



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**MODELO VIRTUAL DE UNA MICRO TURBINA HIDRÁULICA EN UNA RED DE
ACUEDUCTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**MARÍA JOSÉ OSPINA MENDOZA
JUAN SEBASTIAN AYALA ALMECIGA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
Mayo 2020**

**MODELO VIRTUAL DE UNA MICRO TURBINA HIDRÁULICA EN UNA RED DE
ACUEDUCTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
PROPUESTA TRABAJO DE GRADO**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL

**MARÍA JOSÉ OSPINA MENDOZA
JUAN SEBASTIAN AYALA ALMECIGA**

**DOCENTE ASESOR
HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO
MSC. INGENIERO CIVIL
COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
Mayo 2020**



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida por darme el privilegio de vivirla, permitirme rodear de grandes seres humanos y profesionales. Mi profunda gratitud a toda mi familia por todos los esfuerzos sumados y llegar al final de mis estudios de pregrado, también le agradezco al Ingeniero Daniel Andrés López Sabogal y al Ingeniero Johan Álvarez Montoya por toda su paciencia, tiempo y dedicación para culminar este proceso.

Mi amor por el baloncesto y la ingeniería civil fue la combinación perfecta para obtener grandes logros y formarme como una gran persona y profesional. Todo encaminado hacia una vida más completa, equilibrada y feliz.

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y una familia tan hermosa, este trabajo lo dedico con amor a mi familia por su apoyo e incondicionalidad para conmigo, a mis padres por darme la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera y por creer en mí, mi hermano por el apoyo que me brindo durante el desarrollo de este trabajo y al resto de mi familia que son un soporte para mi vida.

A mi profesor el Ing. Daniel Andrés López por su dedicación y paciencia, y por la enseñanza tan grande que deja en nosotros como profesionales y como personas, a mis compañeros por tener paciencia y entender el sacrificio que requiere este trabajo, a todos ellos por estar de mi lado apoyándome, gracias.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.	13
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 GENERAL	18
4.2 ESPECÍFICOS	18
5. ESTADO DEL ARTE	19
5.1 REPORTE DE ENERGÍA OBTENIDA EN COLOMBIA SEGÚN REGIÓN HIDROLÓGICA	20
5.2 INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE TURBINAS HIDRÁULICAS	23
6. MARCO DE REFERENCIA	32
6.1 MARCO TEÓRICO.	
6.1.1 TEORÍA TURBINAS	32
6.1.2 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS	34
6.1.3 ESTADOS DEL FLUJO	36
6.1.4 PERDIDAS DE CARGA	39
6.1.5 GENERALIDADES DISEÑO RED ACUEDUCTO	45
6.1.6 POTENCIA ENERGÍA ELÉCTRICA FAMILIA COLOMBIANA	47
6.1.7 LUCID ENERGY	47

6.1.8 TEORIA NAVIER – STOKES	54
6.2 MARCO CONCEPTUAL	
7. ALCANCES Y LIMITACIONES	58
7.2 ALCANCES	58
7.3 LIMITACIONES	58
8. METODOLOGÍA	61
9. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO VIRTUAL DE LA MICRO TURBINA HIDRÁULICA EN SOLIDWORKS	62
9.1 DISEÑO VIRTUAL EN SOLIDWORKS DE LA MICRO TURBINA	62
9.1.1 PASO A PASO CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	64
9.1.2 IMPRESIÓN EN 3D	67
9.1.3 MATERIAL DE LA TURBINA FÍSICA	70
9.2 DISEÑO VIRTUAL EN SOLIDWORKS DE UNA SECCIÓN DE RED	71
9.2.1 PASO A PASO CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	71
10. CÁLCULO	77
10.1 PERDIDAS LINEALES	79
10.2 PERDIDAS MENORES	80
11. SIMULACIÓN DE LA TURBINA EN SOLIDWORKS	82
12. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE ANSYS FLUENT	86
13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
14. CONCLUSIONES	101
15. RECOMENDACIONES	103
16. BIBLIOGRAFÍA	104

Tabla de Gráficas

<i>Gráfica 1 Participación en energías 2016-2018</i>	20
Gráfica 2 Volumen útil de energía por región hidrológica	21
Gráfica 3 Aportes mensuales Ríos Energía GWh	22
Gráfica 4 Capacidad efectiva de generación por tipo de combustible	22
Gráfica 5 Turbina esférica a base de elevación	25
Gráfica 6 Montaje de turbina en la tubería de la región de rotación	26
Gráfica 7 Instalación de la turbina en tubería	27
Gráfica 8 Turbina Savonius	29
Gráfica 9 Variación de Índices del flujo de la turbina	30
Gráfica 10 Cantidad de descarga a través de la turbina	31
Gráfica 11 Tipos de ruedas hidráulicas	33
Gráfica 12 Tipos de flujo	37
Gráfica 13 Sistema de energía LucidPipe	48
Gráfica 14 Rendimiento LucidPipe	50
Gráfica 15 16 Descripción general del sistema	51
Gráfica 16 Partes generales del equipo de bóveda	52
Gráfica 17 Instalación LucidPipe en Portland, Oregón	52
Gráfica 18 Instalación LucidPipe en Riverside, California	53
Gráfica 19 Diagrama mapa conceptual	55
Gráfica 20 Diagrama mapa conceptual 2	56
Gráfica 21 Diagrama mapa conceptual 3	57
Gráfica 22 Diagrama metodológico	61
Gráfica 23 Vista en alzado y planta de la turbina en SolidWorks	63
Gráfica 24 Vista Dimétrica de la turbina en SolidWorks	63
Gráfica 25 Árbol de acciones SolidWorks	64
Gráfica 26 Pieza (Revolución)	65
Gráfica 27 Pieza (Medidas álabes)	65
Gráfica 28 Pieza (Datos Matriz)	66

Gráfica 29	Pieza (6 alabes)	66
Gráfica 30	Pieza (Finalizada)	67
Gráfica 31	Impresora 3D CubePro Duo	68
Gráfica 32	simulación de la posición de la estructura de la pieza	68
Gráfica 33	Proceso impresión 3D	69
Gráfica 34	Impresión finalizada.	69
Gráfica 35	. Vista global sistema.	72
Gráfica 36	Vista frontal sistema.	72
Gráfica 37	Vista en planta sistema.	73
Gráfica 38	Modelación virtual, Velocidad.	74
Gráfica 39	Modelación virtual, presión.	75
Gráfica 40	Reporte generado por software virtual	76
Gráfica 41	Componentes principales (Tubería, eje, turbina)	81
Gráfica 42	Simulación en SolidWorks (Velocidad)	82
Gráfica 43	Simulación SolidWorks (Presión)	82
Gráfica 44	Malla para el análisis estático	83
Gráfica 45	Análisis de los esfuerzos estáticos	84
Gráfica 46	Distribución de fuerzas	84
Gráfica 47	Importar la geometría en Space Claim	86
Gráfica 48	Vista frontal del modelo	86
Gráfica 49	Proceso de mallado	87
Gráfica 50	Malla final vista frontal	87
Gráfica 51	Malla final vista isométrica	88
Gráfica 52	Detalle de la malla	88
Gráfica 53	Body Domain (1)	89
Gráfica 54	Inner domain	89
Gráfica 55	iteraciones para resolver el modelo	90
Gráfica 56	Vista en planta línea de flujo Velocidad 1	91
Gráfica 57	Líneas de flujo velocidad 1	91
Gráfica 58	Vista en alzado línea de flujo 2	92

Gráfica 59 Presión turbina	93
Gráfica 60 Velocidad expresada en vectores	94

Índice de Tablas

Tabla 1 Coeficiente de rugosidad n para Manning	43
Tabla 2 Coeficientes de rugosidad absoluta materiales.	44
Tabla 3 Características del flujo	77
Tabla 4 Potencia transmitida por la bomba.	77
Tabla 5 Características de las tuberías.	78
Tabla 6 . Ecuación Darcy y Colebrook-White	78
Tabla 7 Pérdidas menores en el sistema.	80
Tabla 8 Calculo computacional del Torque	95
Tabla 9 Consumo energético a satisfacer por el modelo	97
Tabla 10 Pérdidas generadas por la turbina	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
G	Aceleración debida a la gravedad
A	Área de la sección transversal
V	Velocidad del flujo
Q	Flujo volumétrico (Caudal)
P	Potencia
H	Eficiencia
P	Densidad
E	Rugosidad de la tubería
D	Diámetro de la tubería
L	Longitud de la tubería
Re	Numero de Reynolds
Le	Longitud equivalente
F	Factor de fricción
K	Coefficiente de Perdidas
Ht	Cabeza de altura o carga
H	Perdidas lineales o por fricción
Hm	Perdidas menores o por accesorios

GLOSARIO

Caudal	Es un volumen de un fluido que pasa por una sección establecida en una unidad de tiempo determinada.
Fluido	Es una sustancia que no resiste los esfuerzos a cortante sin deformarse.
Turbina	Instrumento a través del cual atraviesa un fluido, generando transferencia energética a través del movimiento.
PVC	Cloruro de Polivinilo
Presión	Se define como la fuerza de compresión que se aplica en un área determinada, con superficie sumergida en un fluido.
Watt	Es utilizado para representar potencia eléctrica, y establece la velocidad a la que se transforma la energía eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN.

A medida que pasa el tiempo, los seres humanos cada vez más van dependiendo de los recursos energéticos. Para el hombre de la modernidad, es impensable vivir sin transporte, iluminación, refrigeración, calefacción. Esta dependencia energética ha llegado al punto de transformarse y usarse en exceso.

Se tiene conocimiento que la mayoría de fuentes de producción de energía en el mundo utilizan recursos no renovables, por lo tanto, la sociedad debe buscar soluciones y ponerlas en funcionamiento para así combatir la escasez que se ha generado por la sobrepoblación. Además, existe la carencia de servicios básicos en las poblaciones vulnerables, estas son una de las razones por las cuales se deben crear adelantos significativos en la sociedad, de esta manera aprovechando las energías limpias para generar más proyectos a los cuales todos podamos acceder.

La presente investigación tiene como objetivo mostrar el comportamiento del flujo frente a una micro turbina hidráulica diseñada y adaptada con parámetros específicos para la generación de energía en tuberías. Además, el modelo adapta las condiciones del equipo receptor de aforo de caudal del laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

Esta investigación tiene el mayor interés en obtener energía eléctrica sostenible, de esta manera nace la necesidad de implementar nuevas tecnologías de energía renovable no convencional, que contribuyan con la mitigación de las problemáticas ambientales.

Para el desarrollo del proyecto se realizaron 3 modelos virtuales. En el primero se evidencia la sección de la red de la universidad católica de Colombia determinada para ubicar la turbina, apoyándose en cálculos desarrollados en Excel. Continuando con un modelo en SolidWorks en el cual se realiza una simulación estática. Finalmente se simula el ensamble con el fin de realizar el estudio del comportamiento del flujo por medio del software Ansys Fluent.

Para concluir con el proyecto se presentan cálculos y evidencias de la simulación con las velocidades, presiones, torque generado por la turbina y el cálculo de la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener bajo unos parámetros establecidos y mencionados durante el desarrollo del proyecto.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La disponibilidad de energía eléctrica en el mundo actual es esencial para la sociedad globalizada, apoyada en la economía del mercado. Poco a poco la demanda de dicho recurso energético se va incrementando con el progreso de los países. Por tanto, para satisfacer la demanda de la sociedad, se requiere ejecutar grandes obras las cuales traen consigo consecuencias de gran impacto.

Por lo anterior, surge la necesidad de valorar y crear alternativas de generación de energías sostenibles para aprovechar y optimizar los recursos naturales, conservando el medio ambiente. Es decir, el crecimiento que tiene un país para combatir la pobreza y crear un significativo adelanto social, cultural y económico, requiere de un progreso en la investigación sobre energías limpias.

Los recursos hídricos en Colombia son la principal fuente de energía, debido a la gran cantidad de cuerpos de agua que posee; con ello el país está en la capacidad de producir cerca del 70% de energía eléctrica a partir de hidroeléctricas. Adicionalmente genera un 28% de electricidad a partir de centrales térmicas. Quiere decir esto que apenas en un 2% se encuentra la producción de electricidad a partir de energías no tradicionales (1).

En una escala más pequeña se encuentran las Pico Centrales Hidroeléctricas (PCH). Su instalación permite aprovechar pequeños volúmenes de agua en movimiento, que usualmente en Colombia se obtienen de sus cientos de quebradas y riachuelos. Con estas características, es posible obtener potencias entre 1 MW y 10 MW en las PCHs. Se considera que este tipo de energía es alternativo y no convencional por cuanto reduce drásticamente el gran impacto ambiental que se le critica a las grandes hidroeléctricas. (2)

Por este motivo, surge la idea de evaluar diferentes alternativas para la generación de energía en una escala más pequeña, adaptando y proponiendo una geometría de micro turbina en la tubería de un sistema de distribución. Por medio de una

plataforma adecuada, en el laboratorio se pretende establecer cuál será el diseño óptimo para aprovechar el recurso hídrico que circula en las tuberías de la red de acueducto. En este sentido esta investigación formula el problema con la siguiente pregunta: ***¿Cuál es el comportamiento del flujo dentro de las tuberías de redes de distribución de agua potable al ser implementada una micro turbina hidráulica para la generación de energía eléctrica?***

3. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se quiere evaluar un modelo de micro turbina hidráulica, con el fin de establecer una alternativa renovable para la obtención de energía eléctrica sostenible. Lo anterior se obtendría a través del movimiento del agua que fluye por las tuberías del acueducto. De esta manera se podría generar energía eléctrica, la cual puede aprovecharse para la operación del sistema o distribuir esta energía dentro de una casa.

La ventaja de este proyecto consiste en la producción de energía hidroeléctrica la cual no daña los ecosistemas debido a su diseño no genera impactos negativos en el suministro de agua.

La energía eléctrica utilizada actualmente en Colombia requiere del consumo de recursos naturales no renovables, destacándose los combustibles fósiles, aparte de la generación de residuos industriales que afectan la salud del ser humano.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Mostrar el comportamiento del flujo frente a un modelo de microturbina hidráulica, para la producción de energía eléctrica en una plataforma virtual.

4.2 ESPECÍFICOS

- Investigar y analizar información de micro turbinas hidráulicas.
- Dimensionar el prototipo de la micro turbina, adaptando la geometría de la turbina fabricada por la empresa Lucid Energy.
- Diseñar en una plataforma virtual el sistema determinado en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

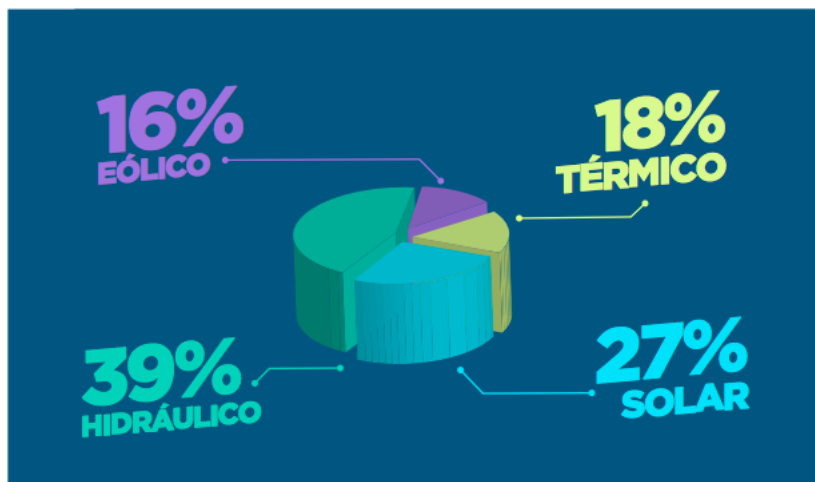
5. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad se evidencia una creciente demanda de energía eléctrica en los países, y esta es suministrada por energías que se desprenden de combustibles fósiles. La principal consecuencia de la obtención de energía eléctrica por estos combustibles son los contaminantes que afectan el medio ambiente, además que el costo es elevado debido a que estos recursos se van agotando a largo plazo.

Sin embargo, la energía hidroeléctrica es considerada una fuente de energía renovable no convencional, en vista de que Colombia es un país que posee una cantidad considerable de fuentes hídricas. Los estudios realizados por el Ministerio de Minas y Energía, el recurso que domina la generación de energía eléctrica del sistema interconectado Nacional (SIN) es el agua, abarcando el 86% (3). Entre el 2016 y el 2018 se registra que la participación por parte de proyectos hidráulicos es del 39%, demostrando así, que el sector de la energía hidráulica en Colombia está por encima de las demás (ver Gráfica 1).

En Colombia, las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) comenzaron a implantarse a finales de 1889, con la puesta en marcha de plantas en Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta. En 1898 se construyó una PCH en Santa Marta, pero ya se habían construido PCHs en fincas particulares. Para el año 1930 existían en Colombia plantas hidroeléctricas que funcionan a filo de agua que suministraban un potencial de 45 MW (2).

Gráfica 1 Participación en energías 2016-2018



Fuente: Participación proyectos registrados 2016-2018 [En línea]:
https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

5.1 REPORTE DE ENERGÍA OBTENIDA EN COLOMBIA SEGÚN REGIÓN HIDROLÓGICA

El volumen de energía eléctrica diaria útil se muestra en la Gráfica 2, en donde se reportan los embalses de Colombia segmentados por región hidrológica. El último reporte del boletín del Ministerio de Minas y Energía es del año 2018, con datos de enero hasta junio. Es importante resaltar el aporte de los embalses para la producción de energía por medio de la fuente hidráulica.

Los aportes mensuales de los ríos en Gigawatts hora (GWh) se ven reflejados en la Gráfica 3, en donde se pueden analizar los meses con más aportes de energía hidráulica. Estos son el mes de mayo y junio, debido a que en estos meses son épocas de lluvia. Dicho lo anterior el caudal de los ríos aumenta, generando así un mayor aporte energético.

Para el 2018 el agua generó 12.258,388 Megavatio (MW), mientras que la radiación solar tan solo tuvo la capacidad para generar 0.009,800 MW de energía eléctrica. Dicho lo anterior la variable que más capacidad efectiva de generación de energía eléctrica es el agua, siendo la más relevante entre las demás fuentes de obtención como lo son: el carbón, el gas y la radiación solar, según se aprecia en la Gráfica 4.

Gráfica 2 Volumen útil de energía por región hidrológica

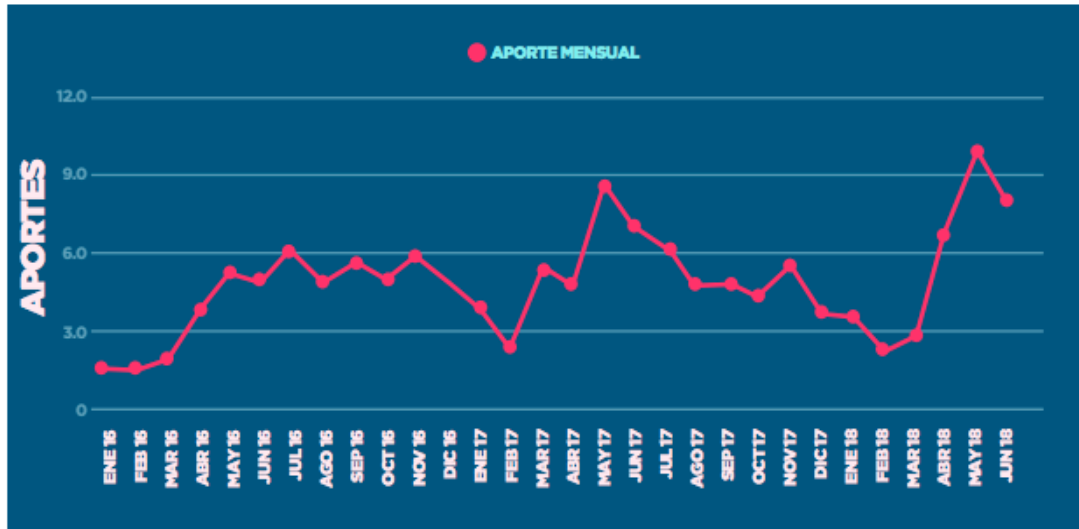
2018							
REGIÓN HIDROLOGICA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
ANTIOQUIA	AMANI	364,54	301,28	311,55	370,50	428,08	381,52
	MIRAFLORES	75,06	52,24	31,13	31,13	52,76	67,31
	PENOL	775,01	697,03	581,74	628,84	922,92	953,54
	PLAYAS	52,48	54,50	53,12	43,35	25,05	40,38
	PORCE II	43,27	54,43	52,30	48,94	50,25	31,22
	PORCE III	85,77	81,95	89,55	115,88	101,12	64,23
	PUNCHINA	11,25	9,86	31,38	33,61	20,62	17,26
	RIOGRANDE2	101,54	60,34	34,72	76,67	141,53	131,11
	SAN LORENZO	136,07	65,92	44,47	106,17	165,04	148,18
	TRONERAS	6,67	9,04	13,61	16,04	19,20	15,49
CENTRO	URRA1	970,90	723,74	570,10	689,12	873,46	1.035,44
	AGREGADO BTA	292,55	268,60	240,72	264,43	288,53	346,89
	BETANIA	473,12	532,36	531,34	626,74	639,50	613,06
		1.104,01	971,40	838,54	942,53	1.349,88	1.692,98
	MUNA	4,05	6,95	3,35	7,29	12,64	12,50
	PRADO	326,29	398,92	338,08	396,99	399,30	224,63
	TOPOCORO	2.122,89	1.659,78	1.354,13	2.036,04	2.741,86	2.722,63
ORIENTE	CHUZA	130,40	131,65	134,68	131,14	148,52	207,15
	ESMERALDA	382,65	246,62	114,91	140,15	275,30	525,49
	GUAVIO	398,67	291,42	137,35	232,85	485,21	743,75
VALLE	ALTOANCHICAYA	1,93	1,27	7,72	8,55	19,41	13,84
	CALIMA1	341,39	286,57	211,81	242,72	295,49	340,02
	SALVAJINA	354,60	286,23	173,03	203,92	504,74	646,65

Fuente: XM Sep-2018

Fuente: Aportes [En línea]:

https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

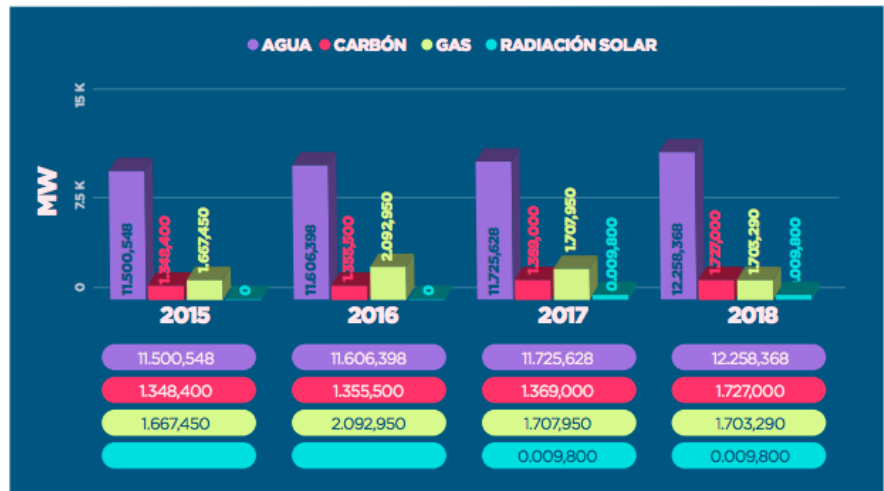
Gráfica 3 Aportes mensuales Ríos Energía GWh



Fuente: Aportes [En línea]:

https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

Gráfica 4 Capacidad efectiva de generación por tipo de combustible



Fuente: Capacidad efectiva de generación por tipo de combustible [En línea]:

https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

5.2 INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE TURBINAS HIDRÁULICAS

Una vez desarrollado el rastreo bibliográfico sobre los estudios previos acerca del tema, se encontraron investigaciones que utilizan la combinación de turbinas hidráulicas de pequeñas dimensiones, con corrientes de agua confinadas en tuberías de acueductos de zonas urbanas, con el propósito de generar corriente eléctrica limpia y renovable. A continuación, se sintetizan algunos de esos proyectos.

