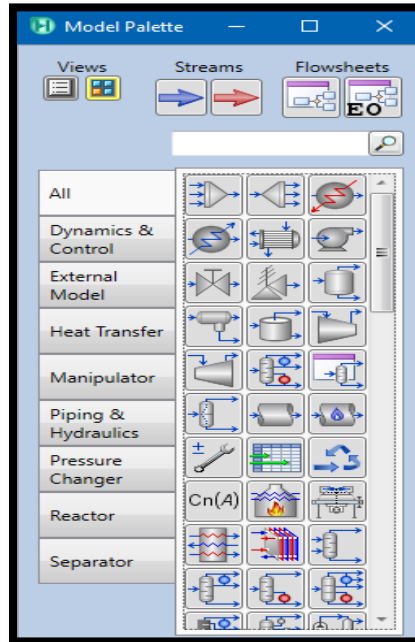
Figura 8. Selección de paquete termodinámico



Fuente: Autor

En este punto se oprime el “botón fluid Packages” el cual significa el paquete de fluidos. En el entorno de programación hysys se encuentra 30 paquetes termodinámicos y cada uno tiene sus aplicaciones, para este caso se seleccionó el paquete termodinámico NRTL, ya que es el indicado para trabajar con agua.

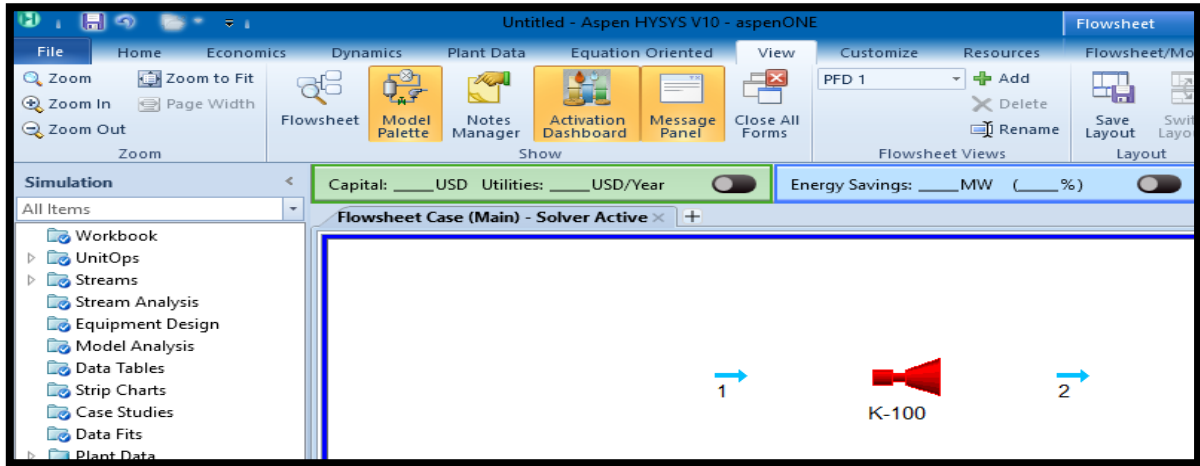
Figura 9. Modelo de paletas



Fuente: Autor

El modelo paleta evidenciado en la Figura 9 se establece por varias aplicaciones en donde se distingue una serie de objetos, en los cuales se pueden instalar las corrientes, equipos y demás operaciones lógicas requeridas. De igual forma aparece una ventana interior (PFD) donde aparecen una serie de iconos que sirven para conexiones de corrientes de equipos y ajustes de tamaño principalmente.

Figura 10. Selección de equipos y líneas de corriente



Fuente: Autor

Cuando el listado de componentes y el paquete termodinámico se encuentran instalados se procesa a ir a la solapa simulación para el inicio de la selección de los objetos a utilizar, aquí se puede identificar en la Figura 10 que se escogió una turbina y dos líneas de corriente para el ingreso de los datos correspondientes.

Figura 11. Ingreso de variables

Material Stream: 1			Material Stream: 2		
Worksheet	Attachments	Dynamics	Worksheet	Attachments	Dynamics
Worksheet	Stream Name	1	Worksheet	Stream Name	2
Conditions	Vapour / Phase Fraction	<empty>	Conditions	Vapour / Phase Fraction	<empty>
Properties	Temperature [C]	<empty>	Properties	Temperature [C]	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	<empty>	Composition	Pressure [kPa]	<empty>
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	<empty>	Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	<empty>
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	<empty>	Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	<empty>
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	<empty>	K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	<empty>
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	<empty>	User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	<empty>
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	<empty>	Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	<empty>
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	<empty>	Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	<empty>
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	<empty>	Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	<empty>
	Fluid Package	Basis-1		Fluid Package	Basis-1

Fuente: Autor

Para el ingreso de las variables se tuvieron en cuenta el desarrollo de los dos primeros objetivos, los cuales fueron encargados de direccionar la simulación del proyecto.

Variables como caudal, presión, temperatura y la composición del componente, los valores a utilizar son: 210 m³/s, 25 °C, y composición de una unidad, como se ilustra en la Figura.

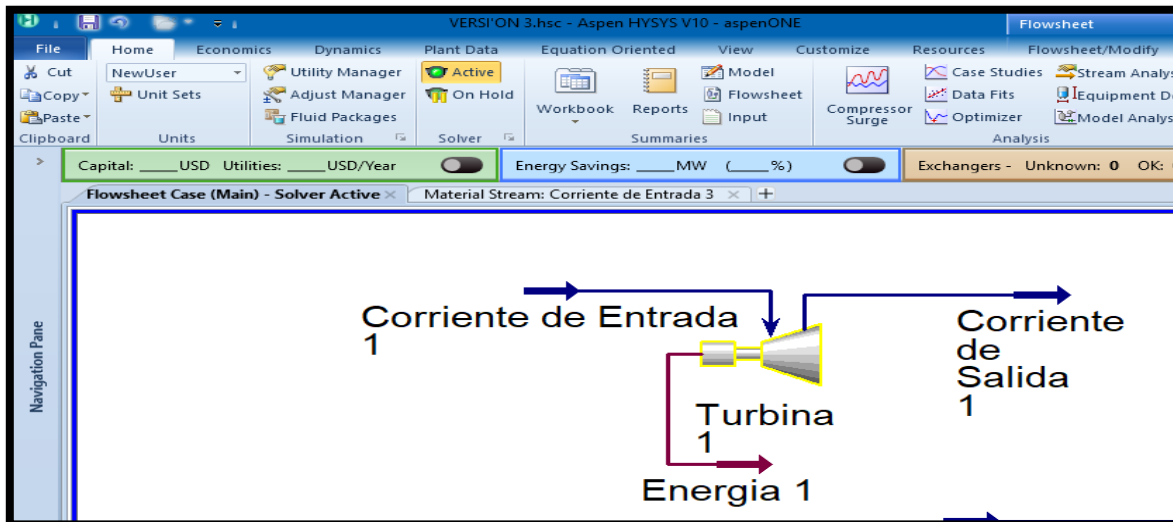
Figura 12. Descripción de los componentes

Stream Name	1	Aqueous Phase
Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Temperature [C]	25,00	25,00
Pressure [kPa]	1723	1723
Molar Flow [kgmole/h]	4,188e+007	4,188e+007
Mass Flow [kg/h]	7,545e+008	7,545e+008
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	7,560e+005	7,560e+005
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,849e+005	-2,849e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	6,551	6,551
Heat Flow [kJ/h]	-1,193e+013	-1,193e+013
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	7,435e+005	7,435e+005
Fluid Package	Basis-1	
Utility Type		

Fuente: Autor

En la Figura 12 se puede observar los resultados que el software deriva de la simulación de las turbinas. Se establecen condiciones como temperatura, presión, flujo másico, flujo molas, entre otras propiedades y composición de los componentes.