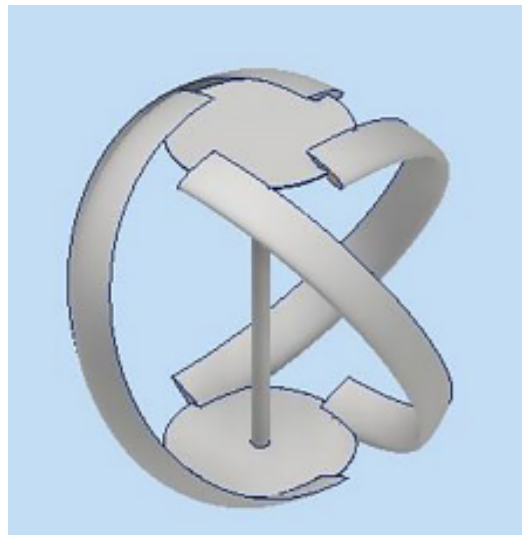
- Diseño de turbina tipo Kaplan que permita acoplarse a las necesidades planteadas de acuerdo con el tipo de territorio en el cual se vaya a implementar, esto se da debido a que se evidencia la necesidad de generar energía eléctrica de fácil acceso en territorios rurales, así mismo se propuso encontrar la turbina que mejor se adapte a las condiciones hidráulicas y topográficas como alternativa la cual pueda explotar al máximo el recurso hídrico. Basado en lo anterior se realiza una propuesta de turbinas tipo Kaplan por las ventajas que este diseño conlleva, como lo es que no necesita de elevación y que pueden ser aprovechadas de acuerdo a la necesidad de la forma del afluente, lo cual proporciona una mayor flexibilidad en la forma de captación del recurso hídrico. (4)
- Este proyecto desarrolla dentro de un marco social y ambiental la factibilidad de implementar una PCH (Pico Central Hidroeléctrica) en una zona rural de la localidad de Usme, teniendo como abastecimiento la captación de agua de la quebrada Fucha, durante este estudio se llevaron a cabo actividades como verificación y diagnóstico de caudal, altura topográfica de la zona, cálculo del sistema y realización del diseño entre otros, así mismo se busca que la implementación de la PCH sea sostenible económica, social y ambientalmente buscando también así que la comunidad no dependa de las empresas prestadoras del servicio de energía. (5)

- En la Universidad Santo Tomás se realizó una tesis basada en el diseño y fabricación de turbinas hidrocinéticas para la generación de energía por medio de canales. El diseño que se presenta en el trabajo y su realización está principalmente condicionado por el tamaño del canal de ensayos hidrocinéticos presente en la Universidad Nacional de Colombia, lugar en el cual se realizaron los ensayos de la turbina, buscando así evaluar el comportamiento de la turbina propuesta en un ambiente controlado que simula la realidad. Dentro del trabajo se muestra de manera específica y clara los componentes principales de una turbina hidrocinética y el funcionamiento se está. (Linares, Kevin 2019).
- En 2017 se inauguró el funcionamiento de la planta de agua de Niza, en Manizales, la cual genera su propia electricidad, la energía que genera esta planta se da debido a la transformación del exceso de presión con la cual llega el agua, según estudios el exceso que se genera en esta, es de aproximadamente 3,5 bares lo equivalente a 35 metros columna de agua que se toman para la generación de energía por medio de la turbina. La potencia que esta turbina genera que es entre 45 y 50 Kilovatios es suficiente para mantener el funcionamiento de la segunda planta, el uso de esta energía hidroeléctrica se ve reflejado en un ahorro de casi 120 millones de pesos al año y una disminución de 114 toneladas de dióxido de carbono en el mismo periodo. (6).
- En artículo publicado el 5 junio del 2018. Titulado Análisis numérico de la turbina de tubo elevador para predecir el potencial de aprovechamiento hidroeléctrico en redes de distribución de agua seleccionadas para la optimización de líneas de agua, radica en la simulación de un sistema en las redes de distribución de agua de la Universidad de Ibadan, Ibadan (UI), la Universidad Obafemi Awolowo Ile-Ife (OUA) y la Universidad Federal de Tecnología Akure (FUTA) en donde se

estudiaron los datos basados en el periodo pico y mínimo de las tasas de descarga volumétrica tomadas en un intervalo de horas durante 24 horas.

Dentro de la investigación se realizó una comparación rigurosa de los resultados obtenidos y se reveló que la capacidad de aprovechamiento hidroeléctrico en la línea de distribución de agua depende de parámetros como el diámetro de la tubería, los materiales de las palas de la turbina y el caudal de la tubería.

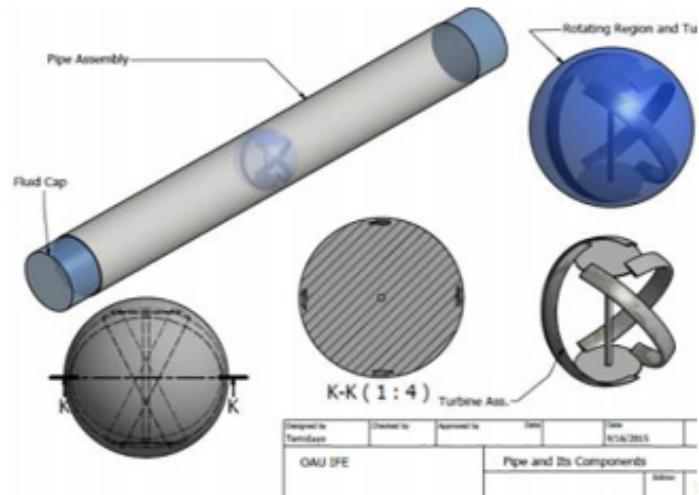
Gráfica 5 Turbina esférica a base de elevación



Fuente: “ Numerical analysis of lift-based in-pipe turbine for predicting hydropower harnessing potential in selected water distribution networks for waterlines optimization “. Engineering Science and Technology, an International Journal 21 (2018) 672–678

El software que se empleó para desarrollar el diseño de la turbina fue CAD Autodesk Inventor, para los datos de fluidos se empleó el Software Dinámica de fluidos computacional comercial (Autodesk Simulation CFD), de igual manera se requiere un programa para determinar estimar los cabezales de presión se tomó el sistema de posicionamiento global GPS (e-Trex GPS, 79; modelo 98 Garmin, USA) dispositivo con receptor Wide Área Augmentation System (WAAS).

Gráfica 6 Montaje de turbina en la tubería de la región de rotación



Fuente: “ Numerical analysis of lift-based in-pipe turbine for predicting hydropower harnessing potential in selected water distribution networks for waterlines optimization “. Engineering Science and Technology, an International Journal 21 (2018) 672–678

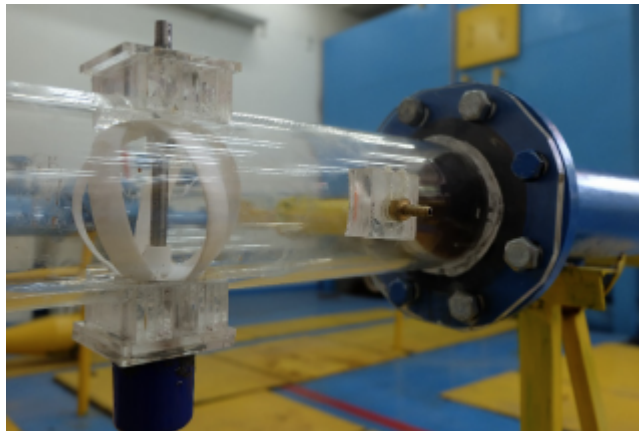
“La eficiencia energética de los sistemas de suministro de agua puede incrementarse mediante la recuperación de la energía hidráulica implícita en los volúmenes de agua transportados en diversas etapas del proceso de suministro, que puede convertirse en electricidad mediante sistemas de recuperación hidroeléctrica. Este proceso permite el uso de una fuente de energía limpia que suele descuidarse en el abastecimiento de agua, reduciendo su dependencia energética de la red local y los costes de funcionamiento del sistema”. (Temidayo, Lekan. Olufemi, Adebola; 2018).

- El estudio “Una investigación multi-objetiva para el diseño y mejoramiento de una turbina hidro energética con diversas aplicaciones” disponible en Línea el 9 de noviembre de 2019. Es el resultado de la búsqueda del proyecto en la Unión Europea para el programa de conversión de energía a bajo esfuerzo, con el objetivo de analizar la optimización de nuevas turbinas hidráulicas

diseñadas para ser posiblemente implementadas en sistemas de suministro de agua o en infraestructuras con tubos de agua presurizados.

Los estudios fueron enfocados en un nuevo método presentado, enfocado en bajos valores de fuerzas respecto a los diferentes tamaños de sistemas de tubos. Análisis detallados de la energía volumétrica fueron evaluados para la conversión óptima de la fuerza del agua y la presión que fueron tenidos en cuenta.

Gráfica 7 Instalación de la turbina en tubería



Fuente: “Modeling and numerical investigation on multi-objective design improvement of a novel cross-flow lift-based turbine for in-pipe hydro energy harvesting applications”. Energy Conversion and Management 203 (2020) 112233.

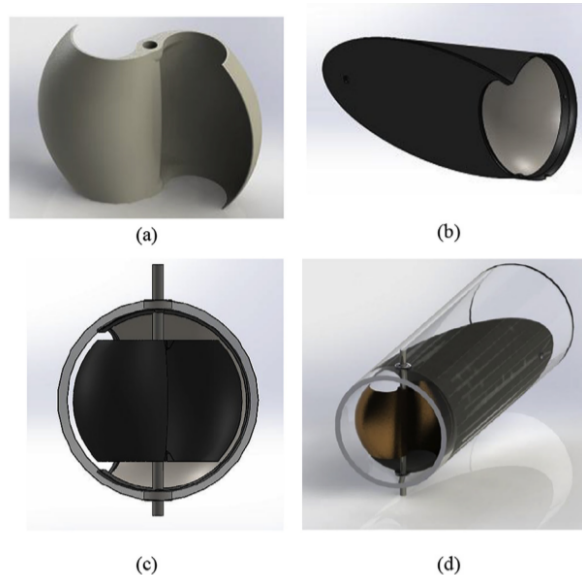
La meta de este estudio era presentar la viabilidad de las soluciones hidráulicas optimizadas para turbinas de pequeños tamaños con un particular enfoque en la simplicidad de manufactura. Como una energía renovable de bajos impactos en el medio ambiente jugando un papel importante en el futuro del suministro de energías, permitiendo la descentralización de soluciones, particularmente para los países subdesarrollados. El costo necesario para generar energía de este modo con equipos hídricos por unidad de energía, es mucho menor que el precio generado por generadores a diésel, incluso más económicos que otras energías renovables como lo son las turbinas de viento o sistemas fotovoltaicos.

Respecto a las hidro máquinas, su volumen y los rotores dinámicos pueden transferir energía por medio de la rotación de las hélices de las siguientes maneras: en primer lugar, por medio de un desplazamiento positivo de las rotaciones, o la otra manera es operando con los principios de bombas convencionales y bombas centrífugas, mejorando la eficiencia de la misma manera que se reducen costos. (A, Tahadjodi. F, Zare. A, Heyrani. A, Najafia; 2019).

- La siguiente investigación titulada “Investigación de la geometría del deflector y el efecto de la relación de aspecto de la turbina en la turbina hidroeléctrica Savonius modificada en 3D: estudio paramétrico” Una hidro Savonius turbina con un deflector es estudiada numéricamente y experimentalmente. La nueva Savonius tiene dos cuchillas que consisten de un largo número de semicírculos con diferentes diámetros y ejes perpendiculares a la dirección de la corriente del agua. La turbina y el deflector son impresos en 3d y son probados en un laboratorio con condiciones operarias extremas. Sin embargo, una teoría considera evaluar el poder generado por la turbina. El deflector geométrico es definido por dos parámetros: Coeficiente de bloqueo, y ángulo, considerando los parámetros, el efecto de cambio de esos parámetros depende del ratio de flujo, el valor generado de torque y la eficiencia de la turbina, la cual es determinada y describía gráficamente, usando líneas de corriente y contornos de presión. Los resultados indican un efecto positivo del incremento de la altura de la turbina. Sin embargo, el incremento del parámetro en el deflector es positivo hasta cierta cantidad pasando un efecto adverso en el desempeño de la turbina.

Durante los últimos 5 años, muchos métodos de la utilización de energía renovable han sido efectivos, también en pequeñas cantidades, se han convertido en un campo muy importante de estudio, incrementando la demanda de energía y también la necesidad de controlar la polución, derivada de energías no renovables.

Gráfica 8 Turbina Savonius



Fuente: “ Investigation od deflector geometry and turbine aspect ratio effect on 3D modified in-pipe hydro Savonius turbine: Parametric study” Renewable Energy 148 (2020) 44-59

- **Descripción de la geometría de la turbina hidro Savonius**

Con el fin de encajar la turbina en un tubo circular, un número de modificaciones fueron requeridas en la parte más alta y baja de la turbina. Cada sección de la nueva turbina, incluye 2 semicírculos. El diámetro de dichos semicírculos decrece según el círculo del tubo.

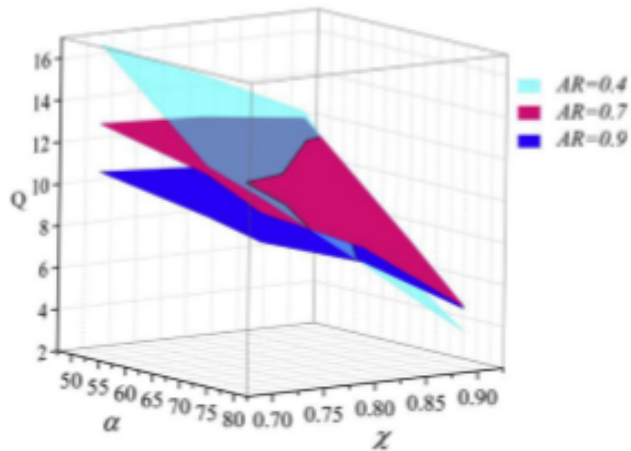
- **Parámetros para el desempeño de la turbina:**

Se sabe muy bien que el tubo interno de la turbina Savonius no puede ser mayor que el diámetro del tubo. El ratio de altura de la turbina es llamado reacio del aspecto y juega un papel importante en el análisis de los parámetros estudiados actualmente.

En las siguientes graficas se muestra como los índices del flujo varían de la turbina el deflector con parámetros importante. Como se pudo haber visto, por los diferentes aspectos de la proporción, la cantidad de descarga

disminuye con un incremento de boqueo coeficiente a la pendiente del deflector.

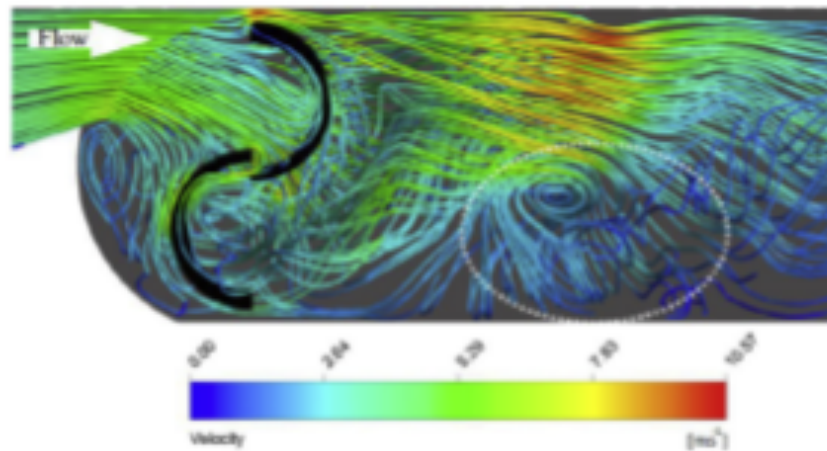
Gráfica 9 Variación de Índices del flujo de la turbina



Fuente: “ Investigation od deflector geometry and turbine aspect ratio effect on 3D modified in-pipe hydro Savonius turbine: Parametric study” Renewable Energy 148 (2020) 44-59

Sin embargo, por un pequeño aspecto de la proporción, el cambio es más intenso después de cierta cantidad del coeficiente de boqueo y la pendiente del deflector. Corteando las superficies relacionadas al aspecto de las proporciones de 0.7 t 0.9 de la superficie relacionada con las proporciones de 0.4.

Gráfica 10 Cantidad de descarga a través de la turbina



Fuente: “ Investigation od deflector geometry and turbine aspect ratio effect on 3D modified in-pipe hydro Savonius turbine: Parametric study” Renewable Energy 148 (2020) 44-59

En otras palabras, la cantidad de descarga a través de la turbina por un aspecto con proporción pequeña a pesar del agrandamiento a través de la sección del área por donde el flujo ha de pasar, es reducida considerablemente. Este comportamiento es justificable considerando que en la Grafica. Se relaciona con CASO base, el cual es Vortice más grande es creado detrás de las aspas de la turbina. Estos vórtices, intensifican la perdida hidráulica y así reduce la descarga restringiendo la corriente del camino.

El vortice detrás de las turbinas con un aspecto de proporción de 0.4 y caso “base” del deflector

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO TEÓRICO.

6.1.1 TEORÍA TURBINAS

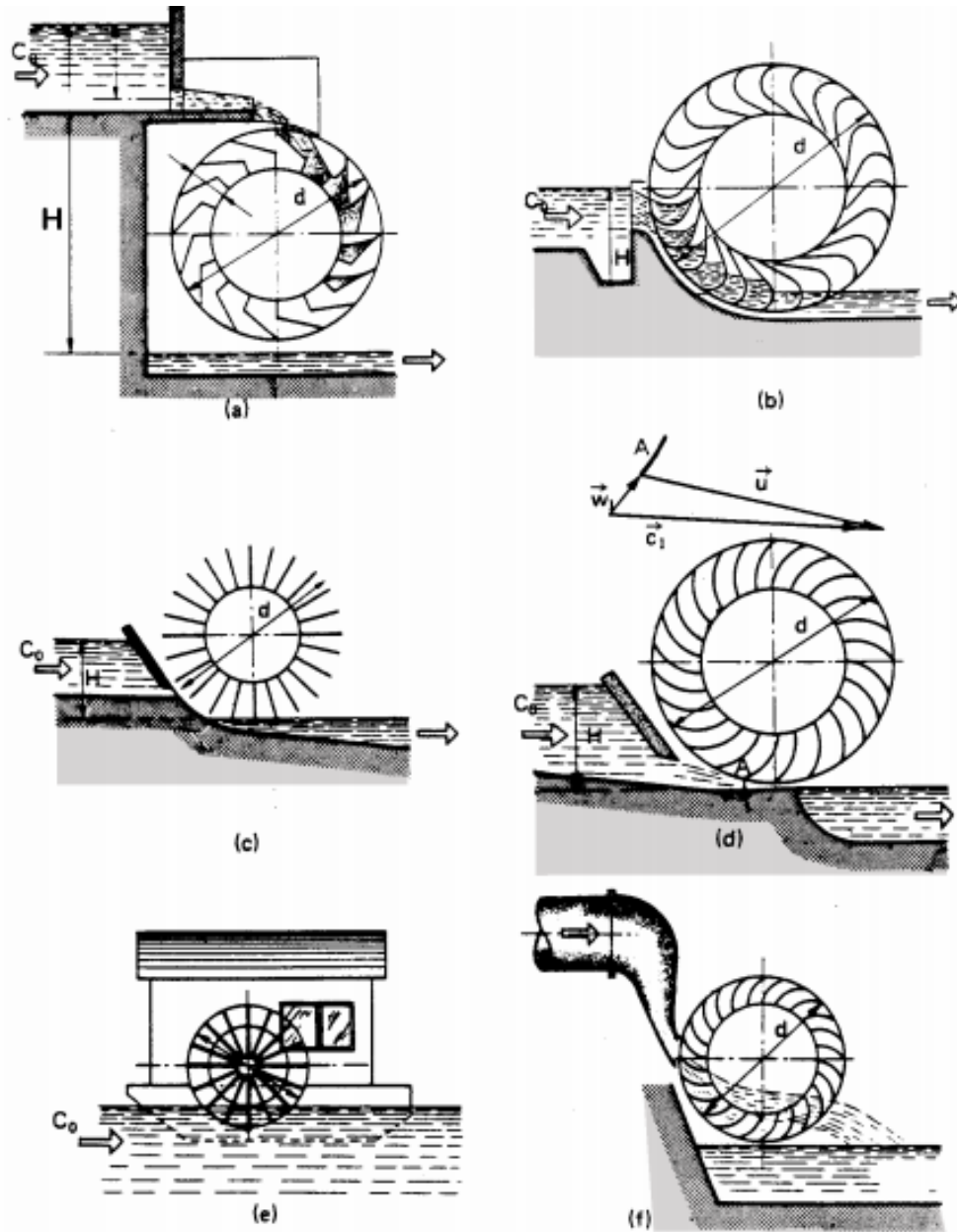
Una turbina está compuesta por hélices, eje, caja de transmisión de potencia y un generador de energía, estos elementos trabajando en conjunto para aprovechar la energía hidrocínética derivada de los ríos (7). Este dispositivo se ubica sumergida en el recurso hídrico.

Una turbina hidráulica es un instrumento compuesto principalmente por un rotor giratorio por el cual atraviesa un fluido que permanece constante; la fuerza que ejerce el fluido sobre la máquina genera una variación en el movimiento del flujo, mediante esta variación se da una transferencia de energía entre el fluido y la máquina.

En la historia se han presentado diferentes tipos de ruedas hidráulicas que a continuación se mencionan y evidencian en la Gráfica 11. (8).

- a). Alimentación (rueda giratoria pura)
- b). Alimentación lateral
- c). Paletas planas
- d). Impulso inferior
- e). Paletas de alimentación inferior
- f). Turbina Banki

Gráfica 11 Tipos de ruedas hidráulicas



Fuente: Breve historia de las turbinas hidráulicas [En línea]:
<http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf>

6.1.2 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

Las turbinas hidráulicas son un subgrupo de las turbo, por lo tanto, se dividen en dos grupos: De acuerdo al grado de reacción, a su reactividad, con el diseño del rotor. (9)

A. Teniendo en cuenta el grado de reacción o el cambio en la presión del rodete

Turbinas radiales-axiales: Es cuando el fluido logra entrar el rotor de forma radial para después cambiar si dirección y poder salir de forma paralela al eje rotativo, en otras palabras, en la misma dirección del eje o de forma axial.

Turbinas axiales: El flujo va a salir en la misma dirección del eje de rotación es decir en forma paralela.

Turbinas tangenciales: El flujo choca el rotor en la periferia.

B. De acuerdo a su reactividad

Turbina de acción: Debido al diseño el flujo mueve la turbina golpeando directamente las paletas del rotor. Es esencial que exista una caída alta del fluido para que golpee de forma compacta.

Turbina de reacción: Debido al diseño el flujo mueve el rodete, no por golpes, sino por la reacción que provoca la salida del agua sobre el rotor. Es esencial que exista un caudal grande de flujo para que pueda empujar el agua sobre las tuberías, salga con presiones altas y mueva el rotor con fuerza.

C. Modelos de Turbinas hidráulicas

A continuación, se van a describir 5 tipos de modelos de turbinas hidráulicas las cuales presentan diferentes modelos en donde se integran las características anteriormente mencionadas. Se debe tener en cuenta que cada tipo de turbina se usa con respecto a la forma y las necesidades que se presenta el flujo. (9)

Turbinas Kaplan: Esta turbina es de tipo axial y de reacción, una de sus particularidades es que se tiene la posibilidad de variar el ángulo de las palas mientras está en funcionamiento, se diseño está pensado para usarse en saltos de agua pequeños, pero con caudales grandes.

Turbinas Hélice: Esta turbina contiene válvulas regulables, tiene características similares a las turbinas Kaplan con la diferencia que el ángulo de las paletas es fijo. El componente que se puede variar es la velocidad del rodete-

Turbina Pelton: Esta turbina se considera una turbina de reacción y debe tener un flujo transversal con ingreso parcial, una de sus características más sobresalientes es que en su diseño en vez de tener palas tiene cucharas. Estas turbinas están diseñadas para saltos de agua grandes, pero con caudales pequeños.

Turbina Francis: Este tipo de turbina tiene la diferencia que permite un flujo mixto y de reacción, trabaja con saltos de agua y caudales medianos. Existen diseños que permiten el cambio en los ángulos de las paletas durante su funcionamiento.

Turbina Ossberger/Banki/Michell: Esta última turbina en nuestra clasificación es una con libre desviación, admisión de flujo parcial y radial. Se considera como una turbina de régimen lento debido al número de revoluciones específicas. Y está diseñada para saltos de agua medios.

6.1.3 ESTADOS DEL FLUJO

El flujo en tuberías, canales, etc. Esta gobernado por efectos de una característica principal del fluido como lo es la viscosidad de este y así mismo por la gravedad con relación a las fuerzas inerciales del flujo.

Esta característica del fluido denominada como viscosidad (10). se refiere a la oposición que genera el fluido a la deformación que es generada por tensiones cortantes o de tracción, sin embargo, esta característica está dada por el tipo de fluido y las condiciones de temperatura en la cual se encuentre este.