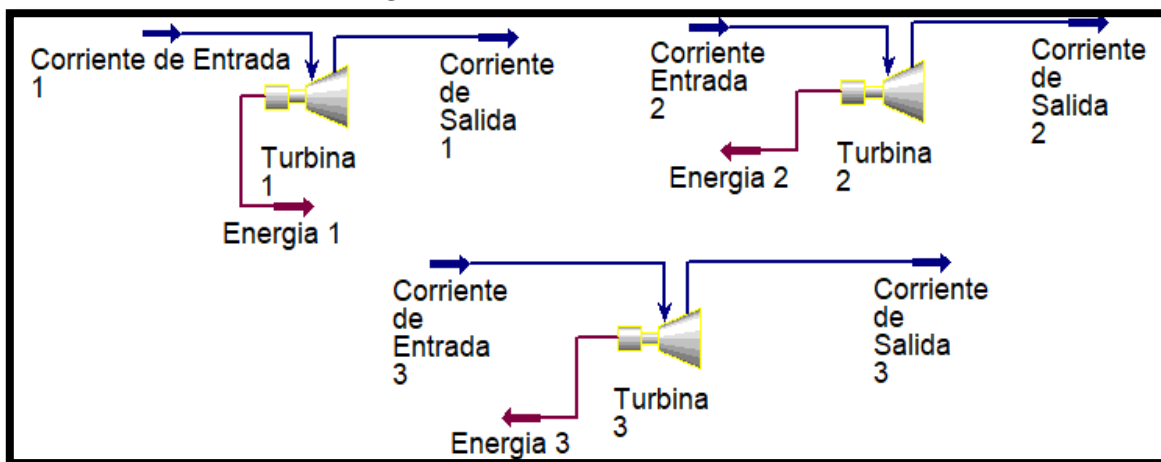
Figura 13. Turbina 1.



Fuente: Autor

Las corrientes de entrada y de salida que se observan en la Figura 14 son las condiciones de las variables que insertan de la turbina, la energía es la identificación De la cantidad de megavatios generados en la simulación.

Figura 14. Simulación de turbinas



Fuente: Autor

La Figura 14, se ilustra las tres turbinas que son parte de la simulación haciendo referencia a la hidroeléctrica Sogamoso cada una tiene la capacidad de generar 273 megavatios.

Se entrega la simulación como parte del objetivo planteado en el entorno de simulación hysys para modelar y estudiar el comportamiento energético de una turbina

4. RESULTADOS

En la presente investigación, se analizan los procesos de generación de energía en la hidroeléctrica de Sogamoso utilizando la herramienta de simulación ASPEN HYSYS. El diseño permitió la veracidad y confirmación de la implementación de la turbina tipo Francis, el nivel de eficiencia a la hora de generar energía resulte viable desde el punto de vista energético, económico para su implementación.

Los procesos de transformación de la fuerza hidráulica a energía eléctrica, han sido de enorme ayuda en cuento a los factores técnicos de construcción, capacidad de potencia generada, condiciones climáticas y energía producida en el área electromecánica, llevando el análisis al estudiantado a un espacio en el que se experimente minuciosamente e interactúe por medio del diseño de la simulación ASPEN HYSYS desarrollado.

Figura 15. Turbina 1

Turbina 1		
Feed Pressure	1723	kPa
Product Pressure	456,1	kPa
Molar Flow	4,188e+007	kgmole/h
Energy	8,917e+008	kJ/h

Fuente: Autor

En la Figura 15, se denota la información del resultado de la simulación de la turbina En donde se visualiza la caída de presión que se genera desde que entra el agua a la turbina y luego de que sale hay un diferencial 1266.9 k Pa, con una energía hidráulica de $8.917 \cdot 10^8$ KJ/h