El efecto de la viscosidad genera que el flujo sea Laminar, Turbulento o transicional según su relación con la inercia.

Reynolds a través de un parámetro adimensional predijo si un flujo es laminar o turbulento, esto con el Numero de Reynolds (Re) el cual se trata de una relación entre la viscosidad del fluido y las fuerzas inerciales de este. Esta división de estados se realiza con unos intervalos propuestos por Reynolds, los cuales son:

Re<2000 Flujo laminar: Las fuerzas de viscosidad son mayores que las fuerzas inerciales, por lo cual las partículas tienden a moverse en las llamadas líneas de corriente.

Re>4000 Flujo turbulento: Las fuerzas viscosas en comparación con las inerciales son más débiles por lo tanto las partículas presentan recorridos irregulares.

2000<Re<4000 Flujo transicional: Es el flujo comprendido entre laminar y turbulento.

A continuación, se van a presentar los estados del flujo que se pueden presentar.

Flujo Laminar

Se llama flujo laminar, cuando el fluido lleva un movimiento ordenado siguiendo una línea de corriente, sin que se entre mezclan las partículas, se llama también flujo laminar debido a que el fluido se mueve en láminas paralelas. (11) Inciso (a)

Flujo en Transición

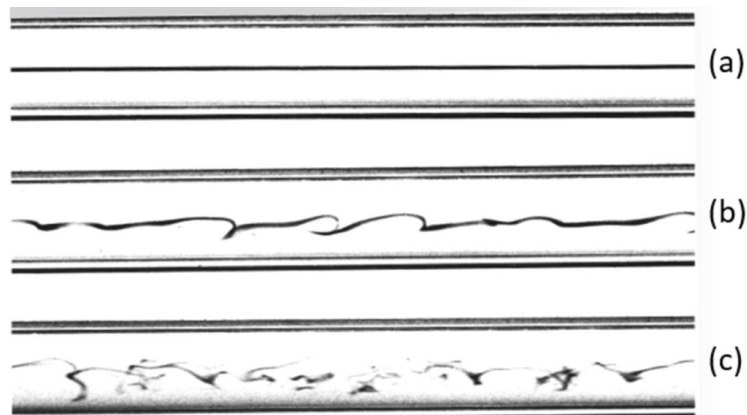
Es aquel flujo que presenta fluctuaciones intermitentes de un fluido laminar, pero no es suficiente para catalogar como flujo turbulento. (12) Inciso (b)

Flujo Turbulento

Se llama flujo turbulento, cuando las partículas del fluido no siguen una línea de corriente, si no que tienen trayectorias completamente erráticas. Figura (c)

Este flujo se caracteriza debido a que sus partículas están en constante mezcla, sin orden alguno, esto se da como consecuencia a la fractura de un flujo ordenado, el flujo de agua en lugares expuestos al aire como ríos, mares, etc. Son ejemplos de este flujo; Este tipo de flujo es más común en el campo de la ingeniería Civil específicamente en estructuras hidráulicas. (13)

Gráfica 12 Tipos de flujo



Fuente: *Flujo turbulento*

Según Taylor y Von Kármán, la turbulencia puede producirse por el paso del fluido sobre superficies de frontera, o por el flujo de capas de fluido, a diferentes velocidades que se mueven una encima de la otra. (12)

Existen dos tipos de turbulencia:

- Turbulencia de pared: Como su nombre indica esta se da por efectos viscosos debido a la existencia de paredes.
- Turbulencia libre: Esta se produce por capas del fluido a diferentes velocidades.

Para este trabajo se encontró que en acueductos y en el sistema obtenido se genera un flujo turbulento, cuando el flujo entra en régimen turbulento se pueden presentar dos casos el primero que el conducto sea liso y el segundo que el conducto sea rugoso.

Conducto liso (Tubería lisa)

Se presentan tres subcapas:

- Subcapa viscosa: En donde la velocidad varía de manera lineal, el movimiento no es estrictamente laminar, y es primeramente viscoso.
- Capa de transición: La viscosidad sigue teniendo influencia, y el flujo ya es turbulento.
- Zona de turbulencia: Se asume que el flujo turbulento en una tubería está influenciado por el fenómeno de “flujo cercano a la pared”, según la teoría de longitud de mezcla de Prandtl.

Conducto Rugoso (Tubería rugosa)

Se presentan dos casos dependiendo del tamaño de la rugosidad respecto al espesor de las subcapas viscosas y de transición.

Factor de fricción:

- Si la rugosidad es mayor al espesor de las capas nombradas anteriormente, la viscosidad no tendrá efecto sobre este factor, así que dependerá de la rugosidad.
- Si la rugosidad es menor al espesor de las capas, se presenta el régimen de transición, y el factor depende del Numero de Reynolds y la rugosidad.

6.1.4 PÉRDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga en una tubería o un canal hacen referencia a las pérdidas de presión que se genera en el fluido debido al roce con las paredes del conducto y al roce entre partículas, más conocido como la fricción. Estas pérdidas pueden ser lineales o pérdidas por accesorios (pérdidas menores), las pérdidas lineales se dan a lo largo de la longitud de la tubería, por otro lado, las pérdidas menores se dan debido a los accesorios en el sistema que permiten cambios de dirección, estrechamiento, entre otros. (14)

El cálculo de pérdidas en sistemas de tuberías es primordial, esto debido a que nos permiten realizar un diseño acertado y preciso para que el requerimiento de caudales en varios puntos sea satisfecho, así mismo, estos cálculos nos permiten seleccionar los equipos que complementan nuestro sistema como lo son las bombas hidráulicas.

A continuación, se presentarán las fórmulas más usadas para realizar los cálculos de estas pérdidas:

El cálculo de pérdida de cargas ha sido más sencillo gracias a la tecnología puesto que varios de estos requieren de procesos iterativos para determinar factores fundamentales en los resultados.

Se puede evidenciar que en las fórmulas que se presentarán a continuación existen dos factores que son primordiales, el primero de estos es el tipo de

tubería, lo que hace referencia al material y rugosidad de este, y, por otro lado, la velocidad del fluido el cual normalmente se expresa a través del número de Reynolds que es nuestro segundo factor primordial. (14)

6.1.4.1 PERDIDAS LINEALES

Para el cálculo de las pérdidas lineales en hidráulica las ecuaciones más empleadas son:

- Darcy-Weisbach
- Manning
- Hazen-Williams

Para todas las fórmulas enunciadas anteriormente, se supone de manera ideal que la tubería es de sección circular. Sin embargo, pueden así mismo, aplicarse en perfiles de secciones no circulares.

La información que se muestra a continuación se tomó de la referencia 14

- **Darcy-Weisbach**

Es considerada la fórmula más precisa para cálculos hidráulicos y la más adecuada para sistemas de tuberías.

Su fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$h = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

Donde:

h- Pérdidas de carga o energía

f- Coeficiente de fricción

L- Longitud de la tubería

D- Diámetro interno de la tubería

v- Velocidad media

g- Aceleración de la gravedad

El coeficiente de fricción (f) depende de la velocidad, el diámetro, la viscosidad del fluido, la densidad del fluido y la rugosidad absoluta.

Algunas de las fórmulas y expresiones para determinar el coeficiente de fricción (f) son:

- Colebrook-White
- Blasius
- Prandtl y Von-Karman
- Nikuradse
- Churchill
- Swamee-Jain

Blasius

Propone una expresión en la cual el coeficiente de fricción (f) viene dado por el número de Reynolds, es válida para conductos lisos.

Es válida hasta $Re < 100000$. Y su expresión es:

$$f = 0.3164 * Re^{-0.25}$$

Prandtl y Von-Karman

Esta expresión es una ampliación del rango de validez de Blasius, en conductos lisos. Su expresión está dada por:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Nikuradse

Expresión válida para conductos rugosos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} \left(\frac{\epsilon_r}{3.71 * D} \right)$$

Colebrook-White

Colebrook-White agruparon las expresiones de Nikuradse y Prandtl- Von Karman en una sola, por lo cual es válida para todo tipo de flujos y rugosidades; es la más exacta usada universalmente, pero es bastante compleja pues para el cálculo del factor f se requieren cálculos iterativos.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

En algunas normas se sugiere encontrar el coeficiente de fricción (f) por medio de esta ecuación para una mayor exactitud y precisión.

Churchill

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} \right)$$

Swamee-Jain

Es un cálculo que no requiere métodos de iteración, debido a que es directo, esta expresión arroja resultados muy cercanos a los de Colebrook-White.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

- **MANNING**

Estas ecuaciones son mayormente empleadas para el cálculo de pérdidas principalmente en canales, cuando se emplea en tuberías es válido para secciones circulares. Su expresión es la siguiente:

$$h = 10.3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^{5.33}} * L$$

En donde:

h- Pérdidas de carga o energía

n- Coeficiente de rugosidad

D- Diámetro interno de la tubería

Q- Caudal

L- Longitud de la tubería

Uno de los inconvenientes que presenta esta expresión es que solo toma en cuenta un coeficiente de rugosidad, el cual se obtiene empíricamente y no se tiene en cuenta las variaciones de viscosidad debidas a la temperatura.

El cálculo del coeficiente de rugosidad (n) es complejo, dado que no se tiene un método exacto. Para el caso de tuberías se pueden consultar estos valores en tablas.

Tabla 1 Coeficiente de rugosidad n para Manning

Material	n
Plástico (PE, PVC)	0,006-0,010
Fundición	0,012-0,015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,009
Hormigón	0,012-0,017
Acero	0,010-0,011
Hierro galvanizado	0,015-0,017
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016

Fuente: PIROBLOC. Pérdidas de carga. [En línea] <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>

● HAZEN-WILLIAMS

Otro de los métodos más conocidos y empleados, esto debido a que es una fórmula bastante simple de emplear y el cálculo es sencillo gracias al coeficiente de rugosidad (C), las condiciones de validez de este método son:

- Tuberías de fundición y acero.
- Fluido circulante: Agua
- Temperaturas entre 5 y 25 °C

Su expresión está dada por:

$$h = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.78}} * L$$

Donde:

h- Pérdidas de carga o energía

Q- Caudal

C- Coeficiente de rugosidad

D- Diámetro interno de la tubería

L- Longitud de la tubería

Tabla 2 Coeficientes de rugosidad absoluta materiales.

Material	C
Asbesto cemento	140
Hierro galvanizado	120
Latón	130-140
Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100
Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130
Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113
Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100
Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90
Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83
Acero rolado	110
Concreto	120-140
Lata	130
Cobre	130-140
Madera	120
Hierro dúctil	120
Hormigón	120-140

Fuente: PIROBLOC. Pérdidas de carga. [En línea] <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>

6.1.5 GENERALIDADES DISEÑO RED ACUEDUCTO

Un acueducto es un sistema o conjunto de sistemas que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde el lugar de captación hasta un punto de consumo. (15)

6.1.5.1 Definición del tamaño del sistema.

Se define el tamaño del sistema, según la Resolución 0330 DE 2017 Expedida por el Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Para esto se tiene en cuenta el número de habitantes, la proyección que se tenga en la zona y la capacidad socioeconómica de los habitantes.

6.1.5.2 Generalidades.

Conocimiento del marco institucional, acciones legales, aspectos ambientales relacionados con el sistema, ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial, evaluación socioeconómica, definición del alcance del proyecto, estudios previos, generación de alternativas y optimización, diseño y requerimientos técnicos, construcción e interventoría, puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema. (16).

6.1.5.3 Conocimiento del marco institucional.

Se deben conocer las entidades y actores que se pueden ver afectados por el diseño de un acueducto de esta magnitud, con el fin de establecer responsabilidades y funciones a cada uno de ellos.

6.1.5.4 Acciones legales

Se deben conocer todas las leyes, reglas, normativas técnicas que estén relacionadas con el Funcionamiento, mantenimiento, operación y

construcción del sistema de acueductos para que sea eficiente su manejo e implementación.

6.1.5.5 Aspectos ambientales relacionados con el sistema

Se deben obtener los permisos y licencias necesarias para la construcción e implementación del sistema, frente a la entidad encargada de la región en la cual se piensa realizar el proyecto.

6.1.5.6 Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial

Se deben tener en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial vigente, para tener conocimiento del lugar en donde se puede realizar el proyecto.

6.1.5.7 Evaluación Socioeconómica

Todo proyecto de un sistema tiene que estar debidamente justificado desde el punto de vista socioeconómico, identificando un problema de bienestar social, de salud pública o de impacto al medio ambiente, el cual debe proponer solución con el proyecto propuesto.

6.1.5.8 Definición del alcance del proyecto

Se debe definir el espacio de tiempo, espacio geográfico, la extensión de los entregables, los recursos.

6.1.5.9 Estudios Previos

Para llevar a cabo el diseño de un sistema de acueducto, ya sea una obra de infraestructura nueva o una ampliación, se deben conocer las condiciones físicas del sector, Aspectos económico y sociales de la comunidad en donde se realizará la obra civil.

6.1.5.10 Generación de alternativas y optimización

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos, el diseñador debe desarrollar diferentes alternativas que serán evaluadas en el proceso de optimización financiera que permite escoger aquella de menor costo; dicho lo anterior esta alternativa será objeto del diseño definitivo.

6.1.5.11 Diseño y requerimientos técnicos

La alternativa escogida debe cumplir con todos los requisitos establecido en la norma.

6.1.5.12 Construcción e interventoría

El proceso de construcción de los sistemas de acueducto debe cumplir los requisitos establecidos en la norma de construcción.

6.1.5.13 Puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema

Los procedimientos y las medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de las diferentes partes del sistema diseñado, deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular.

6.1.6 POTENCIA ENERGÍA ELÉCTRICA FAMILIA COLOMBIANA

Según los estudios realizados por la empresa EPM una persona en promedio consume cerca de 38 Kwh mes (Kilovatio hora mes). Es decir que para una familia de cuatro personas (Promedio familia en Colombia) el consumo mensual debe ser cercano a los 152 Kwh mes de energía (17).

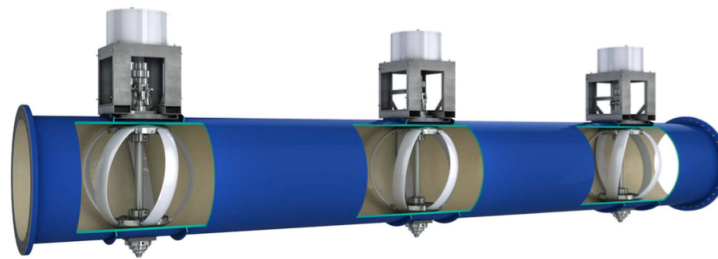
6.1.7 LUCID ENERGY

La empresa Lucid Energy cuenta con un sistema de energía LucidPipe (LPS) funciona con la obtención del recurso hídrico el cual alimenta las tuberías, y transportan el agua a un punto de uso. El agua fluye debido a la gravedad y

crea presión en la tubería, por lo anterior el sistema es “Invisible” y no hay afectaciones en el suministro de agua (18).

El LPS “genera energía hidroeléctrica ecológica sin impacto en el suministro de agua. Las turbinas esféricas únicas se instalan dentro de tuberías de transmisión de agua alimentadas por gravedad” (19). Las turbinas giran sobre un eje cuando el flujo de agua pasa a través de ella, y es posible localizarlas en un sistema de circuito en serie maximizando así la fabricación de energía.

Gráfica 13 Sistema de energía LucidPipe



Fuente: LUCIDENERGY. 2017. [En línea] <http://lucidenergy.com/how-it-works/>

6.1.7.1 CAPACIDAD DE POTENCIA Y FLUJO MÍNIMO REQUERIDO

Lucid Energy maneja 3 diámetros en sus tuberías (24”, 42”, 60”) a continuación se presentan la capacidad de potencia y el flujo mínimo requerido para cada uno de los casos.

- Tubería (24” - 600 mm) -Capacidad de potencia (18 kW)
-Flujo mínimo requerido (1.0 m³/s)
- Tubería (42” - 1050 mm) -Capacidad de potencia (50 kW)
-Flujo mínimo requerido (2.7 m³/s)
- Tubería (60” - 1500 mm) -Capacidad de potencia (100 kW)
-Flujo mínimo requerido (5.6 m³/s)

6.1.7.2 VENTAJAS DE LUCIDPIPE

Las ventajas de este sistema consisten en producir energía hidroeléctrica que no daña los ecosistemas. Puede generar energía las 24 horas del día, a su vez no genera impactos negativos en el suministro del agua y logra convertir el flujo de residuos (exceso de presión), en flujo de ingresos. Dicho lo anterior el uso se puede llevar a cabo para cargar baterías, distribuir energía eléctrica, dentro o fuera de la red. (19)

6.1.7.3 PRODUCCIÓN NOMINAL ESTIMADA DE ENERGÍA

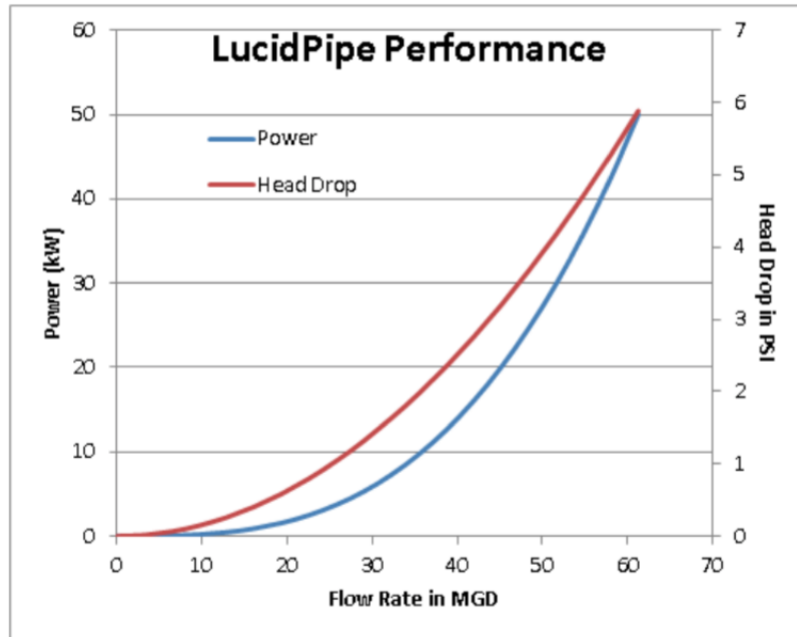
Proyecciones de rendimiento del sistema

Total turbinas del sistema:	4	Un
Capacidad nominal (kW):	172	kW
Capacidad media:	143.12	kW
Producción anual:	1253.6	MWh

Rendimiento

En la gráfica 14 se obtiene la información del rendimiento de la LPS, la cual la conforman las variables Potencia, Velocidad de flujo (MGD), Cabeza de presión en (PSI). La línea azul hace referencia a la potencia y la roja cabeza de presión.

Gráfica 14 Rendimiento LucidPipe



Fuente: LUCIDENERGY. 2017. [En línea] <http://lucidenergy.com/how-it-works/>

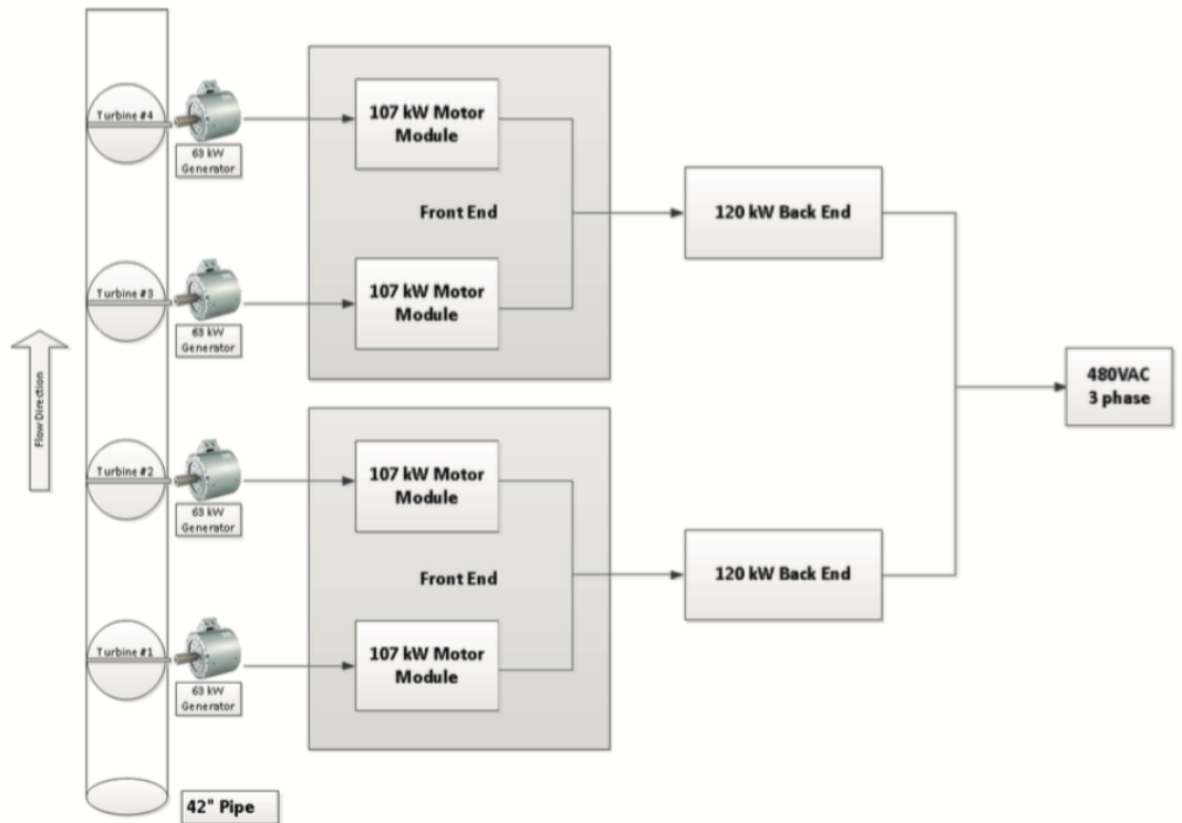
6.1.7.4 SISTEMA

Descripción general del sistema

El sistema trabaja con 4 turbinas dispuestas en serie, en una tubería de 42" (1050 mm). Las turbinas son conectadas a un generador de energía de 63 kW cada una, a su vez se conectan a un módulo de motor de capacidad de 107 kW.

Los motores trabajan sectorizados, es decir, que en un sector trabajan 2 motores en la parte final del sistema, almacenando la capacidad de estos en 120 kW. El sistema finaliza con la tercera etapa en donde se obtiene la energía acumulada de los dos módulos finales (Gráfica 15). (19)

Gráfica 15 16 Descripción general del sistema

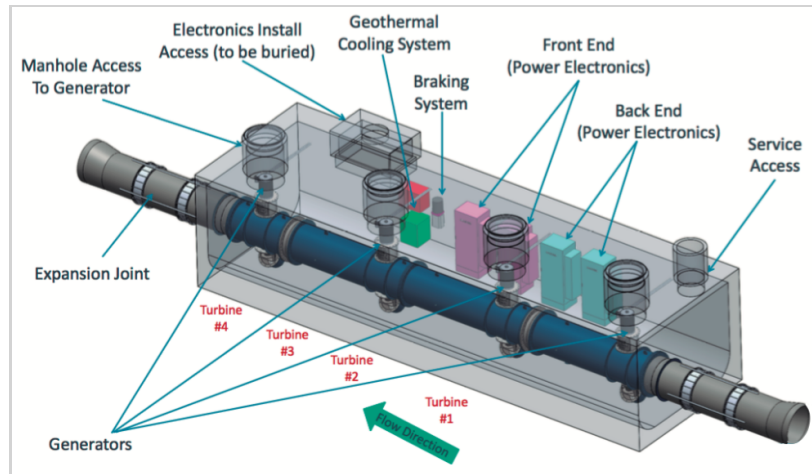


Fuente: LUCIDENERGY. 2017. [En línea] <http://lucidenergy.com/how-it-works/>

Partes generales del equipo de Bóveda

En la Gráfica 16 se pueden detallar los elementos centrales del equipo de bóveda.

Gráfica 16 Partes generales del equipo de bóveda



Fuente: LUCIDENERGY. 2017. [En línea] <http://lucidenergy.com/how-it-works/>

6.1.7.5 EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Portland, Oregon. Portland water burearu.

“El proyecto ayudará a la ciudad a cumplir sus objetivos del Plan de Acción Climática al generar un promedio de 900 MWh por año, suficiente electricidad para alimentar aproximadamente 100 hogares”. (Gráfica 16). (20)

Gráfica 17 Instalación LucidPipe en Portland, Oregon



Fuente: LUCIDENERGY. 2016. [En línea] <http://lucidenergy.com/wp-content/uploads/2016/10/LucidEnergy-PortlandCaseStudy-2016-10-Ir.pdf>

Riverside, California. Riverside Utilidades Públicas.

“El sistema en Riverside funcionó durante más de cuatro años, proporcionando energía para el alumbrado público durante la noche y las operaciones de la agencia de agua durante el día, y ahora sirve como un banco de pruebas continuo para el desarrollo de la turbina LucidPipe de segunda generación”. (Gráfica 18). (21)

Gráfica 18 Instalación LucidPipe en Riverside, California



Fuente: LUCIDENERGY. 2016.[En línea] <http://lucidenergy.com/wp-content/uploads/2016/10/LucidEnergy-RiversideCaseStudy-2016-10-lr.pdf>

En el capítulo 6.1.8 Teoría Navier – Stokes se va a incluir dentro del documento debido a que en el desarrollo de la simulación en el software Ansys fluent, resuelve ecuaciones de conservación de masa y momento, y está determinado por los modelos k-epsilon, k-omega y Spalart-Allmaras y así dar convergencia con respecto al promedio de las variables durante el tiempo.

Adicionalmente contiene la discretización del volumen finito el cual proporciona implícitamente operaciones, y tiene la capacidad de ser aplicable a flujos compresibles e incompresibles.

Dentro de este capítulo se menciona el modelo numérico por el cual se desarrolló y solucionó la simulación.

6.1.8 TEORÍA NAVIER – STOKES

“Las olas siguen nuestro barco mientras cruzamos el lago, y las turbulentas corrientes de aire siguen nuestro vuelo en un moderno jet. Los matemáticos y físicos creen que una explicación para y la predicción de la brisa y la turbulencia se puede encontrar a través de una comprensión de las soluciones a las ecuaciones Navier-Stokes. Aunque estas ecuaciones fueron escritas en el siglo XIX, nuestra comprensión de ellos sigue siendo mínima. El desafío es hacer progresos sustanciales hacia una teoría matemática que desbloqueará los secretos ocultos en las ecuaciones de Navier-Stokes.” (Clay Mathematics Institute - Ecuación de Navier-Stokes. 2018.)

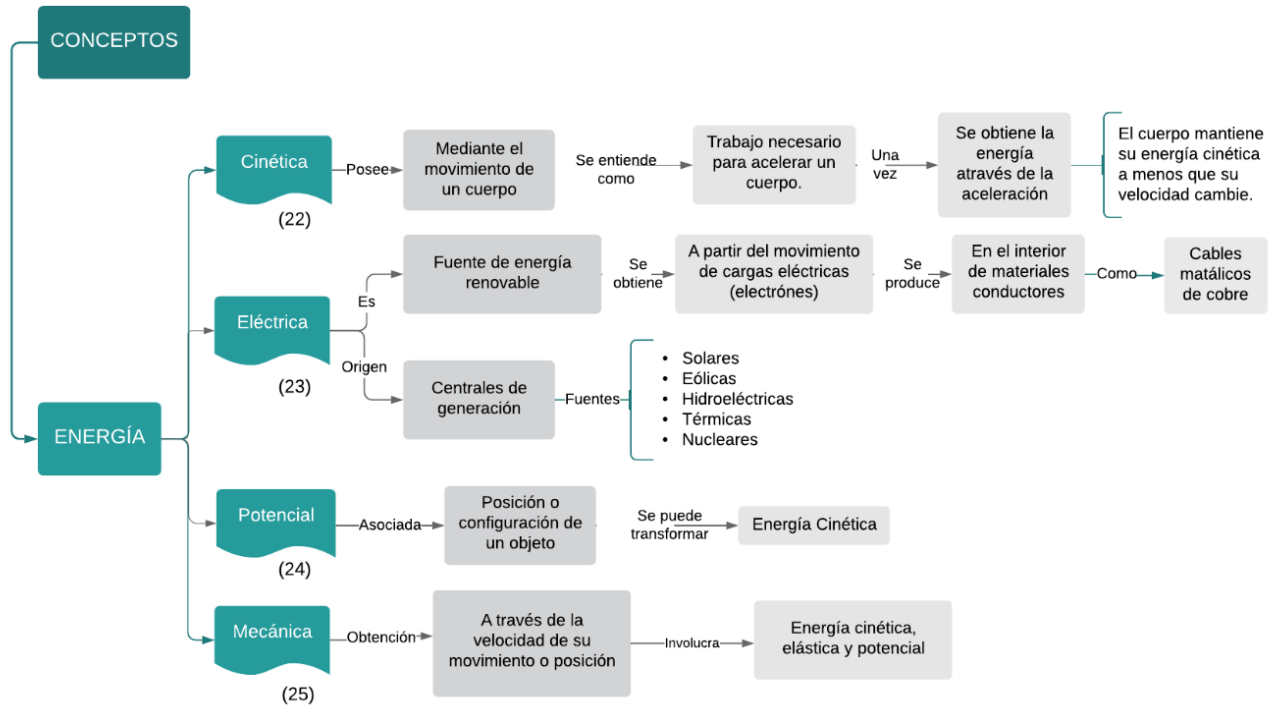
6.1.8.1 K-EPSILON

La información que se presenta a continuación fue extraída del reporte de la Nasa CR-179204 “Computation of turbulent flows using an extended $k-\epsilon$ turbulence closure model” publicado en octubre de 1987. El modelo de turbulencias de viscosidad inducida, las adecuadas predicciones de los campos de flujo turbulento y medio se fundamentan en descripciones razonable de la escala de longitud turbulenta, también, de la escala de velocidad en el campo de flujo.

A continuación, se hará una breve descripción de una de las ecuaciones que es más utilizada. Este modelo es llamado $k-\epsilon$ (k-epsilon) que posee constantes de modelo estándar, el cual ha sido aplicado en una extensa variedad de problemas de flujo turbulento. En términos generales $k-\epsilon$ entrega pronósticos cualitativos para la mayoría de flujos turbulentos. Los resultados favorables de muchos otros problemas de ejemplo en donde se ha aplicado el modelo de $k-\epsilon$ turbulencia y un implacable y preciso código finito, que es el elemento límite el cual refleja y confirman la consistencia de este modelo usando la diferencia finita de los elementos finitos.

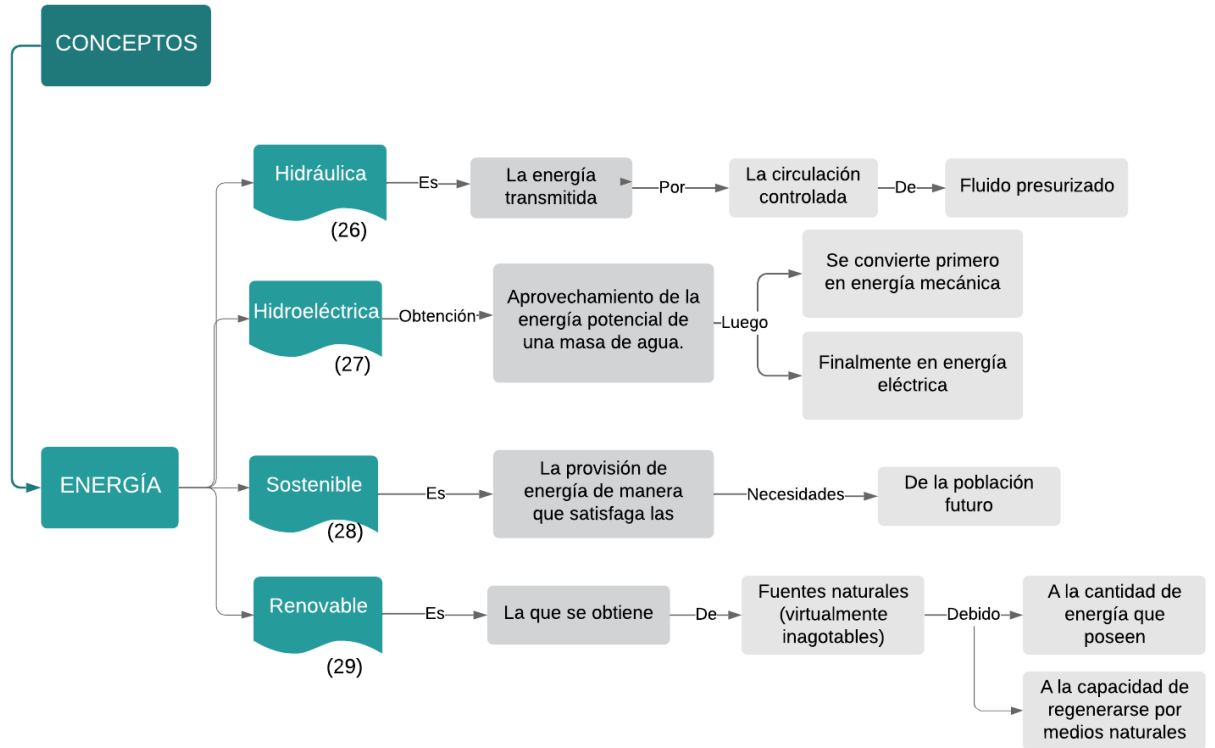
6.2 MARCO CONCEPTUAL

Gráfica 19 Diagrama mapa conceptual



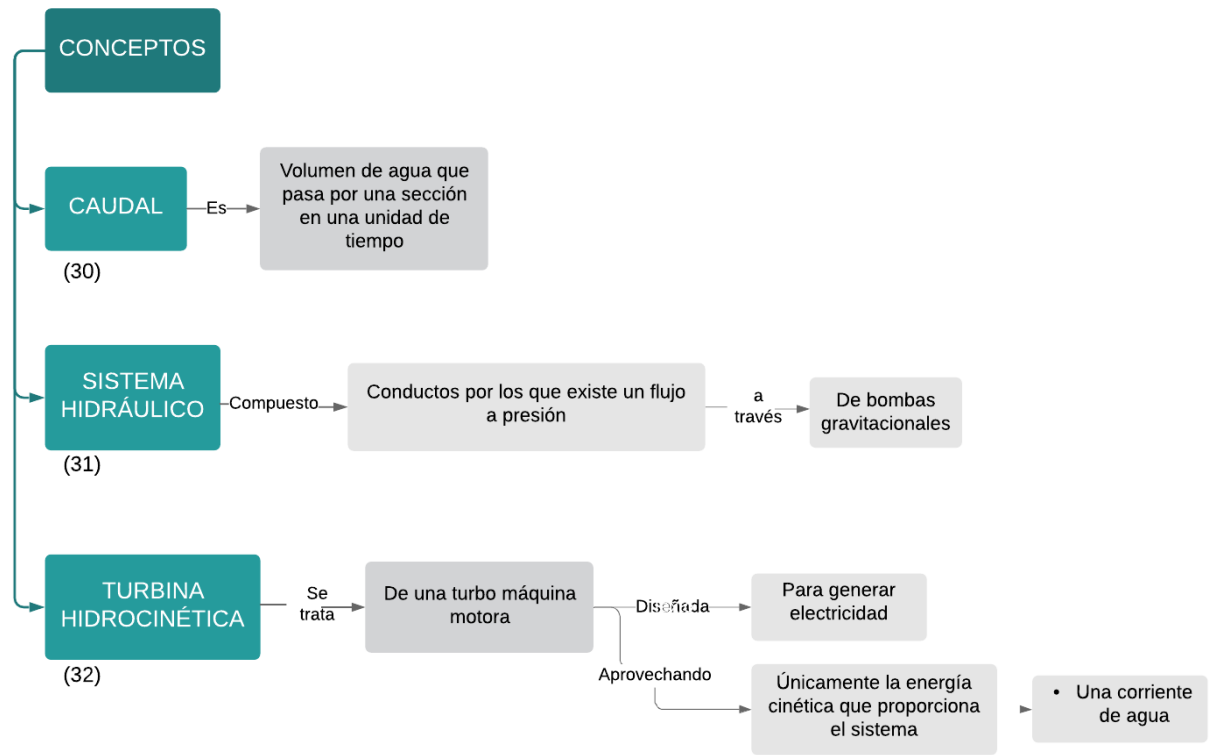
Fuente: Propia.

Gráfica 20 Diagrama mapa conceptual 2



Fuente: Propia.

Gráfica 21 Diagrama mapa conceptual 3



Fuente: Propia.

7. ALCANCES Y LIMITACIONES

7.2 ALCANCES

El alcance del presente trabajo de investigación, consiste en mostrar el comportamiento del flujo teniendo en cuenta las diferentes velocidades de la micro turbina con el fin de identificar el comportamiento del agua en la red de distribución. La investigación tiene como base el modelo de microturbina adaptando la geometría como se ha hecho en anteriores.

Para esto se desarrollará un montaje virtual, en donde se simula el equipo receptor de aforo de caudal del laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica de Colombia. Con un diámetro nominal de 4" se simula las condiciones que se pueden emplear en la red de acueducto de Bogotá; Mediante el cual se variará el caudal y las revoluciones por minuto (rpm) de la microturbina y de esta manera evaluar el comportamiento del flujo.

7.3 LIMITACIONES

En el desarrollo de la investigación se presentan las siguientes limitaciones:

La limitación más importante que se presentó durante el desarrollo del trabajo de grado fue la aparición de un brote nombrado COVID-19, el cual fue notificado por primera vez el 7 de enero del 2020 en la ciudad Wuhan, provincia de Hubei, China.

(33)

Este nuevo virus se ha expandido por todo el mundo de manera apresurada. El COVID-19 se propaga con gran facilidad por el contacto entre los seres humanos, o a través de las partículas que quedan suspendidas en el ambiente al toser o estornudar. Estas epidemias o también llamadas pandemias de infecciones respiratorias agudas como la gripe o el síndrome respiratorio agudo severo están creando una amenaza de gran magnitud a nivel mundial. Las vacunas o los

medicamentos antivirales en la actualidad han sido insuficientes para prevenir su propagación. El rápido aumento de la demanda al que se enfrentan los establecimientos sanitarios y los profesionales de la salud amenaza con sobrecargar algunos sistemas sanitarios e impedir su funcionamiento eficaz.

Por consiguiente «La mejor defensa contra cualquier brote es un sistema sanitario sólido» —subraya el Director General de la OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus—. «La COVID-19 muestra la fragilidad de muchos sistemas y servicios sanitarios en todo el mundo, y está obligando a los países a tomar decisiones difíciles sobre el mejor modo de satisfacer las necesidades de sus ciudadanos». (34)

El Gobierno Nacional Colombiano ha expedido unos decretos en donde declara estado de emergencia económico y social, de igual manera Bogotá declara la calamidad pública. Los siguientes apartados son extraídos del decreto 417 publicado el día 17 de marzo de 2020 Presidencia de la república de Colombia

- *El 7 de enero de 2020 la Organización Mundial de la Salud, identificó el nuevo coronavirus - COVID-19 y declaró este brote como emergencia de salud pública de importancia internacional.*
- *El 6 de marzo de 2020 el Ministerio de Salud y de la Protección Social dio a conocer el primer caso de brote de enfermedad por coronavirus - COVID-19 en el territorio nacional.*
- *El 9 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud, solicitó a los países la adopción de medidas prematuras con el objetivo de detener la transmisión y prevenir la propagación del virus.*

Dentro de estas medidas es quedarse en casa, lávese las manos frecuentemente, adoptar medidas de higiene respiratoria, mantener el distanciamiento social, evitar tocarse los ojos, la nariz y la boca, Si tiene fiebre, tos y dificultad para respirar, solicitar atención médica a tiempo.

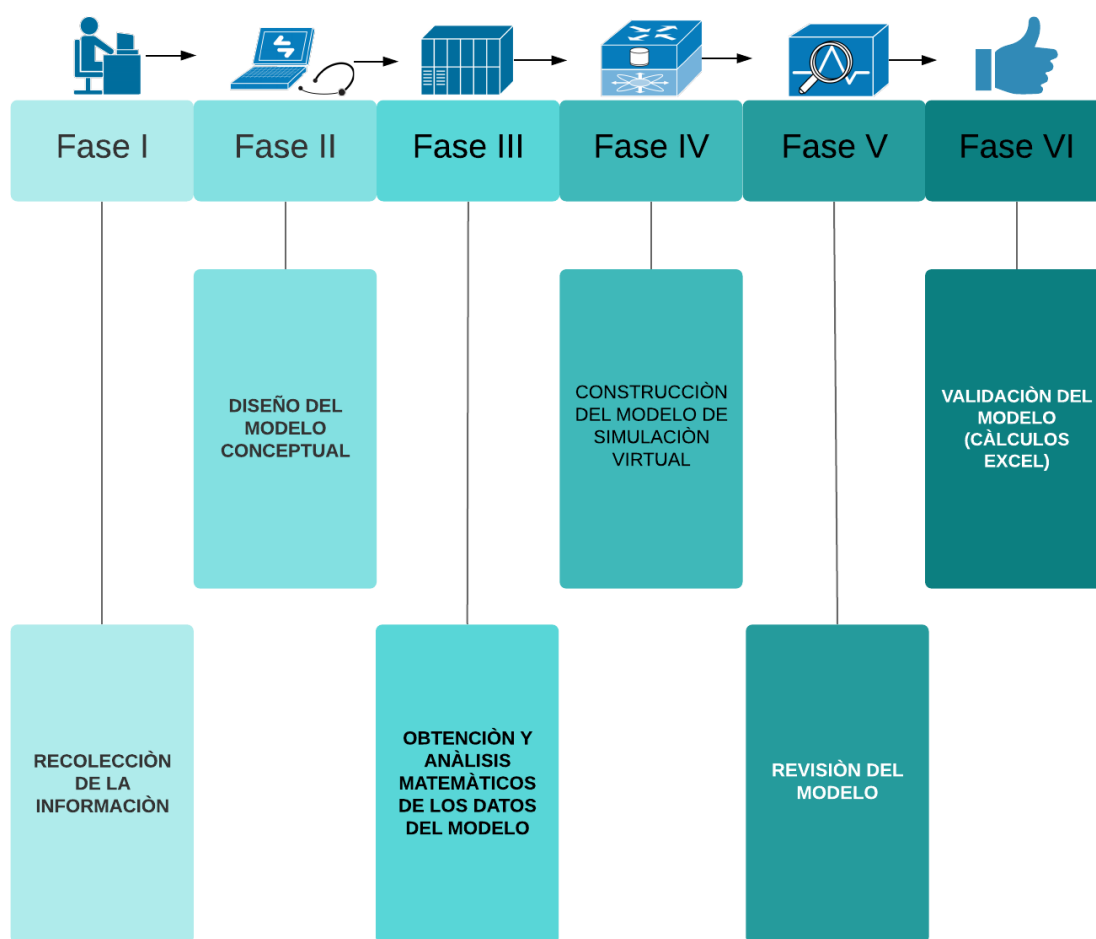
Por lo mismo para desarrollar este trabajo de grado de manera presencial y ejecutar el montaje del modelo físico en las instalaciones de la Universidad Católica de

Colombia y otras dependencias, en el cual se ha venido trabajando desde mediados del año 2019 no tienen viabilidad. Por tanto, todo el trabajo está basado en resultados y modelaciones virtuales debido a la crisis mundial la cual fue presentada anteriormente.

8. METODOLOGÍA

Para el adecuado desarrollo de esta investigación se realiza una planeación en donde se llevarán a cabo los objetivos anteriormente planteados, esta investigación inicia con una recopilación teórica en donde se analizarán las condiciones y limitaciones que estarán presentes. Para ejecutar el problema planteado, se van a tener en cuenta las siguientes fases con el fin de concluir con los objetivos propuestos.

Gráfica 22 Diagrama metodológico



Fuente: Propia.

9. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO VIRTUAL DE LA MICRO TURBINA HIDRÁULICA EN SOLIDWORKS

En este capítulo se va realizar una descripción del software con el fin de dar a conocer el abanico de soluciones que brinda, seguido de los pasos que se ejecutaron para realizar el modelo tridimensional de la microturbina hidráulica; asimismo se va a mostrar el modelo físico que se desarrolló en el transcurso de la investigación, y se van a presentar las características del material con el cual se hizo la impresión de la pieza diseñada.

9.1 DISEÑO VIRTUAL EN SOLIDWORKS DE LA MICRO TURBINA

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora 3D el cual permite modelar piezas y ensamblajes tanto en 2D y 3D. Esta herramienta ofrece un abanico de soluciones para satisfacer aspectos los cuales están componiendo el proceso del desarrollo de un producto. Este software ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar y gestionar los datos del proceso de diseño. (36)

El software anteriormente mencionado cumple con la labor de dar soluciones que ayuden a la aceleración de procesos ahorrando tiempo y dinero, en procesos de desarrollo de productos especializados.

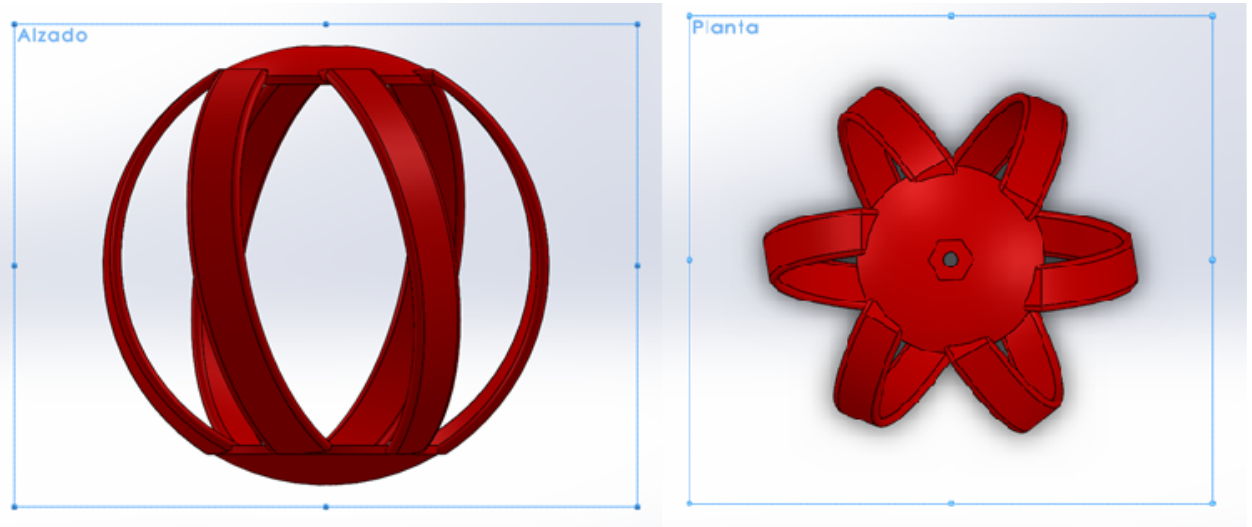
Dentro de las soluciones que presenta el programa se incluyen 4 líneas de productos diferentes que me mencionará a continuación:

1. Herramientas de diseño para crear modelos y ensamblajes para la fabricación mecánica, la cual automatiza documentos de inspección y genera documentación.
2. Herramienta de simulación para evaluar el diseño y garantizar que es el mejor.
3. Herramienta que permite evaluar el impacto medioambiental del diseño durante el ciclo de vida.

- Herramientas que reutilizan los datos CAD en 3D para simplificar el modo de crear, conservar y utilizar contenidos en la comunicación técnica.

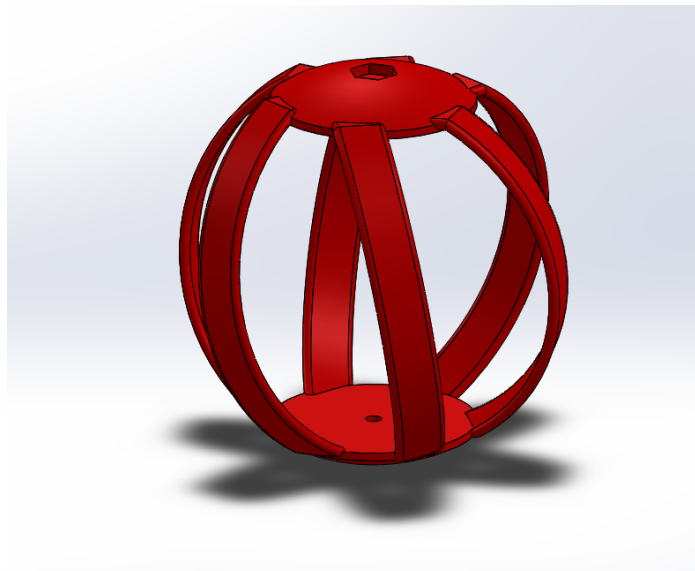
A continuación, se van a mostrar las vistas dimétrica, alzado Y planta del modelo de miro turbina hidráulica modelada en SolidWorks.