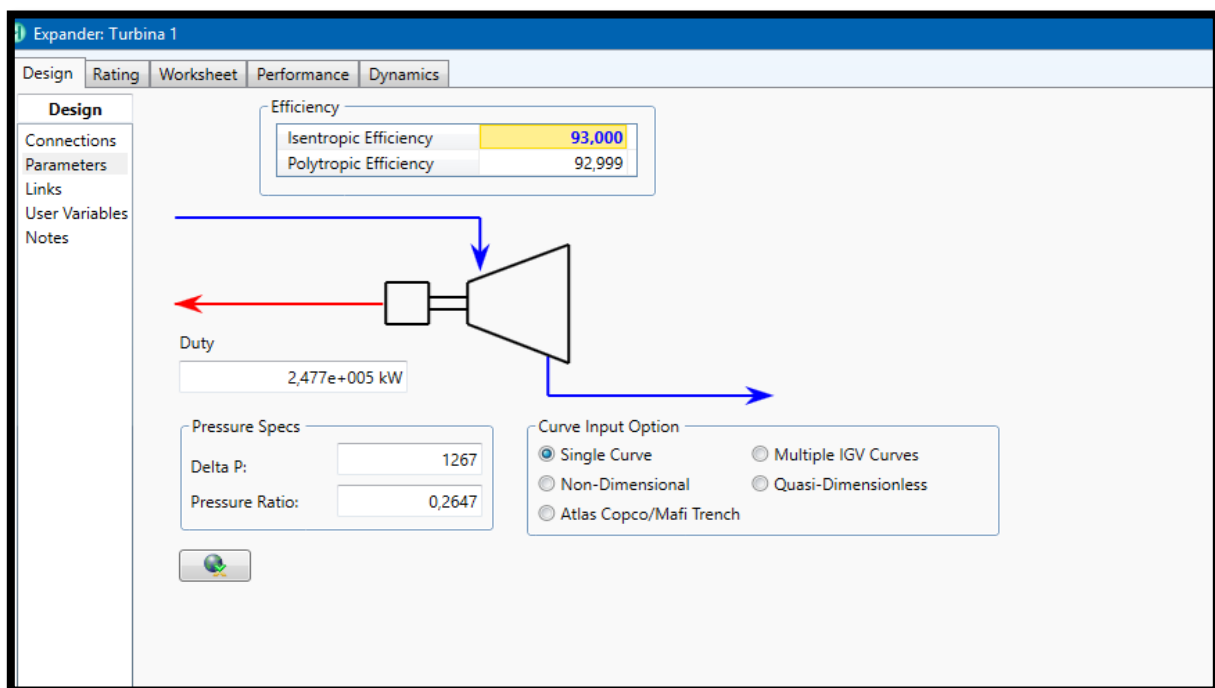
Figura 16. Corriente de materia

		Corriente de Entrada 3	Corriente de Salida 3	Corriente de Entrada 1	Corriente de Salida 1	Corriente Entrada 2	Corriente de Salida 2
Vapour Fraction		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature	C	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Pressure	kPa	1723	456,1	1723	456,1	1723	456,1
Molar Flow	kgmole/h	4,188e+007	4,188e+007	4,188e+007	4,188e+007	4,188e+007	4,188e+007
Mass Flow	kg/h	7,545e+008	7,545e+008	7,545e+008	7,545e+008	7,545e+008	7,545e+008
Liquid Volume Flow	m3/h	7,560e+005	7,560e+005	7,560e+005	7,560e+005	7,560e+005	7,560e+005
Heat Flow	kJ/h	-1,193e+013	-1,193e+013	-1,193e+013	-1,193e+013	-1,193e+013	-1,193e+013

Fuente: Autor

La corriente de materia se divide en cada corriente entre entradas y salidas a la turbina arrojando los valores de cada variable. En este punto se puede observar el funcionamiento de la simulación y el aprendizaje en este software

Figura 17. Solapa de visualización de la turbina



Fuente: Autor

Por otra parte, la presente investigación funciona como un impulso para futuras investigaciones en el área de energías alternativas, con base a la obtención del libro final, proyectándose en mostrar de forma pedagogía el estudio de teorías y conceptos impartidos por las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja.

Tabla 3. Cuadro Comparativo

Características técnicas			
Variable	Datos de Operación	Datos de simulación	Descripción
Presión de entrada	1722.9 KPa	1723 KPa	ingresado
Presión de salida	456.08 kPa	456.1 kPa	ingresado
Caudal	756.000 m^3/h	756.000 m^3/h	ingresado
Eficiencia	93%	93%	ingresado
Energía	274 MW	247.7 MW	calculado

Fuente: Autor

Uno de los resultados importantes, es poder evidenciar la tabla comparativa entre los datos de operación y de simulación en el cual se observa que entre ellos hay un porcentaje de error del 10 por ciento, generando una energía de 274 MV en la operación y 247.7 en la simulación, teniendo en cuenta que los valores de entrada son tomados por artículos de construcción y no de un proceso de operación detallado es un resultado satisfactorio en la realización del proyecto.

5. CONCLUSIONES

La evaluación como proceso que determina en qué medida se ha logrado los objetivos que se establecieron, permite contrastar como los procesos que transforman las fuerzas de la caída de agua con otros procesos productivos de generación de energía eléctrica, lo cual se ve reflejado en la potencia que genera la planta. Esta misma evaluación permitió la descripción específica de la turbina de tipo Francis de eje vertical, la cual es objeto de estudio principal por la importancia que tiene en el proceso analizado cuya conformación está determinada por varios componentes destacándose la cámara espiral, además se caracteriza las alturas de caída que resulta ser intermedia (entre 200 y 800 pies), característica propia que aumenta el rendimiento de la turbina.