Gráfica 23 Vista en alzado y planta de la turbina en SolidWorks



Fuente: Propia

Gráfica 24 Vista Dimétrica de la turbina en SolidWorks

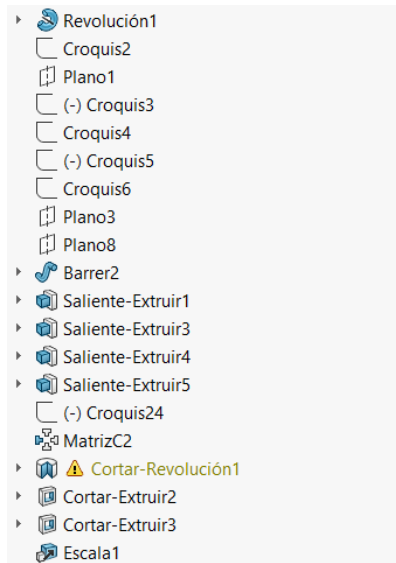


Fuente: Propia

9.1.1 PASO A PASO CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En este apartado se presenta una gráfica en donde se evidencian los pasos que se ejecutaron para dar origen al prototipo de micro turbina, además de dar los datos correspondientes del diseño, entre estos, se encuentra el ángulo de inclinación de los alabes, cantidad de estos y diámetro de toda la pieza.

Gráfica 25 Árbol de acciones SolidWorks



Fuente: Propia

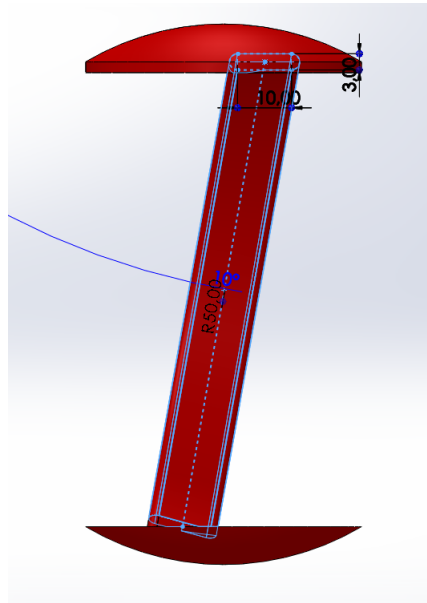
El primer paso para la construcción de la turbina fue generar los dos polos con la herramienta revolución como se muestra en la gráfica 26, por consiguiente, se sigue con la creación de la geometría de los alabes, determinando un ángulo de inclinación de 10° , con una curvatura de 50 mm de radio como se puede observar en la gráfica 27.

Gráfica 26 Pieza (Revolución)



Fuente: Propia

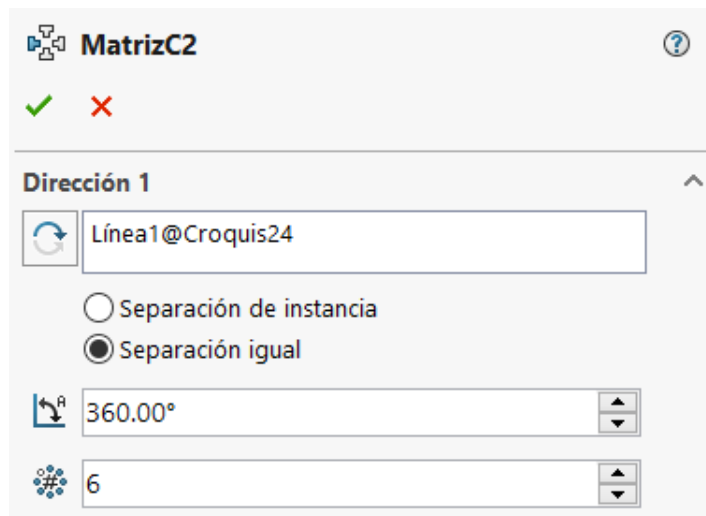
Gráfica 27 Pieza (Medidas álabes)



Fuente: Propia

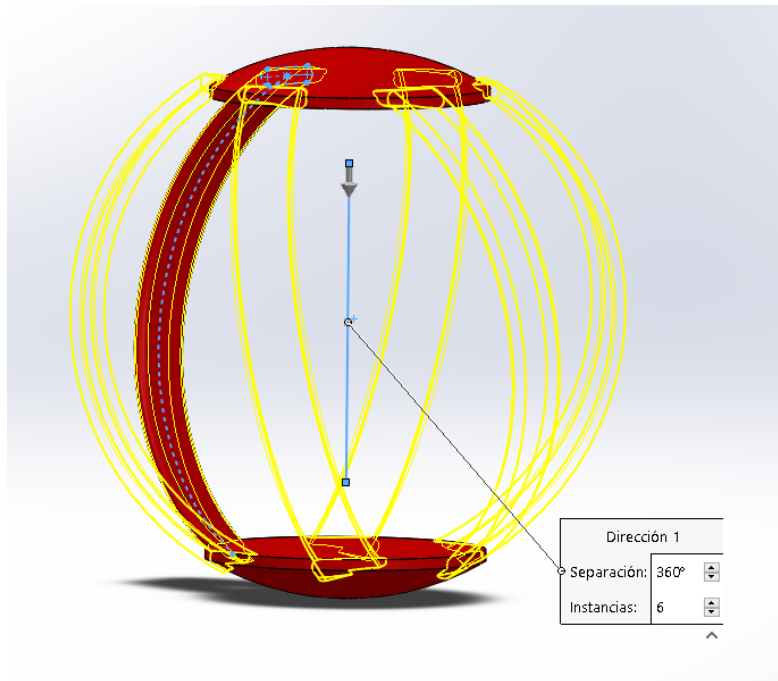
El siguiente paso es crear una matriz con un ángulo total de 360°, con 6 números de instancias.

Gráfica 28 Pieza (Datos Matriz)



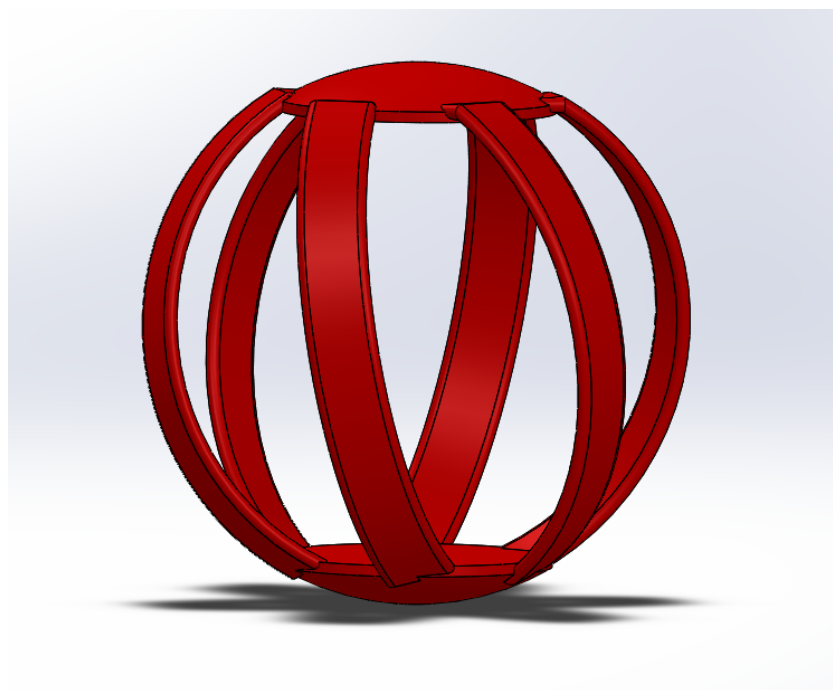
Fuente: Propia

Gráfica 29 Pieza (6 alabes)



Fuente: Propia

Gráfica 30 Pieza (Finalizada)



Fuente: Propia

9.1.2 IMPRESIÓN EN 3D

Para la impresión de la turbina fue necesario utilizar la impresora “CubePro duo” véase en la gráfica 30. La cual dispone la Universidad Católica de Colombia en los laboratorios de ingeniería industrial.

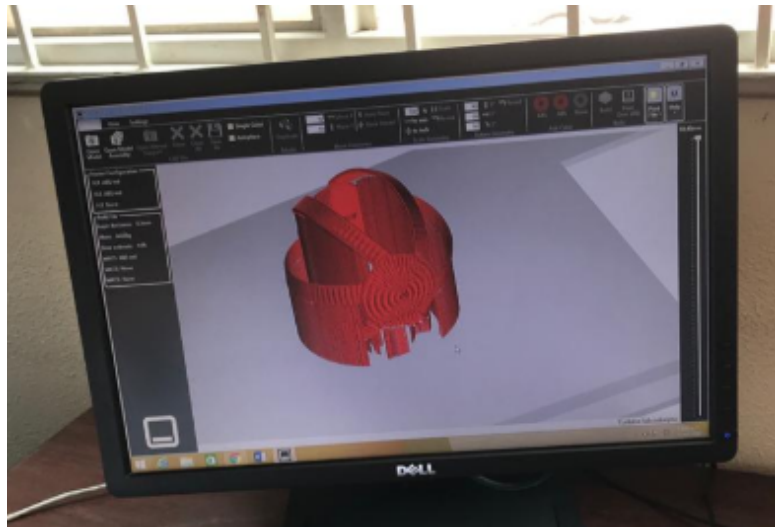
Gráfica 31 Impresora 3D CubePro Duo



Fuente: Propia

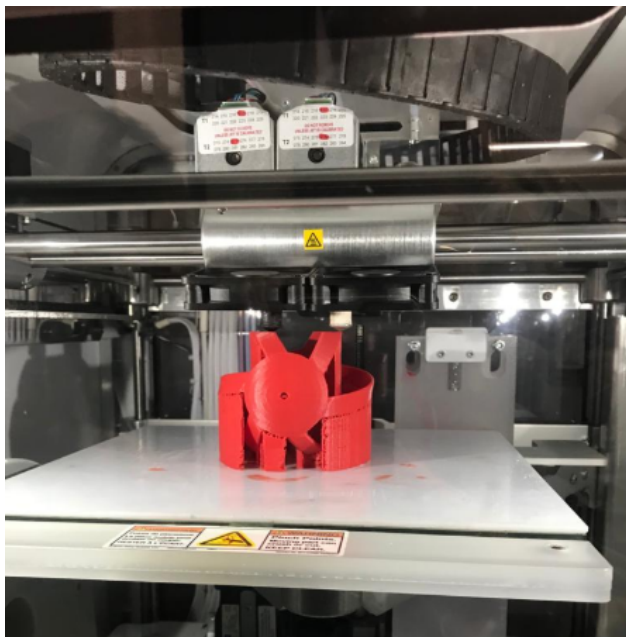
Al exportar el archivo desde SolidWorks la estimación en tiempo de construcción fue un total 5:39 Horas, Masa total 70.01 gramos.

Gráfica 32 simulación de la posición de la estructura de la pieza



Fuente: Propia

Gráfica 33 Proceso impresión 3D



Fuente: Propia

Gráfica 34 Impresión finalizada.



Fuente: Propia

9.1.3 MATERIAL DE LA TURBINA FÍSICA

El material con el que se realizó la impresión del prototipo de la turbina es un polímero termoplástico muy común en la industria, ABS. Una de sus características es la buena resistencia en bajas temperaturas.

El ABS es también llamado terpolímero, el cual generalmente se compone de un 20% de acrilonitrilo, 25% de butadieno y un 55% estireno. Para entender un poco estos porcentajes de los componentes dentro del plásticos se entiende que el estireno es el elemento que le da rigidez al ABS, entretanto el butadieno le da la resistencia al impacto. (37)

Características de ABS en la impresión 3D

- El filamento de ABS tiene una temperatura de fusión de aproximadamente los 200 °C.
- Es un plástico que se encoge al contacto con el aire, y al no tener precaución en este aspecto se puede generar el fenómeno de retiro o también llamada deformación de la pieza, por lo tanto, se puede desprender de la bandeja de impresión causando daños en el prototipo.
- La recomendación es aplicar en la superficie de la bandeja un adhesivo especial como una laca adhesiva.
- Debido a las emisiones de partículas que emite el plástico ABS durante la impresión son peligrosas para el usuario, por esta razón es preferible una impresora 3D con cámara cerrada.

Fabricantes del filamento

Hoy en día esta industria está en crecimiento y existen varios proveedores, a continuación, se van a mencionar 4: Stratasys, Esun, Ultimaker, FormFutura, Innofil3D. Se pueden encontrar un amplio catálogo de colores, con precios que varían entre los \$60.000 COP y los \$200.000 COP dependiendo de la marca. (36)

Durante el desarrollo del trabajo de grado se presentaron varias limitaciones las cuales no permitieron que el proyecto se desarrollara como se había planeado en la propuesta de trabajo de grado, el cual era realizar de manera experimental el estudio de la micro turbina hidráulica y determinar la cantidad de energía eléctrica que iba podría generar con esta.

La microturbina construida en la impresora 3D, queda en condiciones óptimas para su futuro uso.

9.2 DISEÑO VIRTUAL EN SOLIDWORKS DE UNA SECCIÓN DE RED

Al igual que el capítulo 9.1 se va a presentar el modelo correspondiente al módulo de laboratorio de hidráulica de la universidad católica de Colombia, con el fin de delimitar el espacio del proyecto.

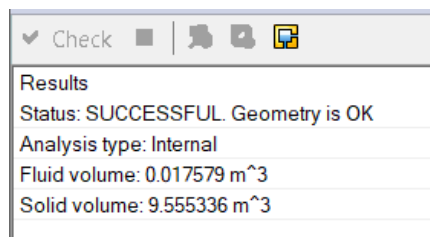
A continuación, se van a mostrar las vistas dimétricas, alzado y planta del modelo de red.

9.2.1 PASO A PASO CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En primera instancia fue fundamental la toma de longitudes de la red en el módulo de laboratorio de la universidad católica de Colombia, con estos datos se logró construir el modelo virtual, así mismo, efectuar la simulación con los límites de frontera determinados.

Check Geometry

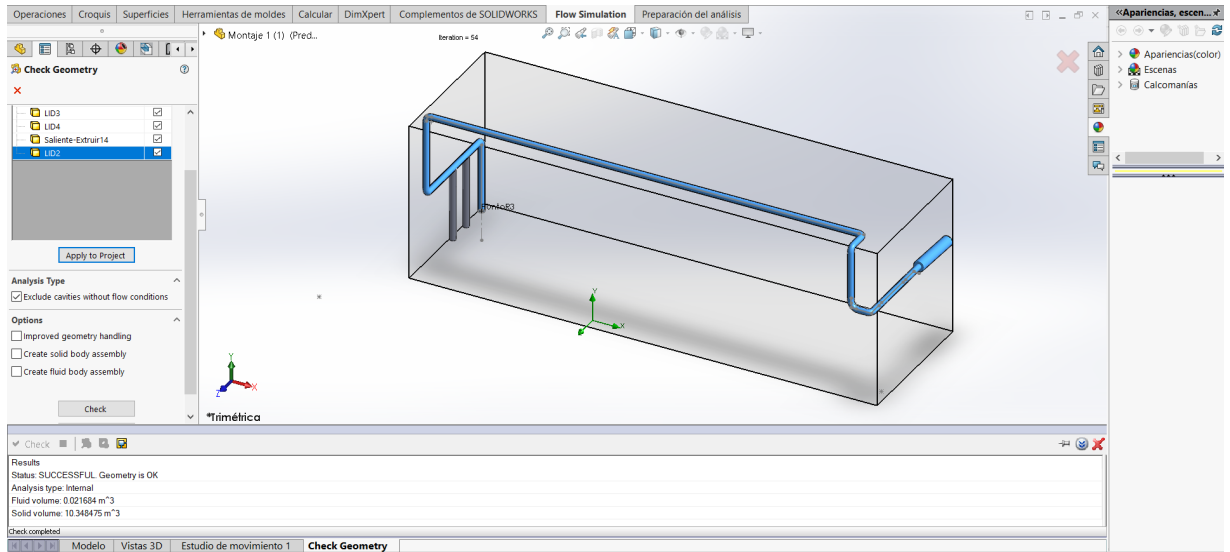
Esta función consiste en reconocer todos los elementos internos del modelo y comprobar que la tubería es continua y no existan fugas, para la adecuada ejecución.



En los esquemas presentados a continuación, se ve una representación del sistema que se tiene en el laboratorio de la universidad católica de Colombia, esta de modo virtual con el fin de poder generar simulaciones que contribuyan con la investigación.

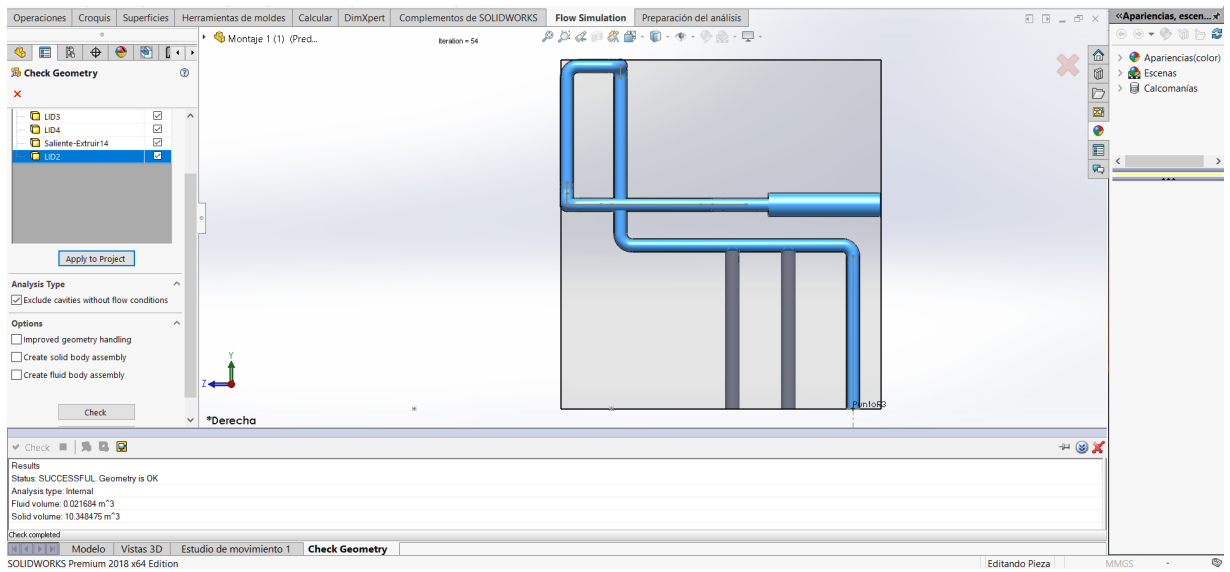
El flujo en la simulación está representado por un color azul, mediante el cual se evidencia el recorrido que posee el fluido en el sistema modelado.

Gráfica 35 . Vista global sistema.



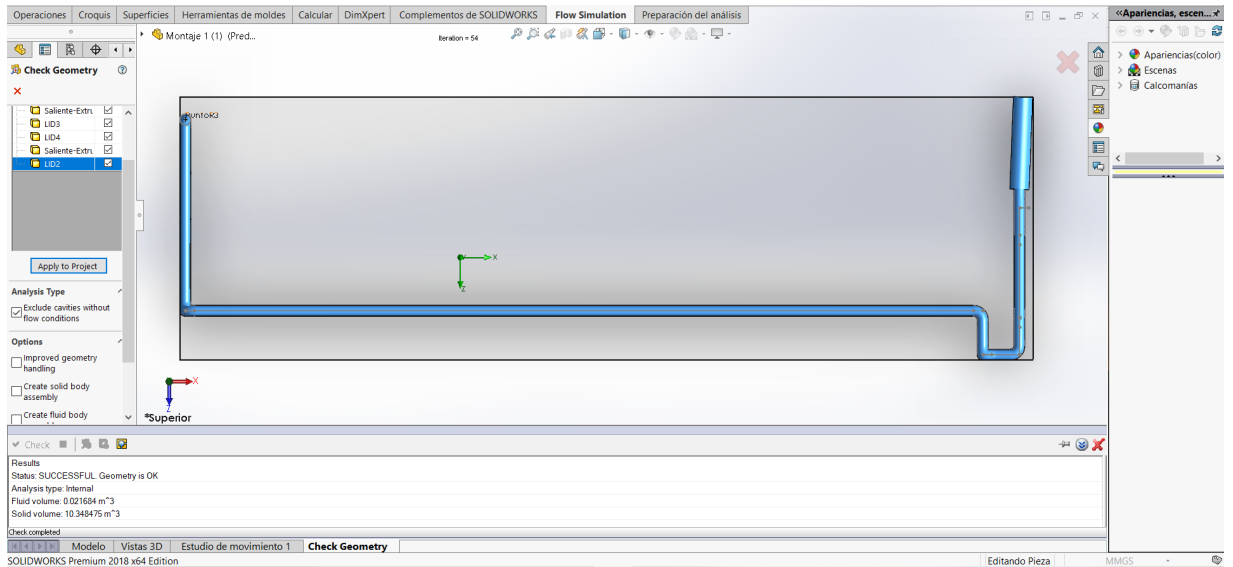
Fuente: Propia

Gráfica 36 Vista frontal sistema.



Fuente: Propia

Gráfica 37 Vista en planta sistema.



Fuente: Propia

Las condiciones empleadas para la simulación del modelo virtual fueron las siguientes:

- Presión de 18000 mmH₂O (milímetros columna de agua)
- Volumen de flujo de 0.007 m³/s.

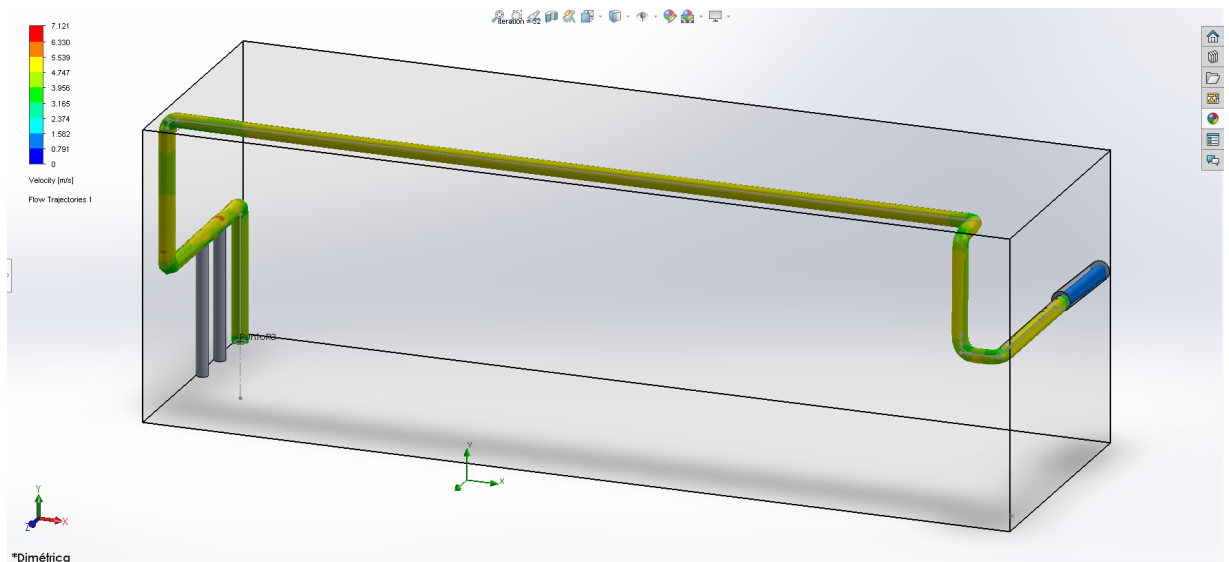
Ambos datos fueron suministrados por el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, lo anterior con el fin de describir las características y condiciones hidráulicas del sistema.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Velocidad

En la gráfica 38 se mostrará los datos modelados de la velocidad, dentro de la simulación de la red.

Gráfica 38 Modelación virtual, Velocidad.



Fuente: Propia

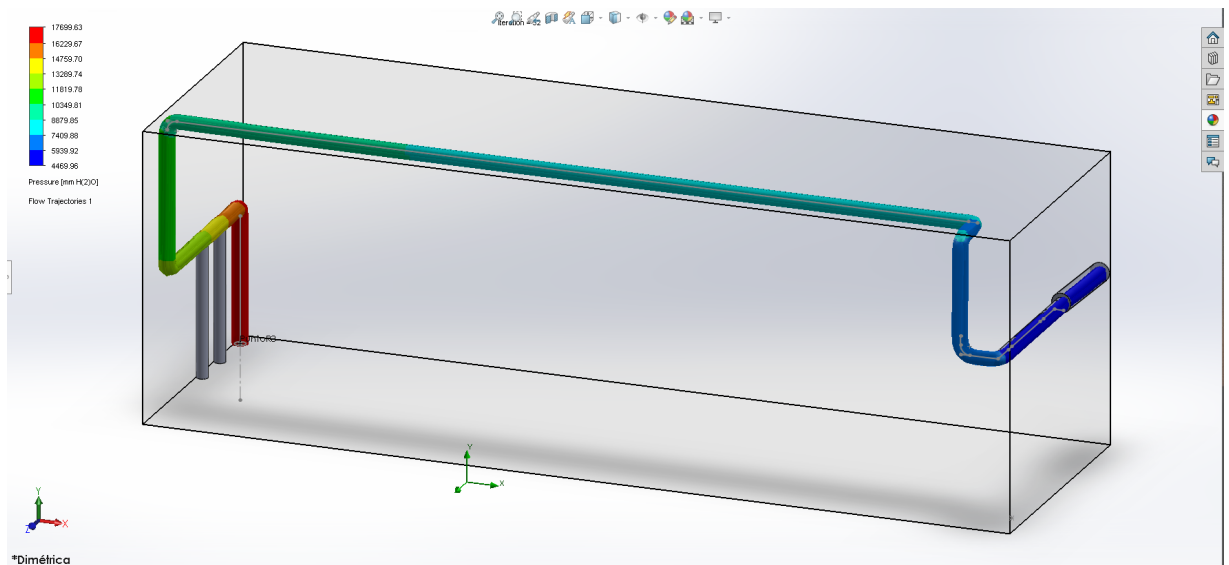
Los datos arrojados por el modelo nos muestran que el flujo posee unas velocidades en el intervalo de 0.8 a 4.5 m/s aproximadamente lo cual se refleja en los cálculos realizados teóricamente del sistema.

Estos datos se encuentran dentro del rango de los valores obtenidos en las hojas de cálculo anexadas (ver tabla 5), en donde se obtienen una velocidad de 2,9 m/s para las tuberías de 2 pulgadas de diámetro y una velocidad de 0,83 para la tubería de 4 pulgadas, esta variación de velocidades se da debido al cambio de área transversal de la sección y el cambio en la rugosidad de los materiales manejados.

Presión

En la gráfica 39 se evidencia el comportamiento de la presión del flujo a lo largo del sistema, en donde nos arroja un intervalo de valores de la presión del flujo en el sistema de 5 a 18 metros columna de agua (mca), así mismo se las variaciones de presión se dan gracias al cambio de material y de diámetro de las tuberías empleadas en el sistema.

Gráfica 39 Modelación virtual, presión.



Fuente: Propia

Al emplear varias rugosidades, las pérdidas por fricción van a aumentar dependiendo de la rugosidad del material lo cual nos provee una pérdida de energía en el sistema que se evidencia principalmente en los cambios de presión, los valores calculados se encuentran dentro de los intervalos arrojados por el software empleado para la modelación.

Gráfica 40 Reporte generado por software virtual

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Av Static Pressure 1	[mm H(2)O]	8607.10	8769.92	8598.31	9149.21	100	Yes	550.91	1337.06
GG Av Total Pressure 1	[mm H(2)O]	9483.28	9646.07	9474.05	10026.49	100	Yes	552.44	1337.00
GG Av Dynamic Pressure 1	[mm H(2)O]	876.18	876.15	875.10	877.28	100	Yes	2.18	2.40
GG Av Velocity 1	[m/s]	3.819	3.819	3.817	3.821	100	Yes	0.001	0.008

Fuente: Propia

10. CÁLCULO

Para el cálculo y el análisis de las pérdidas generadas en el sistema por parte de la micro turbina hidráulica modelada, fue necesario realizar una memoria de cálculo con el fin de tener claro todos los cálculos realizados a partir de los datos obtenidos en el laboratorio, ecuaciones teóricas y modelaciones virtuales. Por lo tanto, se realizará una breve descripción de la metodología empleada para el desarrollo de estos.

A partir de investigaciones como las presentadas en el estado del arte y el marco teórico, se vio la necesidad de desarrollar el proyecto de manera teórica y virtual. Por medio de la simulación da el detalle del comportamiento del flujo dentro de la tubería con la presencia de la micro turbina hidráulica, con la intención de identificar como afecta el prototipo al flujo con algunas condiciones que se pueden presentar en una red de suministro.

Las pérdidas de energía en un sistema de tuberías están dadas por la fricción, lo que se refiere a la longitud, material de la tubería y el caudal en la misma; también, pérdidas menores en las cuales se refleja las pérdidas que generan los accesorios que se encuentran en el sistema, estas características importantes componen las tablas 5 y 7.

Así mismo se realizaron estos cálculos con el fin de obtener un coeficiente de pérdidas menores generado por la turbina.

Lo primero es identificar las características del flujo dentro de la tubería para así poder tener una idea de los cálculos a realizar y valores de las constantes necesarias en estos, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Características del flujo

Caudal (L/s)	7
Caudal (m³/s)	0,007
Viscosidad	1,14E-06
Gravedad (m²/s)	9,81

Fuente: Propia

Además, se deben encontrar los aportes de la bomba al sistema y así poder tener cálculos de presiones claros, como se evidencia en la tabla 4.

Tabla 4 Potencia transmitida por la bomba.

Potencia transmitida por la bomba al flujo	
P (kw)	2237,1
η	0,75
ρ (kg/m³)	999,1
Ht	24,45517

Fuente: Propia

El dato de la potencia de la bomba se tomó de las propiedades entregadas por el fabricante de las bombas (Anexo A), la eficiencia de esta se tomó de los datos teóricos proporcionados por los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia y se asumió una densidad del agua a una temperatura de 20.5 °C.

Luego se procede a encontrar las características de las tuberías que componen el sistema, así como de los diferentes materiales existentes, como se muestra en la Tablas 5; En la tabla se deja en evidencia las características de las tuberías dependiendo del material que las conforman, en estas tablas se registran valores principales como, la rugosidad de los materiales (ϵ), el área de la tubería (A) proporcionada debido al manejo de esta en el laboratorio, cada dato justificado con los cálculos correspondientes.

Tabla 5 Características de las tuberías.

Tubería	L(m)	D (mm)	D (m)	Area (m2)	Vel. (m2/s)	ε (mm)
1 Hierro	0,91	54,58	0,05458	0,002340	2,9919	0,24
2 PVC	6,15	54,58	0,05458	0,002340	2,9919	0,0015
3 acrilico	0,4	103,42	0,10342	0,008400	0,8333	0,0015
	7,46					

Fuente: Propia.

10.1 PÉRDIDAS LINEALES

En este título se emplean las ecuaciones vistas en el marco teórico, como lo son el Número de Reynolds, La ecuación de Darcy-Weisbach y con esta la aplicación de Colebrook-White.

A continuación, se muestra la tabla donde se encuentran los resultados de la aplicación de las fórmulas.

Tabla 6 . Ecuación Darcy y Colebrook-White

ε/D	Re	f	lq.	Der.	Objetivo	h
0,0043972	1,43E+05	0,0299483	5,77848368	5,78E+00	5,44E-04	0,359231
0,0000275	1,43E+05	0,01689674	7,69304905	7,69E+00	9,59E-04	0,868616
0,0000145	7,56E+04	0,01915333	7,22566597	7,23E+00	1,51E-04	0,002622
					H total	1,230469

Fuente: Propia

En la tabla anterior el cálculo del factor de fricción f, se realiza a través de iteraciones de la ecuación de Colebrook-White, en donde se busca que la siguiente igualdad tenga el valor de 0, dándole valores al f para que esto suceda hasta que se encuentre un valor de f que nos arroje un valor muy aproximado a 0.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Después de haber encontrado el valor del factor de fricción para cada tramo de tubería se procede a reemplazar, en la ecuación principal de Darcy-Weisbach para así determinar las pérdidas lineales en los tramos.

10.2 PÉRDIDAS MENORES

Para el cálculo de pérdidas menores se empleó la ecuación general, dentro de la cual se encuentra un coeficiente K, este es individual y característico de cada accesorio, se encuentra el coeficiente por medio de la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{L_e}{D} f_t$$

Donde:

K_m- Coeficiente de pérdidas por accesorios

L_e- Longitud efectiva (m)

D- Diámetro de la tubería (m)

F_t- Factor de fricción de la tubería

Dentro de estos factores, la Longitud efectiva nos la otorga el fabricante del accesorio y el Factor de fricción es el encontrado para cada tramo en el capítulo **9.1 PÉRDIDAS LINEALES** del presente trabajo.

Una vez encontrado este factor se reemplaza en la ecuación general junto con datos característicos como la velocidad del flujo, y constantes como la gravedad.

$$hm = K_m * \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde:

hm- Pérdidas menores pero accesorios (m)

Km- Coeficiente de pérdidas menores en accesorios

v- Velocidad del flujo (m/s)

g- Gravedad (m²/s)

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7 Pérdidas menores en el sistema.

Accesorios	Le/D	f	Ks	Cantidad	Hm	Hmt
Codo estandar de 90 ° Hierro	30	0,0299483	0,90	2	0,40990	0,81980
Codo estandar de 90 ° PVC	30	0,01689674	0,51	4	0,23126	0,92505
Te estandar flujo tramo Hierro	20	0,0299483	0,60	3	0,27327	0,81980
Te estandar flujo rama PVC	60	0,01689674	1,01	1	0,46253	0,46253
Valvula compuerta abierta Hierro	13	0,0299483	0,39	1	0,17762	0,17762
Valvula compuerta abierta PVC	13	0,01689674	0,22	1	0,10021	0,10021
Expansión			0,2	1	0,09125	0,09125
Reducción			0,35	1	0,01239	0,01239
					Hm TOTAL	3,40865

Fuente: Propia.

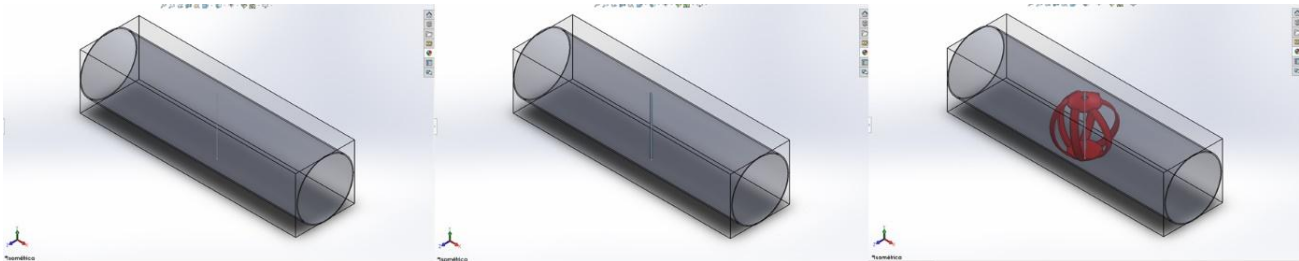
Por lo tanto, dados los resultados obtenidos en los capítulos **9.1 PÉRDIDAS LINEALES** y **9.2 PÉRDIDAS MENORES** se obtienen unas pérdidas totales en el sistema de 4,6391 m para un caudal de 7 L/s.

11. SIMULACIÓN DE LA TURBINA EN SOLIDWORKS

Para poder realizar la simulación se debió crear un ensamble con el fin de delimitar las condiciones de frontera (boundary) para cada uno de los elementos, como se presenta en la gráfica 41 en donde se evidencian las tres componentes principales (tubería, eje, turbina) y de esta manera ejecutar la simulación; En las gráficas se muestra una sección de tubería de diámetro 4" con un eje de referencia para ubicar el eje en el punto correspondiente y de manera análoga ubicar el elemento principal que es la turbina.

De igual manera, este ensamble es la base para poder realizar la simulación con el análisis dinámico del flujo en el software ANSYS FLUENT, esto ya que es la mejor herramienta para resolver el objetivo general del presente proyecto de trabajo de grado.

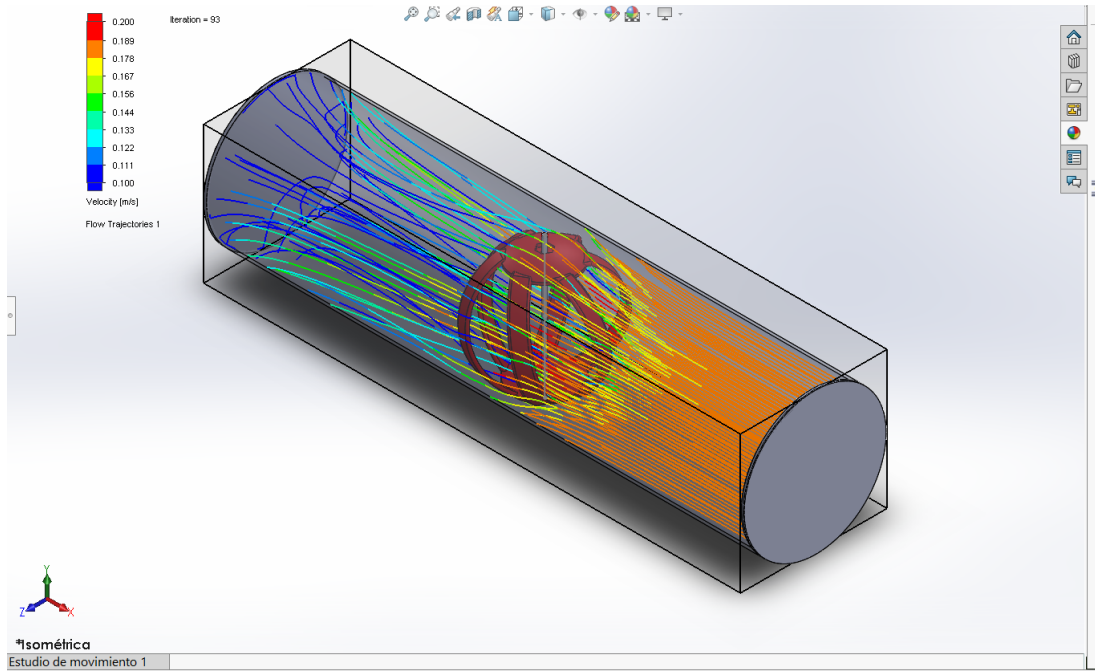
Gráfica 41 Componentes principales (Tubería, eje, turbina)



Fuente: Propia.

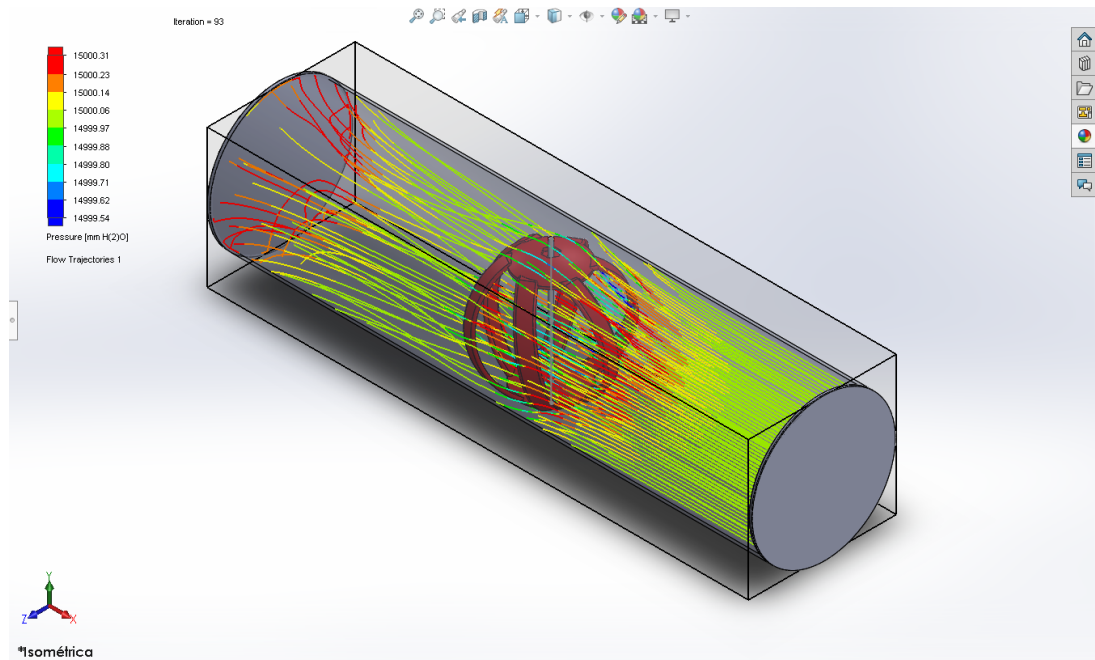
En las gráficas 42 y 43 se muestra la simulación estática del flujo, en donde se presenta respectivamente los rangos de velocidad y presión dentro de la sección analizada. Así mismo, se aprecia que el flujo al entrar en contacto con la turbina tiene una distribución gradual hacia los límites de la geometría, es decir las paredes de la tubería.

Gráfica 42 Simulación en SolidWorks (Velocidad)



Fuente: Propia.

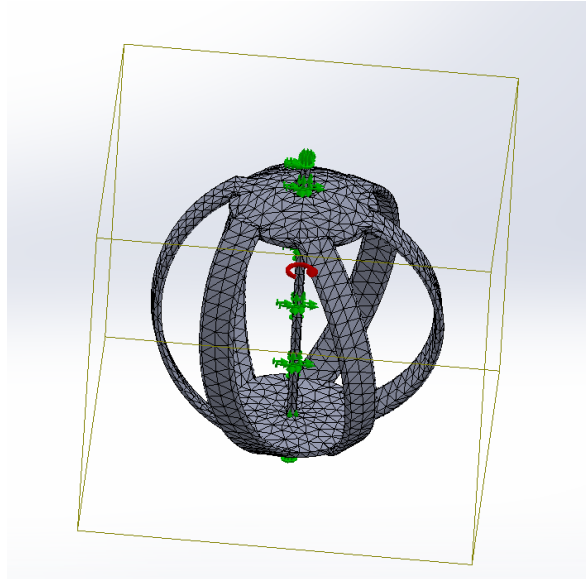
Gráfica 43 Simulación SolidWorks (Presión)



Fuente: Propia

Pieza

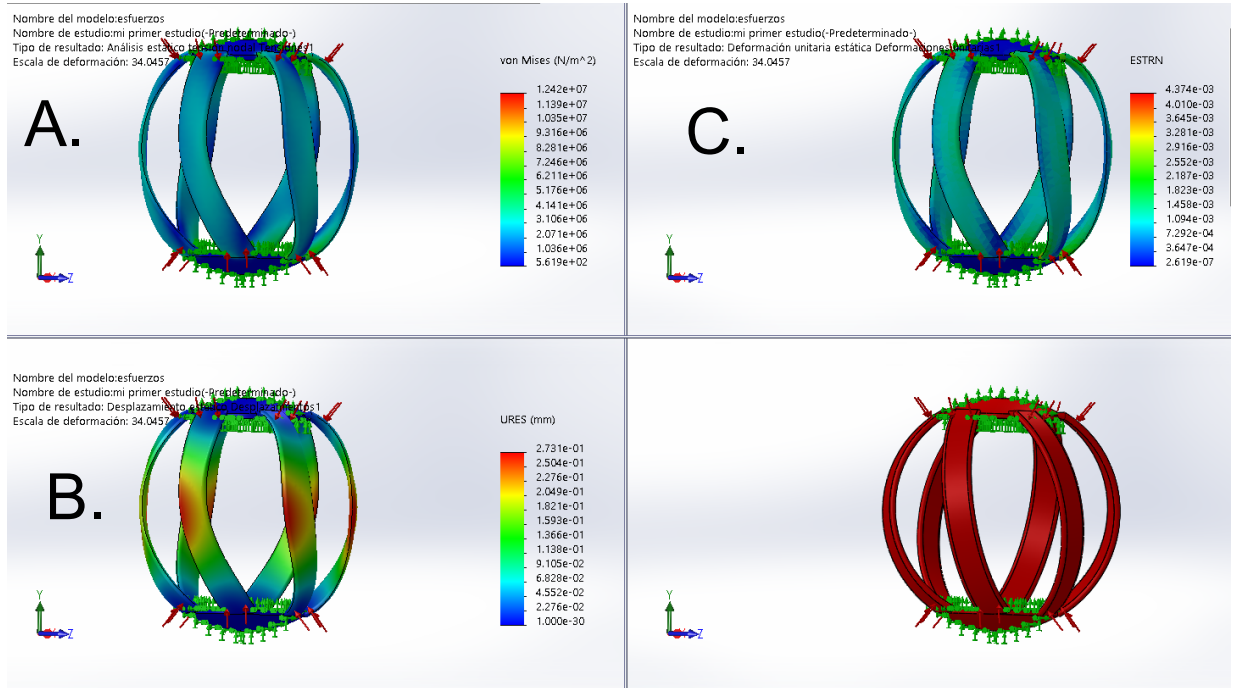
Gráfica 44 Malla para el análisis estático



Fuente: Propia

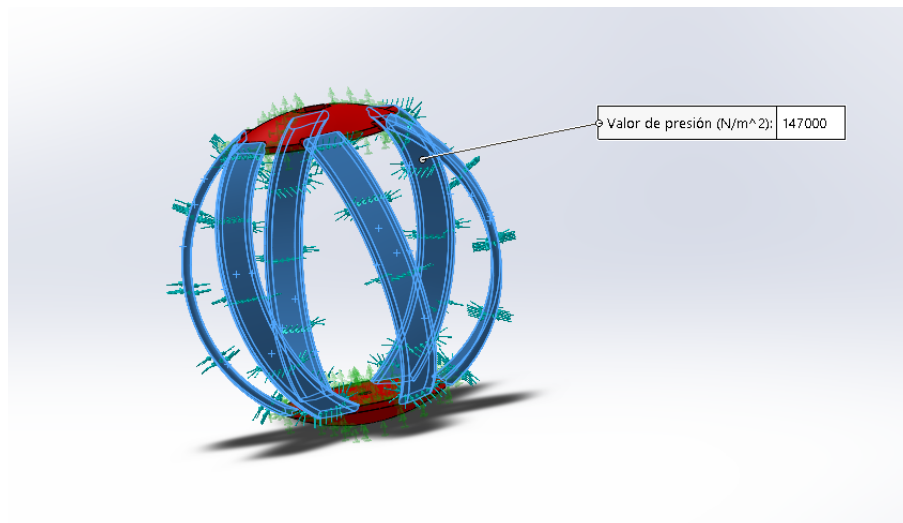
En la gráfica 45 se presenta en A. Análisis estático a tensión con valores en el intervalo $[5.619e+02 - 8.281e+06] \frac{N}{m^2}$; B. El desplazamiento estático generado en los álabes, debido a los esfuerzos del flujo con valores de intervalo $[1.000e-30 - 2.731e-01]$ mm (URES - Resultante del desplazamiento), Además, de evidenciar zonas de desplazamiento máximos en el punto medio de todos los elementos verticales; C. La deformación unitaria estática está dada por los valores entre los $[2.619e-07$ y $2.552e-03]$ (ESTRN – Deformación unitaria).

Gráfica 45 Análisis de los esfuerzos estáticos



Fuente: Propia

Gráfica 46 Distribución de fuerzas



Fuente: Propia

Una vez terminado el análisis estático de los esfuerzos que ejerce el flujo sobre la turbina en el software SolidWorks, se continua con el análisis dinámico en Ansys Fluent.

12. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE ANSYS FLUENT

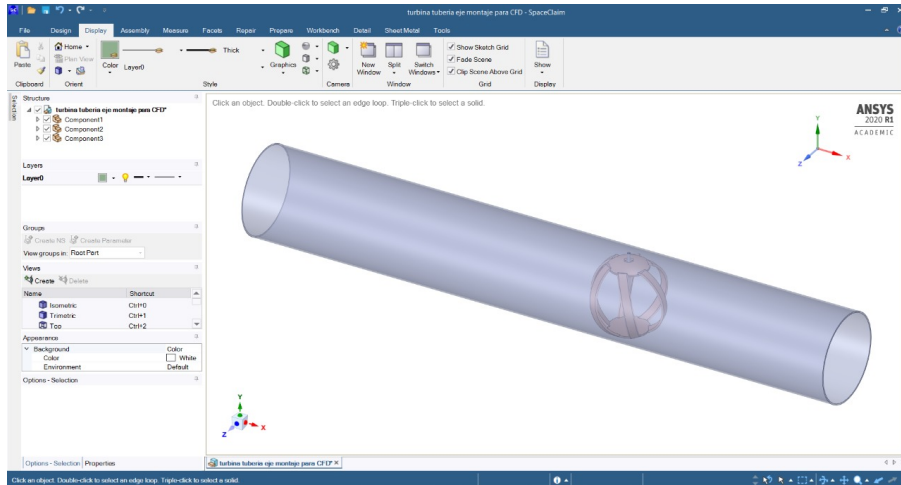
En la ejecución de la simulación Ansys Fluent es muy importante conocer las características del flujo que se va a evaluar, ya que es el fenómeno más crítico, por ende, requiere de más esfuerzo computacional para poder resolver los modelos matemáticos.