Se logró la identificación del comportamiento estacionario de las variables físicas, mecánicas y eléctricas, entre las cuales se destacan Presión de entrada, Presión de salida, Caudal, Eficiencia, entre otras, las cuales son el insumo de entrada para la parametrización de la simulación en Aspen HYSYS.

Los estudiantes lograron la utilización del software Aspen HYSYS con el criterio propio de la investigación, analizando los datos que arroja el programa y comparando la eficiencia de la turbina teniendo como resultado el error de la medida simulada por un 10 por ciento con respecto a datos como la eficiencia de turbina generación de energía de 274 MW en la operación y 247.7 en la simulación, sin embargo, se debe tener en cuenta que los valores de entrada son tomados por artículos de revisión bibliográfica de fuentes secundarias y minería de datos y no de un proceso de operación detallado.

6. RECOMENDACIONES

Se recomiendan realizar estudios para la recolección de datos que permitan conocer la cantidad de fuentes hídricas, teniendo en cuenta el análisis de parámetros como caída de agua, caudal, presión, velocidad, entre otros, en donde se puedan instalar prototipos como la turbina de Francis de mayor estructura y así generar suministro de energía a zonas alejadas donde la energía eléctrica es limitada o de elevado valor.

A partir del presente proyecto se incentiva a los estudiantes a realizar otros tipos de prototipos de generación de energía eléctrica como lo es la turbina de Francis, las turbinas de hélice, fomentar el uso de los recursos naturales para la generación de energía renovable de manera que no se genere ningún tipo de impacto ambiental negativo.

Se recomienda la utilización de Aspen HYSYS como software de simulación de procesos de producción, debido a que presenta características amigables con el investigador como su interfaz gráfica, las herramientas y elementos de simulación, los entornos de resultados y la práctica forma de permitir exportar los resultados a otros formatos más conocidos como Microsoft office.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bello, S., & Beltran, R. (2010). Caracterización y pronóstico del precio de la energía eléctrica en Colombia. Bogotá.

Betancourt, M. (2007). Diseño de un módulo interactivo de generación hidráulica de energía eléctrica. Pereira.

Cardenas, A. (2014). Variables Eléctricas .

Castro, N. (2014). Diseño y simulación de un proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas para la generación simultánea de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbianas. Cartagena.

Cembranos, J. (2012). Automatismo eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Correa, L. (2012). Generación de energía hidroeléctrica en canales de riego. Santiago de Chile.

Crane. (1987). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill.

Criollo, X., & Quezada, C. (2011). Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca. Cuenca.

Cuadros, L., & Ortega, D. (2012). DERIVEX; "una herramienta para contratar la energía de consumo industrial".

Daza, A. (2017). Evolución de la generación hidroeléctrica. Obtenido de Evolución de la generación hidroeléctrica: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica>

Díaz, J. (2006). Mecánica de los fluidos e hidráulica. Cali.

Dominguez, U. (2012). Máquinas hidráulicas. España: Club Universitario.

Duarte, C., & Niño, J. (2004). Introducción a la mecánica de fluidos. Bogota: Unidad Academica.

ECURED. (2015). Bombas Hidráulicas . ECURED.

Espitia, S. (2013). Diseño de un pequeña central hidrielectrica a escala laboratorio utilizando aguas lluvias. Bogota.

Garcia, C. (2003). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Bogota: Mc Graw Hill.

Gonzalez, J. (2002). Fundamentos de mecánica de fluidos. Barcelona: Club Universitario.

Hernandez, C. (2011). Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de colombia. Bogota.

Martinez, O., & Porras, R. (2015). Simulación de sistemas de control en procesos del sector oil y gas a través del software aspen hysys. Bogota.

Ministerio de minas y energía. (2014). Integración de las energías renovables. Bogota: sd.

Munson, Y. (2003). Fundamentos de mecanica de fluidos. México: Limusa.

Norma Tecnica Ambiental. (2005). Puertos. Bogota: Ministerio de proteccion social.