En esta investigación se definió la estrategia numérica RANS (Reynolds Averaged Navier-Stoker) para el modelado de turbulencia; esta estrategia resuelve el promedio de las variables en el tiempo, y es la más empleada con CFD. (12) La conducta de los fluidos es poco intuitiva, por lo que prever su impacto en el desarrollo de los procesos y productos es muy complejo. Esto se debe a que no se cuenta con puntos de referencia teóricos, por esto, la ruta para definir de manera asertiva el estado del flujo se reduce a estudiar otras investigaciones realizadas las cuales se mencionan en el capítulo 5.2 Estado del arte, de esta manera entender la geometría que fue usada para adaptarla al modelo de esta investigación.

En el desarrollo de la simulación fue necesario importar el ensamble desarrollado anteriormente en SolidWorks como se fue detallado en el capítulo 9.1, dentro del simulador se tomó la decisión de alargar la tubería en la siguiente proporción 5 diámetros aguas arriba y 4 diámetros aguas abajo, con el fin, de estudiar mejor el comportamiento del flujo.

Paso 1: Abrir la geometría diseñada en SolidWorks en la mesa de trabajo Space Claim.

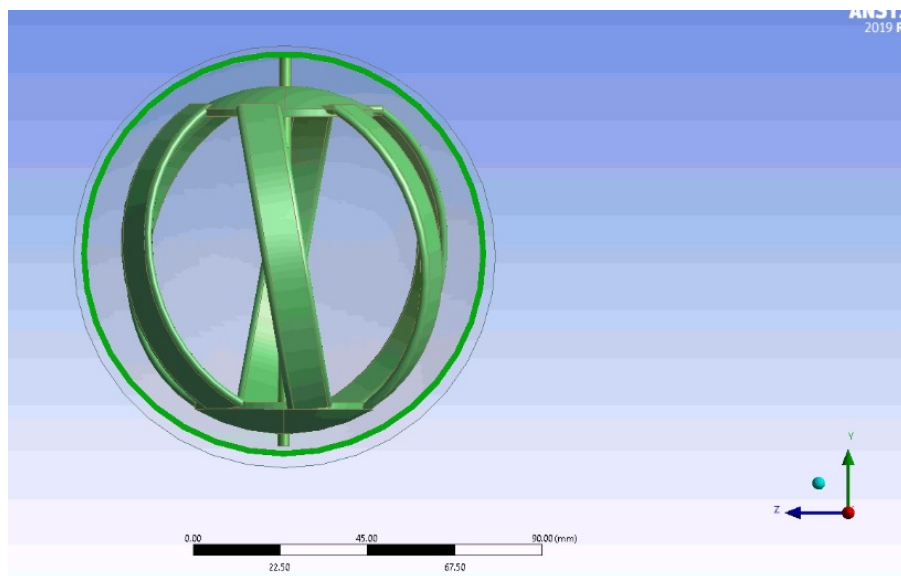
Gráfica 47 Importar la geometría en Space Claim



Fuente: Propia

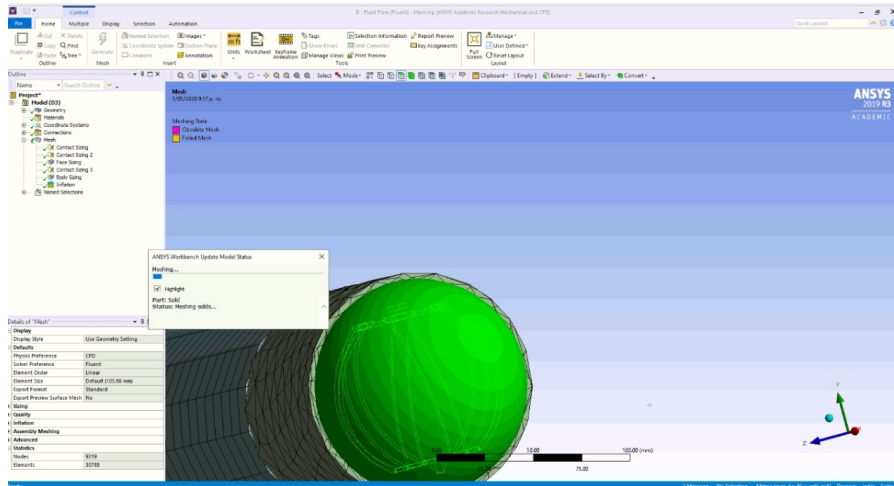
Paso 2: Crear la Malla (Mesh) teniendo los dominios separados. Con la intención de mallar el tubo como un sólido para definir en este el fluido (agua).

Gráfica 48 Vista frontal del modelo



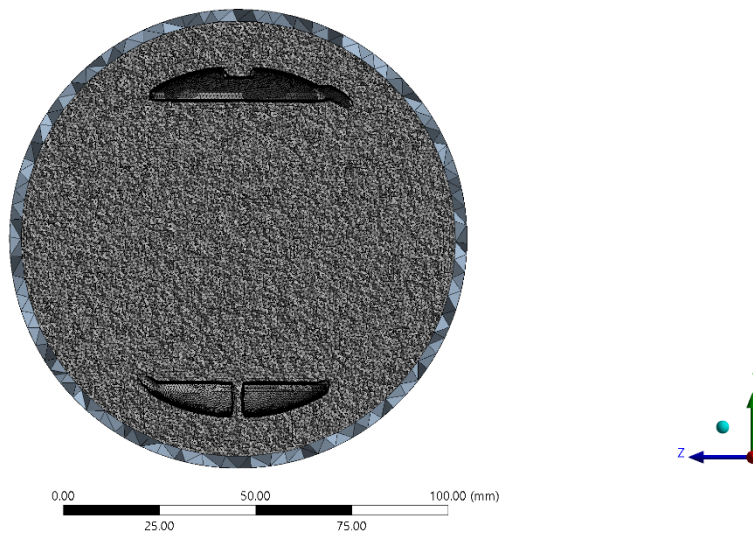
Fuente: Propia

Gráfica 49 Proceso de mallado



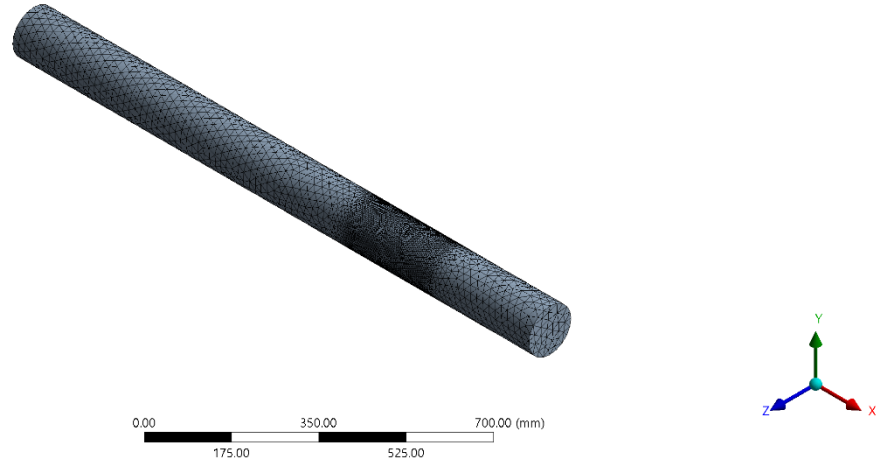
Fuente: Propia

Gráfica 50 Malla final vista frontal



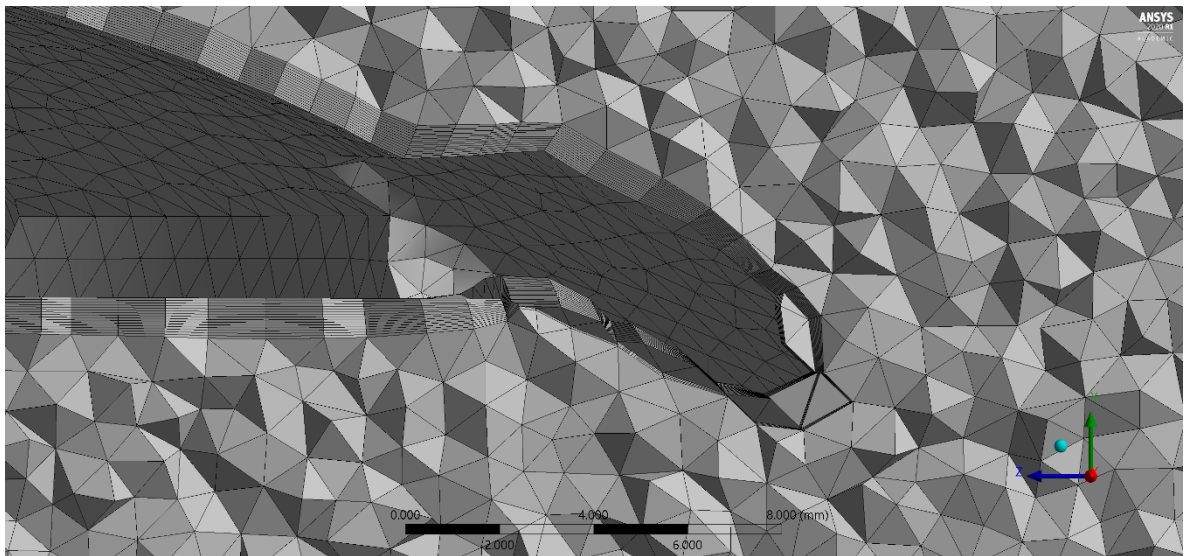
Fuente: Propia

Gráfica 51 Malla final vista isométrica



Fuente: Propia

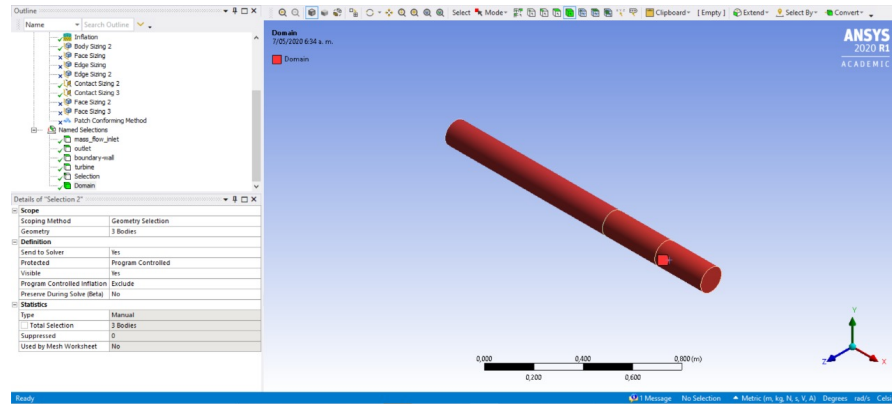
Gráfica 52 Detalle de la malla



Fuente: Propia

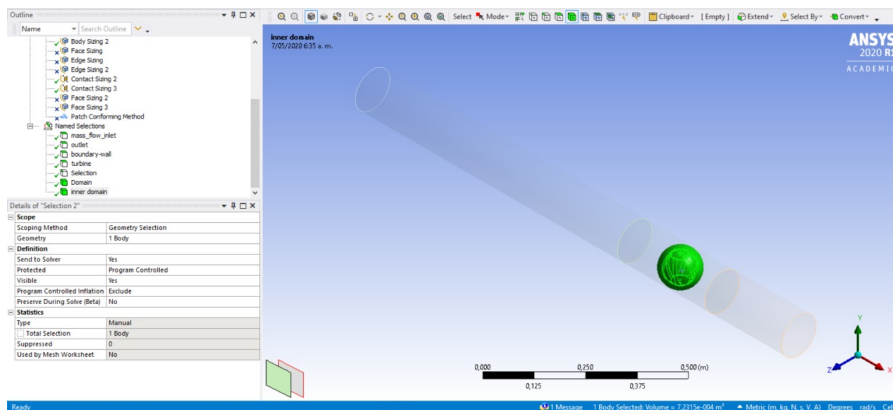
3 Paso: Generar dominios

Gráfica 53 Body Domain (1)



Fuente: Propia

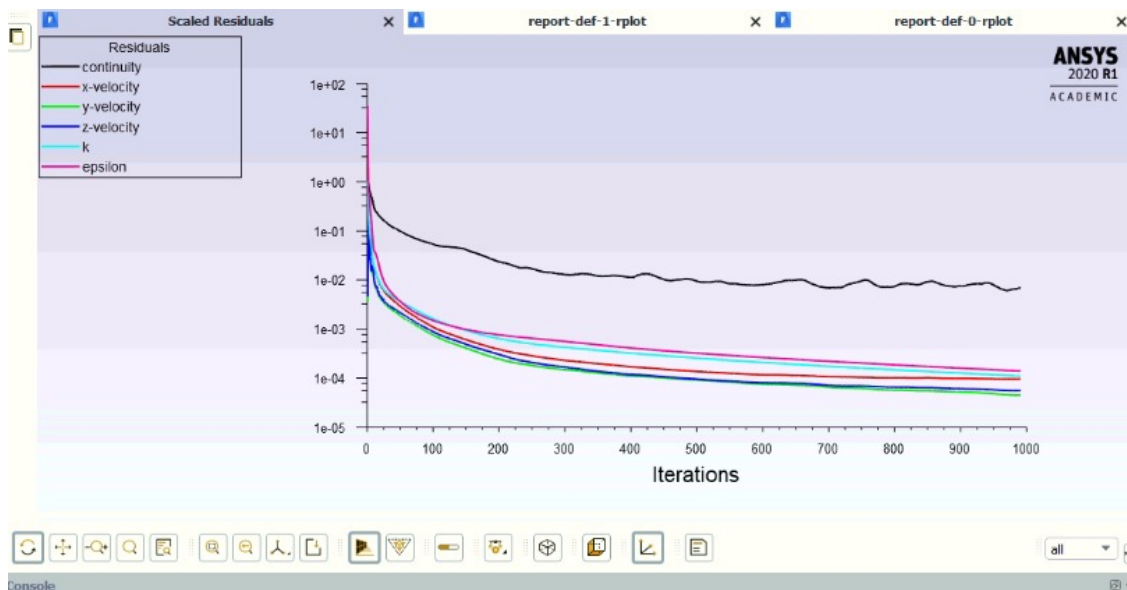
Gráfica 54 Inner domain



Fuente: Propia

Paso 4: Condiciones de frontera: Flujo másico 7 kg/s, Presión = 147150 Pa

Gráfica 55 iteraciones para resolver el modelo

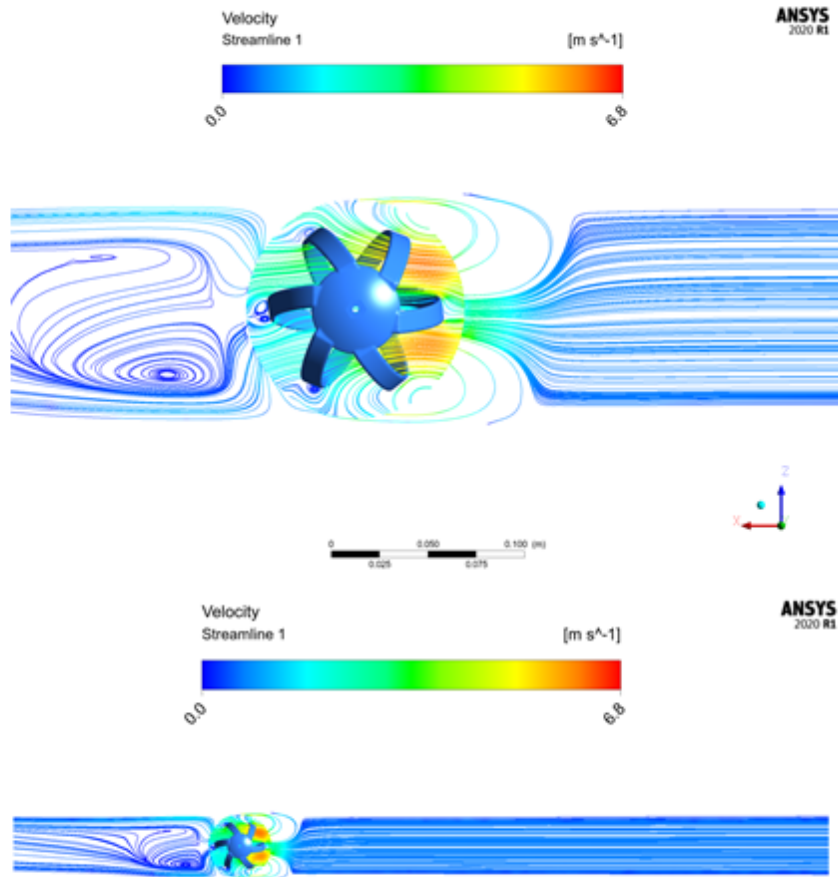


Fuente: Propia

En la gráfica 55 se muestra una representación del número de iteraciones que fueron necesarias para llevar el modelo a su punto de convergencia, de esta manera, genera datos con valores dentro de los rangos cercanos a la realidad. Para concluir el trabajo de investigación es necesario evidenciar las líneas de flujo generadas por el software, y de esta manera hacer el análisis correspondiente al comportamiento del flujo.

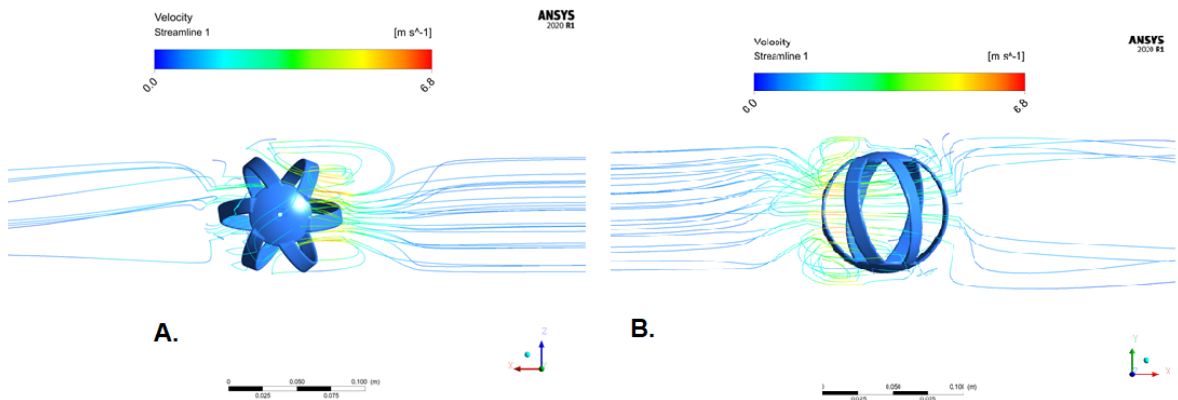
En las gráficas 56, 57 y 58 se presentan las líneas de corriente relacionadas con el flujo, representando así las diferentes vistas de la velocidad dentro de la tubería; como lo son la vista en planta y vista en alzado correspondientes.

Gráfica 56 Vista en planta línea de flujo Velocidad 1



Fuente: Propia

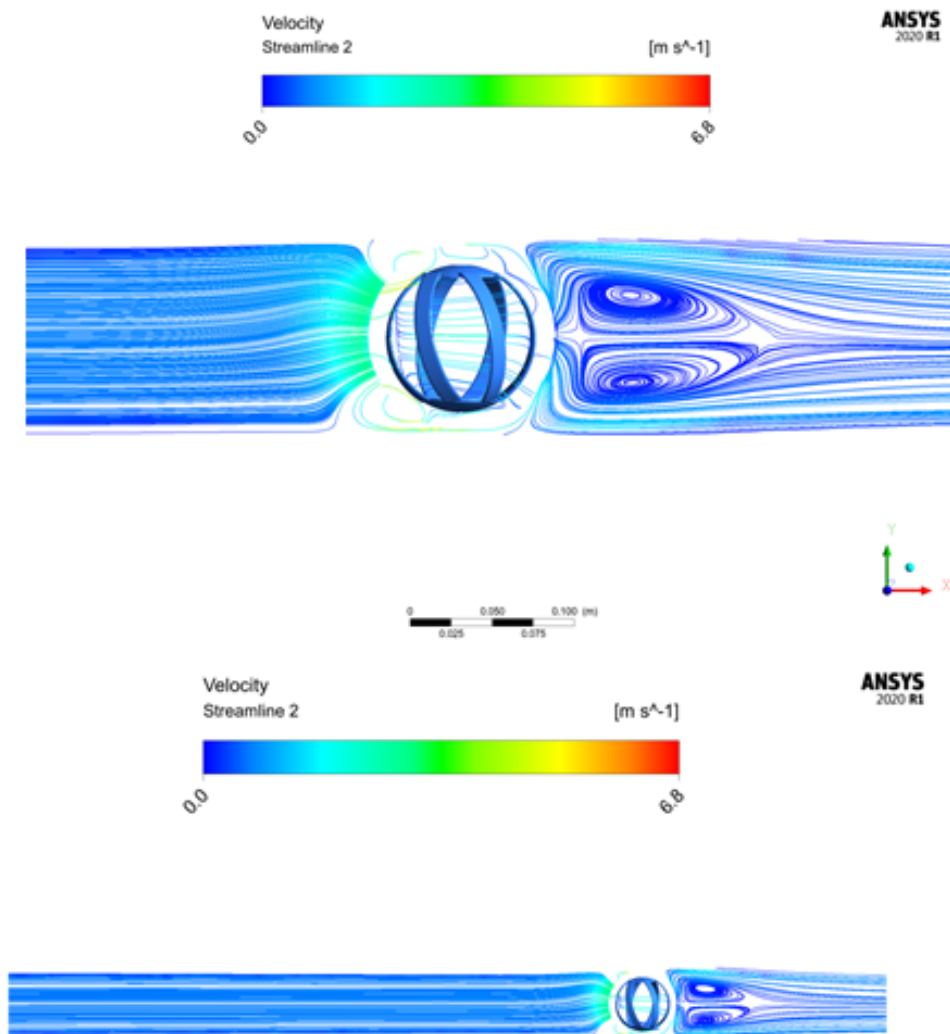
Gráfica 57 Líneas de flujo velocidad 1



Fuente: Propia

La velocidad máxima que se puede observar en las gráficas 56 y 57 está ubicada en la entrada del flujo a la turbina con un valor de 6.8 m/s, esto quiere indicar que el flujo percibe un obstáculo dentro de su recorrido, por lo tanto, la velocidad del flujo varía y se genera cambios en la dirección en el flujo generando así pequeños vórtices en armonía con la rotación del elemento, una vez el flujo atraviesa este obstáculo es capaz de recuperar su estructura inicial y continuar con su trayecto.