Palacio, C. (2015). Procesos en el desarrollo de proyectos de generación hidroeléctrica. Medellin .

Rojas, J. P., & Arteaga, W. (2014). Diseño de una micro central hidroelectrica para el analisis del costo final de la energia electrica para un centro poblado . Nuevo Chimbote, Perú .

Sanz, J. (2016). Energias renovables, energia hidroeléctrica.

Semana. (2015). Se encendio el bombillo. Semana.

Suarez, W. (2015). Diseño pico central hidroelectrica para vivienda rural . Bogota.

8. ANEXOS

Anexo 1. Turbina 2

Turbina 2		
Feed Pressure	1723	kPa
Product Pressure	456,1	kPa
Molar Flow	4,188e+007	kgmole/h
Energy	8,917e+008	kJ/h

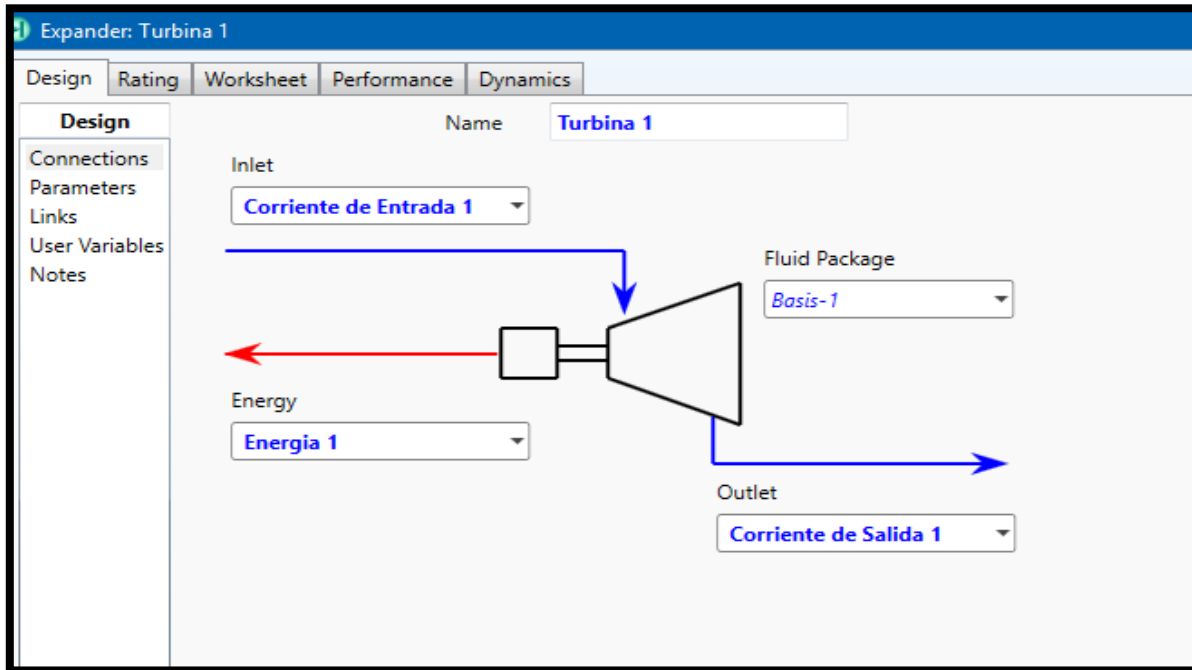
Fuente: Autor

Anexo 2. Turbina 3

Turbina 3		
Feed Pressure	1723	kPa
Product Pressure	456,1	kPa
Molar Flow	4,188e+007	kgmole/h
Energy	8,917e+008	kJ/h

Fuente: Autor

Anexo 3. Figura de la turbina 1.



Fuente: Autor

Anexo 4. Resultados de la simulación

Expander: Turbina 1				
Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions	Name	Corriente de Entr	Corriente de Sali	Energia 1
Properties	Vapour	0,0000	0,0000	<empty>
Composition	Temperature [C]	25,00	25,00	<empty>
PF Specs	Pressure [kPa]	1723	456,1	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	4,188e+007	4,188e+007	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	7,545e+008	7,545e+008	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	7,560e+005	7,560e+005	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,849e+005	-2,849e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	6,551	6,557	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-1,193e+013	-1,193e+013	8,917e+008

Fuente: Autor