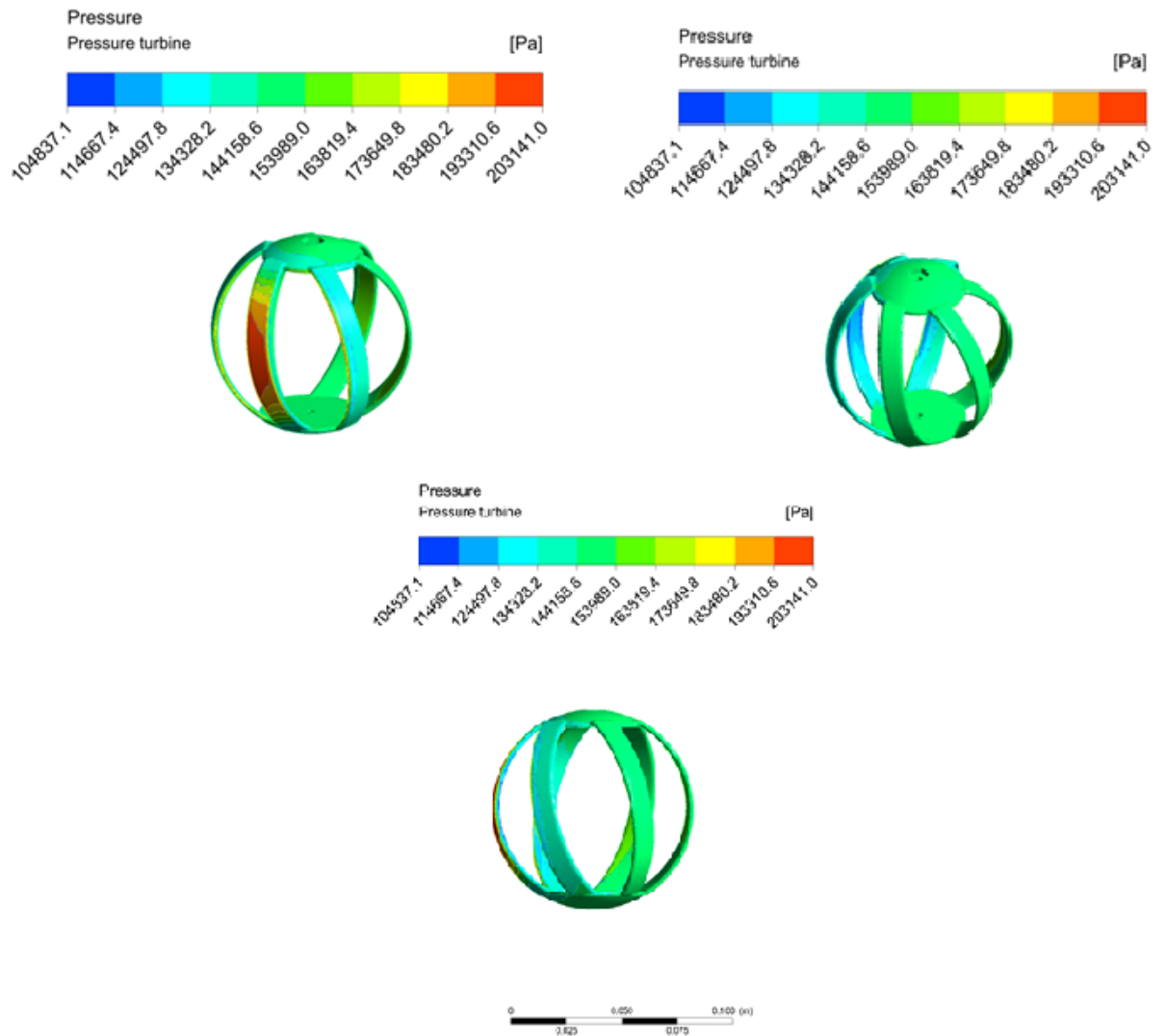
Gráfica 58 Vista en alzado línea de flujo 2



Fuente: Propia

Se puede observar en la gráfica 58, las rotaciones en forma de espiral en la trayectoria de la corriente en el punto medio de la tubería al salir el flujo por el obstáculo, debido al movimiento que se está generando en este. Además, se evidencia un pequeño cambio en la velocidad del flujo al entrar en contacto con la turbina en el rango de [2 – 3.5] m/s

Gráfica 59 Presión turbina

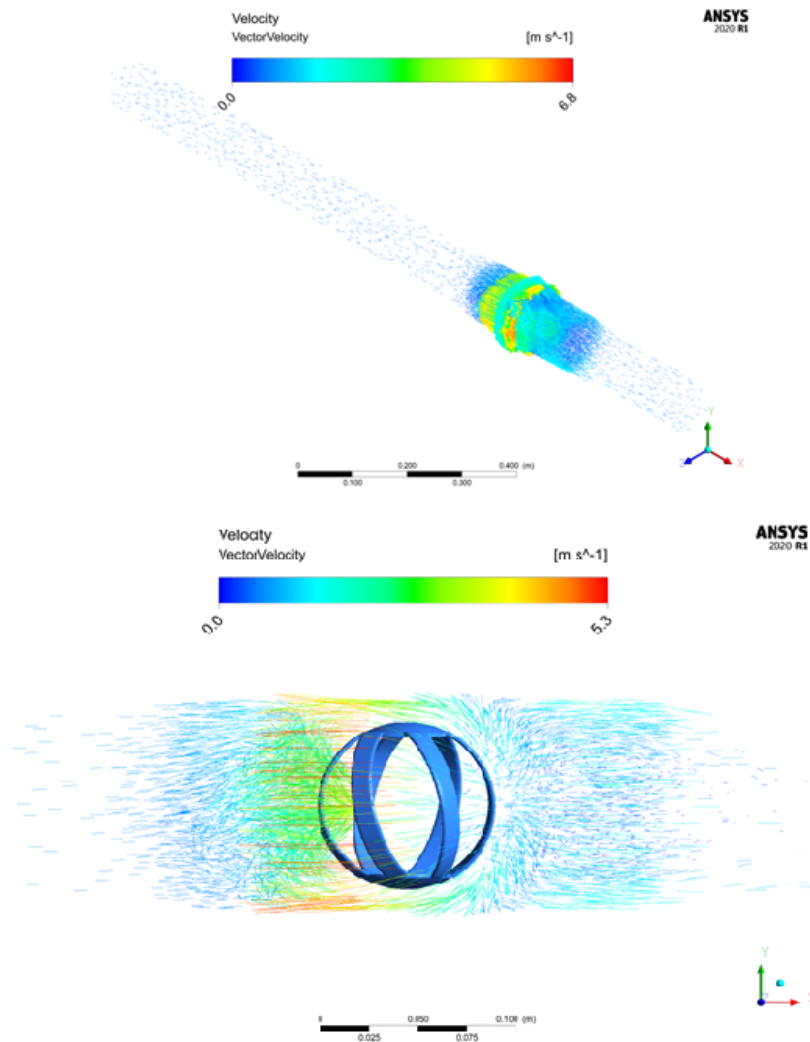


Fuente: Propia

En el modelo se analiza la presión sobre la turbina debido al flujo, por esta razón se muestra en gráfica 59, tres vistas de la turbina en las cuales se tiene un rango entre los [104837.1 – 203141.0] Pa. Se observa un color verde en gran parte de la turbina debido a la fuerza que ejerce el flujo sobre el elemento es de 147000 Pa, esto es un valor teórico el cual se deriva del producto de la presión con el área.

Así mismo encontramos valores máximos y mínimos, para las superficies externas e internas, respectivamente.

Gráfica 60 Velocidad expresada en vectores

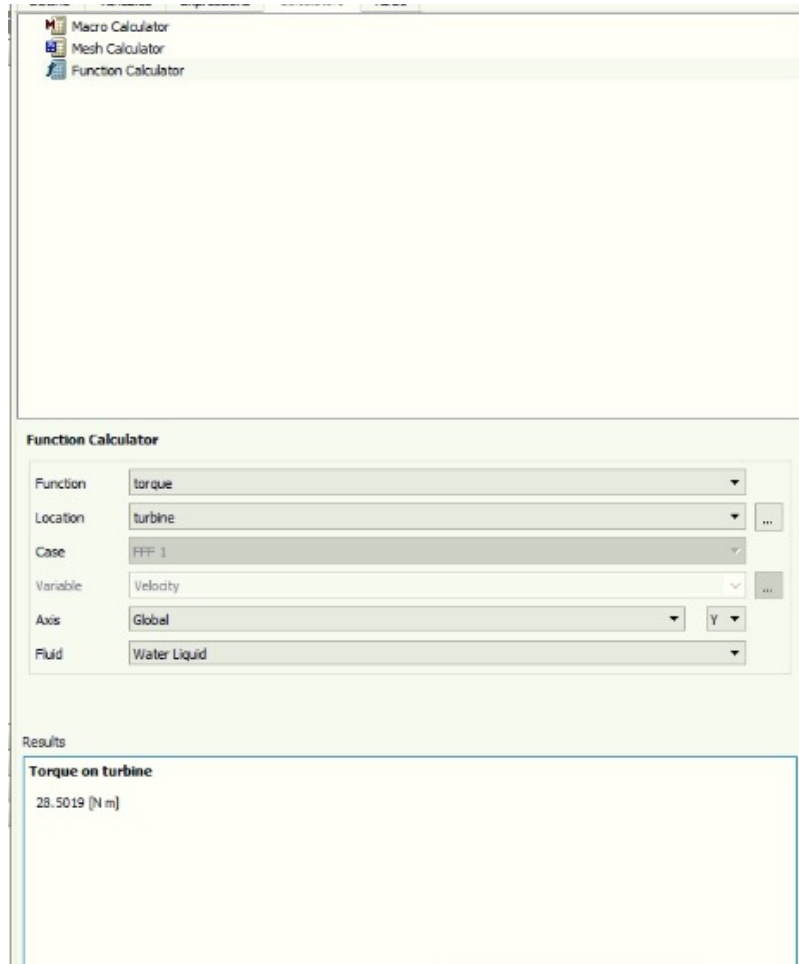


Fuente: Propia

En la gráfica 60 se presenta el comportamiento del flujo en vectores para poder entender mejor la conducta del fluido al atravesar la turbina, el color rojo corresponde a las velocidades más altas representadas como líneas paralelas a la tubería, cuando la trayectoria del flujo se encuentra en el punto medio de la

geometría se evidencia una dispersión en los vectores reduciendo su velocidad identificadas con color azul, de esta manera se generan rotaciones en forma de espiral.

Tabla 8 Cálculo computacional del Torque



Fuente: Propia

En la función calcular se determinó encontrar el torque el cual fue generado en la turbina debido al flujo, de forma tal que este valor de torque de 28.5019 (N*m) expresado en Watts es de 298.5 a continuación se describe el procedimiento para convertir la fuerza en energía

TORQUE

Cuando a un cuerpo rígido se le aplica una fuerza en algún punto, este cuerpo generalmente realiza un movimiento rotacional en torno a un eje. La propiedad de la fuerza que se aplica al cuerpo rígido se mide mediante una magnitud física llamada momento dinámico, momento de fuerza o torque; Por lo tanto, el torque se define como la capacidad que posee esta fuerza para generar una rotación en el cuerpo rígido al cual se aplica.

Datos:

T (Torque) = 28.5019 N*m

W (Velocidad Angular) = 100 RPM

$$P_{energía} = T * W$$

La velocidad angular dada en RPM, se transforma a radianes por medio de la siguiente ecuación: En la cual se conoce que una vuelta equivale a 2pi radianes

$$W = \frac{2 \pi RPM}{60} = \frac{2 \pi 100RPM}{60} = 10.47 \text{ rad/s}$$

$$P_{energía} = 28.5019 (N * m) * 10.47 \text{ rad/s}$$

$$P_{energía} = 298.5 \text{ Vatios}$$

La cantidad de energía que se requiere dentro de un espacio por unidad de tiempo está determinada por el consumo eléctrico, en la tabla 9 se van a presentar los artículos que se pueden poner en funcionamiento debido a la energía generada por el prototipo estudiado, en dónde están basados en el dato energético que entrega el modelo el cual es de 300 W, Además, se muestran los tiempos en los cuales se

puede mantener el artículo alimentado de energía. Uno de los elementos como lo es nevera se entrega en un rango de datos debido a que es un artículo que permanecen conectados a la red eléctrica.

Tabla 9 Consumo energético a satisfacer por el modelo

Artículo	Consumo energetico	Unidad	Horas
Nevera	entre 0,250 - 0,350	Kw	Constante uso
Televisión	entre 0,150 - 0,400	Kw	Constante uso
Decodificador Tv	43	W/h	6,98
Videoconsola	23	W/h	13,04
Ordenador sobremesa	21	W/h	14,29
Portátil	16	W/h	18,75
Equipo de sonido	14	W/h	21,43
Microondas	4	W/h	75
Telefono inalámbrico	3	W/h	100
Cafetera	1	W/h	300
Cargador Smartphone	0,2	W/h	1500

Fuente: EFICIENCIA ENERGÉTICA [En línea] <https://lucera.es/blog/cuanto-consumen-electrodomesticos#>

COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE LA TURBINA

Tabla 10 Pérdidas generadas por la turbina

Calculo perdidas turbina	
hm	3,409
SUMATORIA DE Km	96,313
Km Turbina	88,518

Fuente: Propia

De acuerdo con la tabla 10, se evidencia una de las finalidades de los cálculos realizados, estos se realizaron con el fin de caracterizar la turbina dentro de un flujo de manera estática, entregando características importantes para el diseño de tuberías y sistemas que empleen una turbina del modelo presentado en este trabajo, en la tabla 10 se entrega el coeficiente de pérdidas que genera la turbina dentro del

flujo con las condiciones propuestas, las cuales se basaron en condiciones reales del laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, para así tener claridad en los diseños que se realicen empleando este modelo de turbina hidráulica.

13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la modelación estática del sistema realizada en el software de SolidWorks, se puede comprobar la obtención de los datos teóricamente en donde de esta manera se encontraron velocidades dentro de los rangos de $[0.8 - 3]$ m/s, la simulación del software arroja velocidades en un rango de $[0.8 - 4.5]$ m/s, datos coherentes con los obtenidos teóricamente.

De la misma manera, las presiones obtenidas en el sistema están en un intervalo de 5000 a 18000 milímetros columna de agua (mmca), valores verídicos y comparados con las presiones de entrada entregadas por el fabricante de la bomba con los cálculos de pérdidas del sistema basados en las ecuaciones mencionadas en el desarrollo del trabajo.

El ensamble en SolidWorks se exportó y se hizo la correspondiente configuración para adaptarla al modelo en Software Ansys Fluent para así llevar a cabo el análisis dinámico, para esto se proporcionaron parámetros iniciales con los cálculos teóricos, como la velocidad y la presión, así mismo la turbina se restringió a una velocidad angular de 100 revoluciones por minuto (RPM), para delimitar la producción de energía eléctrica.

Dentro del análisis dinámico realizado se obtuvieron datos de velocidad en un rango de $[0 - 6.8]$ m/s, evidenciando en los diagramas un aumento de velocidad a la entrada de la turbina, así como un comportamiento en espiral del flujo a la salida de esta, estos datos de velocidades son acordes con los datos teóricos y datos obtenidos del análisis estático.

El valor energético tiene un valor de 298.45 Watts, el cual, permite alimentar algunos de los elementos del hogar que requieran energía eléctrica mencionados en el la tabla 9.

Además, con las condiciones iniciales de la bomba, junto con la potencia y la eficiencia, se puede obtener una cabeza total de altura de todo el sistema, seguido del análisis de la tubería en donde se tiene en cuenta los cambios de material de la red como lo son el hierro, pvc, y acrílico. La rugosidad de cada uno de los materiales es importante para realizar la caracterización del flujo, realizando el cálculo del número de reynolds.

Por este motivo nos dirigimos a resolver las ecuaciones de Darcy, y así determinar valor de f (factor de fricción) de manera iterativa y encontrar una relación. Con este valor se hace el proceso iterativo para que la ecuación sea lo más cercana a cero. De esta manera se obtienen las pérdidas lineales de toda la red.

Seguido a esto, se debe encontrar el valor de las pérdidas locales, con los accesorios y así obtener la relación de longitud efectiva y diámetro, es pertinente aclarar que estos valores son extraídos de libros.

Para concluir se realiza la sumatoria de pérdidas locales, y de esta manera despejar la variable y encontrar las pérdidas que genera la turbina.

14. CONCLUSIONES

- Como resultado de los esquemas obtenidos en la simulación es posible identificar el comportamiento del flujo, en la vista en planta se puede observar que cuando el flujo entra en contacto con la turbina, la velocidad aumenta. Además, se puede ver que existen cambios de dirección generando así pequeños vórtices en armonía con la rotación del prototipo.
- La velocidad máxima del flujo generada en el modelo es de 6.8 m/s, y se ubica en un pequeño tramo antes de entrar en contacto con la turbina y otro pequeño tramo dentro de esta.
- En la gráfica *Vista en alzado línea de flujo* se observa un cambio de velocidad en el flujo al entrar con contacto con la turbina y el rango de esta velocidad oscila entre los [2 – 3.5] m/s. También se aprecia la creación de los vórtices los cuales son rotaciones en forma de espiral y se ubican en la zona media de la tubería al salir el flujo del prototipo.
- Dentro del análisis dinámico del flujo se puede también definir la presión ejercida por el fluido, este dato es teórico y cuenta con una magnitud de 147000 Pa. Es conveniente resaltar que la creación de la malla permite evaluar todas las secciones de la turbina e identificar en las gráficas cuales de estas secciones son más afectadas por esta fuerza.
- Por consiguiente, el rango de las presiones está entre los [104837.1-203141.0] Pa, el valor máximo lo podemos encontrar en el extremo de unos de los álabes.
- Las turbinas hidráulicas se componen de varios elementos que trabajan en conjunto y de esta manera se aprovecha todo el potencial energético que se puede extraer de varios cuerpos de agua y generar energía eléctrica.
- Las turbinas hidráulicas son elementos compuestos que generan energía a través del empuje del flujo del sistema en el cual se encuentran, estas son de gran utilidad para el procesamiento de energías limpias y su posterior aplicación en hogares.

- Dentro de la investigación se puede extraer que independientemente de cómo el agua ingrese a cualquier tipo de turbina, existen muchos diseños que se pueden adaptar a la condiciones que se presentan en los flujos, de esta manera, optimizar procesos a través de las alternativas que se presentan para así adaptarlas a la forma y necesidades del flujo.
- Dentro del diseño de el prototipo se determinó un altura de turbina de 90 mm, las dimensiones de los álabes se componen de un ángulo de inclinación de 10° , curvatura de radio de 50 mm y 6 alabes.
- Con las medidas tomadas en el laboratorio se hizo el montaje de la red en SolidWorks para su posterior simulación y comparación con los datos teóricos desarrollados en las memorias de cálculo. Dentro de esta recopilación de datos se obtiene una velocidad de 2,9 m/s para las tuberías de 2 pulgadas de diámetro y una velocidad de 0,83 para la tubería de 4 pulgadas; y los datos extraídos del modelo, se muestra que las velocidades están dentro de los rangos de [0.8 a 4.5] m/s.
- Se requiere de la implementación de ecuaciones precisas para el cálculo de pérdidas, como lo son Darcy-Weisbach y Colebrook-White, para que así el resultado obtenido del coeficiente de pérdidas del modelo sea acertado.
- Los softwares para diseños en 3D utilizados en la investigación tienen una interfaz con capacidad de simular un flujo, es bastante importante desarrollar modelos teóricos, con el fin de tener unos rangos para calibrar el modelo y aproximar el comportamiento y características del flujo a condiciones.
- Con el análisis obtenido en las gráficas, se evidencia que el flujo genera un empuje sobre el modelo, produciendo así un momento que se traduce en energía eléctrica con un valor de 298.5 Vatios, por lo tanto, es capaz de proporcionar energía a electrodomésticos básicos del hogar.

15. RECOMENDACIONES

- Desarrollar de manera experimental el modelo propuesto en la presente investigación, dentro del laboratorio de la Universidad Católica de Colombia y de esta manera obtener datos reales para la posterior verificación con las condiciones evaluadas virtualmente.
- Es de gran importancia estudiar el comportamiento del flujo dentro de una red de suministro, implementando varias micro turbinas hidráulicas dispuestas en serie y determinar si son más eficientes trabajando en conjunto.
- Se recomienda analizar la viabilidad económica y los costos en la aplicación del prototipo, para el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica.
- Se propone diseñar otras geométricas de microturbina para obtener más referencias, de esta manera generar comparaciones con el modelo presentado y determinar cuál es su rendimiento y así concluir cuál de estas es más óptima.
- Se considera importante realizar estudios experimentales variando las dimensiones tanto de la turbina como de la tubería, de manera análoga variar condiciones iniciales del flujo.
- Es conveniente realizar un estudio del impacto que genera la turbina sobre la calidad del agua en el sistema, como resultado del desgaste generado. Además, es fundamental hacer el estudio y determinar la vida útil del prototipo, para realizar posteriormente mantenimientos y cambios.

16. BIBLIOGRAFÍA

- (1) UPME. UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGÉTICA, “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia”. Bogotá, 2015.
- (2) E, TORRES. Investigación en pequeñas centrales en Colombia. [En línea] <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>, Universidad Libre, 2010.
- (3) UPME. BOLETÍN, MINAS Y ENERGÍA. [En línea] 2018. http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf, Bogotá, 2018.
- (4) Reyes, Daniela. Peña, Cristian; 2018. “Diseño de una turbina tipo Kaplan para la generación de energía hidráulica.” [En línea] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22838/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20DISEÑO%20DE%20TURBINA%20KAPLAN.pdf>
- (5) Trujillo, Angie; 2017 “Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de Usme, Bogotá” [En línea] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15273/1/Trabajo%20de%20Grado%20PCH.pdf>
- (6) EL TIEMPO. 2017 Aguas de Manizales [En línea] “Planta de agua de Niza, en Manizales, ya genera su propia electricidad” <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/aguas-de-manizales-ya-genera-energia-electrica-con-turbina-en-planta-de-niza-141040>
- (7) S. Practicas. 2012. “Turbinas De Rio 23 1.,” Miraflores.
- (8) R. Córdova Breve historia de las turbinas hidráulicas <http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf>
- (9) CÒMO FUNCIONA. Funcionamiento turbina hidráulica. [En línea] <https://comofunciona.co/una-turbina-hidraulica/>
- (10) SIGNIFICADOS. Viscosidad. [En línea] <https://www.significados.com/viscosidad/>
- (11) INGELYT. Flujo laminar. [En línea] <https://ingelyt.com/wiki/flujos-unidireccionales-flujos-laminares-o-cabinas-de-flujo-laminar/>

- (12) ESSS. Flujo turbulento. [En línea] <https://www.esss.co/es/blog/flujo-turbulento/>
- (13) EQUIPOS Y LABORATORIO. Flujo turbulento. [En línea] https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=2939
- (14) PIROBLOC. Perdidas de carga. [En línea] <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>
- (15) A. Perry. 2016 Aqueduct: Colonialism, Resources, and the Histories We Remember -Volumen 13 de Semaphore series
- (16) Normas diseño de sistemas de acueductos, EPM. [En línea] https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf
- (17). Consumos en el hogar, EPM. [En línea] https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientesyusuarios/empresas/energ%C3%ADa/grandes-empresas/tips-para-el-uso-inteligente.
- (18) HICKEY. Electric Water PWB. Lucid Energy Hydroelectric. 2017.
- (19). LUCIDENERGY. 2017.[En línea] <http://lucidenergy.com/how-it-works/>
- (20). LUCIDENERGY. 2016 .[En línea] <http://lucidenergy.com/wp-content/uploads/2016/10/LucidEnergy-PortlandCaseStudy-2016-10-lr.pdf>
- (21). LUCIDENERGY. 2016.[En línea] <http://lucidenergy.com/wp-content/uploads/2016/10/LucidEnergy-RiversideCaseStudy-2016-10-lr.pdf>
- (22). Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S," Trabajo y Energía", (2001), Vol. 1. ISBN 968-26-1230-6.
- (23). TWENERGY, Energía Eléctrica, [En línea] <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/>
- (24). CONCEPTODE, Energía Mecánica [En línea] <https://concepto.de/energia-mecanica/#ixzz60NdFBC6c>
- (25) UPME, U. d. (2015). ATLAS: Potencial Hidroenergético de Colombia. Bogotá
- (26) ENCYCLOPEDIA BRITANICA, Hydraulic power [En línea] britannica.com/science/hydraulic-power

- (27). IDEA, Energía hidroeléctrica [En línea]
<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energia-hidroelectrica>
- (28). UNDP, Energía Sostenible. [En línea]
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/ourwork/climate-and-disaster-resilience/sustainable-energy.html>
- (29) UPME. (s.f.). Energías renovables: Descripción, Tecnologías y usos Finales. Bogotá.
- (30) AguaMarket. (2016). Caudal, Caída hidráulica. [En línea]
aguamarket.com/diccionario/resultados.asp
- (31) FRITZ SCHUR ENERGY. Hydraulic System [En línea]
fsenergy.com/technology/hydraulic-system/
- (32). SOLUCIONES PRACTICAS, Ficha técnica. [En línea]
<C:/Users/sala1/Downloads/FichaTecnica25-Turbina+de+rio.pdf>
- (33) Tomado de la noticia “los expertos siguen buscando el origen del COVID-19: ¿por qué es preocupante? Publicado el 15 de marzo de 2020 del Autor Wanda Markotter en la Revista THE CONVERSATION Academic rigor, journalistic flair)
- (34) Tomado de la OMS en un comunicado de prensa publicado el 30 de marzo de 2020
- (35) LIFEDER. Numero de Reynolds [En línea]. <https://www.lifeder.com/numero-de-reynolds/>
- (36) SOLID BI. Solidworks. Qué es y para qué sirve [En línea] <https://solid-bi.es/solidworks/>
- (37) 3D NATIVES, El filamento de ABS en la impresión 3D [En línea]. <https://www.3dnatives.com/es/filamento-de-abs-impresion-3d-06062019/>

ENTREGA TRABAJO DE GRADO.

Firma Estudiante 1

Nombre Estudiante 1:

MARÍA JOSÉ OSPINA MENDOZA

Código: 506390

Firma Estudiante 2

Nombre Estudiante 2:

JUAN SEBASTIAN AYALA A.

Código: 507704

Firma Asesor del Trabajo de Grado

HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO, MSC