



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**ANÁLISIS DE UNA MICROTURBINA EN UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR
DEL PARQUE TIMIZA**

PAULA ANDREA GONZALEZ NIÑO

LUISA FERNANDA DELGADO OLARTE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, D. C.

MAYO 2021

**ANÁLISIS DE UNA MICROTURBINA EN UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR
DEL PARQUE TIMIZA**

PROPUESTA TRABAJO DE GRADO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL

PAULA ANDREA GONZALEZ NIÑO

LUISA FERNANDA DELGADO OLARTE

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 2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida, una familia por ello le dedico con amor y con orgullo a mis padres, hermanos y especialmente a mi esposo (Ángel) y mi hijo Jacobo por ser el apoyo incondicional en esta etapa de estudio y culminación de esta hermosa carrera de Ingeniería Civil. Gracias al Ingeniero Henry Córdoba por su paciencia, tiempo y dedicación donde nos motivó y ayudó en este proyecto.

Al Universo, Dios y lo que me permite estar en pie, gracias, gracias a mis padres por el empuje de ayudarme con su palabras de aliento a realizar este tan anhelado sueño de ser una gran ingeniera, mi hermanita por su paciencia en días que no pude compartir con ella y a mi tía maravillosa, Rosaira Niño con una resiliencia única y a Alfonso Robayo por su enseñanza a ver todos mis propósitos con ímpetu, a sus consejos e innumerables charlas de consejos, pues esta es una de las muchas etapas y constantes carreras que seguiré construyendo en mi vida.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	ANTECEDENTES	16
3.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	17
4.	OBJETIVOS	19
4.1	Objetivo General	19
4.2	Objetivos específicos	19
5.	JUSTIFICACIÓN.	20
6.	ALCANCES Y LIMITACIONES.	22
6.1	ALCANCES	22
6.2	LIMITACIONES	23
7.	ESTADO DEL ARTE	24
8.	MARCOS DE REFERENCIA	61
8.1	MARCO TEÓRICO.	61
8.1.1	HIDROENERGÍA EN COLOMBIA	61
8.1.2	¿QUÉ ES LA HIDROENERGÍA?	63
8.1.3	¿CÓMO SE GENERA?	63
8.1.4	¿CÓMO FUNCIONA UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA?	64
8.1.5	LAS MICROTURBINAS PELTON Y BANKI	65
8.1.6	MICROTURBINA MICHEL BANKI	66
8.1.7	ECUACIÓN DE LA ENERGÍA	67
8.1.8	FLUJO DE FLUIDO EN TUBERÍAS	68
8.1.9	FLUJO TURBULENTO	69
8.1.10	DIFERENCIA DE PRESIÓN EN ELEMENTOS RECTOS DE TUBERÍA	70
8.1.11	CONSIDERACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	71
8.1.12	SUPERCONDENSADORES	73
8.1.13	PROGRAMA DE ANÁLISIS Y SIMULACIÓN CFD	73
8.1.14	SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA ALUMBRADO PÚBLICO	74

8.1.15	DESCRIPCIÓN GENERAL Y METODOLOGÍA DE DISEÑO	75
8.1.16	VÁLVULA REDUCTORA	76
8.2	MARCO CONCEPTUAL.	77
9.	METODOLOGÍA	78
10.	ANÁLISIS DE FLUIDO EN TUBERIA Y MICROTURBINA HIDRÁULICA POR SOFTWARE ANSYS FLUENT	80
10.1	MODELACIÓN TUBERIA Y MICROTURBINA HIDRÁULICA POR SOFTWARE ANSYS FLUENT	80
11.	DISEÑO DEL MODELO: MICROTURBINA Y TUBERÍA	82
12.	DATOS DE DISEÑO PARA ANÁLISIS DE MICROTURBINA EN TUBERÍA	87
13.	CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS DEL MODELO	89
14.	CÁLCULOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS OBTENIDAS.	90
14.1	VELOCIDAD DE 1.5 m/seg.	91
14.2	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	93
14.3	PERDIDA DE ENERGIA	94
14.4	POTENCIA REQUERIDA PARA LA TURBINA	95
14.5	CAUDAL	96
14.6	Coeficiente de accesorios turbina	96
15.	ANALISIS DE RESULTADOS	98
15.1	Velocidad 2m/s	100
15.1.1	Momento Lineal y masa	101
15.1.2	Tabla de resultados	103
15.1.3	Presión en la tubería	104
15.1.4	Velocidad en la tubería	105
15.1.5	Velocidad angular	107
15.1.6	Torque en Z	108
16.	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA	109
17.	MATERIALES Y HERRAMIENTAS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN	110

18.	PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CUARTO DE MAQUINAS	111
19.	PUNTO DE UBICACIÓN TURBINA Y ALUMBRADO.	114
20.	TOPOLOGÍA DE LA RED ELÉCTRICA:	116
21.	CONCLUSIONES	119
22.	RECOMENDACIONES	121
23.	BIBLIOGRAFÍA	122
24.	ANEXOS	131

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapas Geo portal Mapa Red Matriz ACUEDUCTO EAAB.....	22
Ilustración 2 Características e información de tubería	23
Ilustración 3 Hidroeléctrica Niagara Falls.....	26
Ilustración 4 Estructuración de una Hidroeléctrica	28
Ilustración 5 Hidrografía de caudal medio.....	34
Ilustración 6 Sistema de 4 microturbinas	36
Ilustración 7 Instalación de microturbinas	36
Ilustración 8 Construcción de microturbina.	40
Ilustración 9 Estática de fluidos.....	45
Ilustración 10 Ecuación de Bernoulli	46
Ilustración 11 Análisis de energía hidráulica a eléctrica.....	46
Ilustración 12 Hidroeléctrica chivor	50
Ilustración 13 Hidroeléctrica san Carlos.....	51
Ilustración 14 Hidroeléctrica Betania.....	51
Ilustración 15 Hidroeléctrica del gavio	52
Ilustración 16 Hidroeléctrica urran	52
Ilustración 17 Hidroeléctrica miel	53
Ilustración 18 Hidroeléctrica el quimbo	53
Ilustración 19 Hidroeléctrica de Sogamoso.....	54
Ilustración 20 Hidro Ituango	54
Ilustración 21 transformación de la energía	56

Ilustración 22 ECOWATT HYDRO	65
Ilustración 23 Componentes Principales de la Turbina Michell-Banki.....	66
Ilustración 24 Representación gráfica del flujo laminar y turbulento Fuente: Navarro Juliette, 2015.....	69
Ilustración 25 Ecuación de Reynolds	70
Ilustración 26 Conocimientos básicos flujo en tuberías y robineteria.....	70
Ilustración 27 Clasificación de las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento de energía.....	72
Ilustración 28 Esquema conexión serie entre turbina y válvula reductora de presión	75
Ilustración 29 Mapa conceptual microturbina.....	77
Ilustración 30 Diagrama de Fases en la Metodología	79
Ilustración 31 Modelación de microturbina en SOLIDWORKS	81
Ilustración 32 Herramienta Fluid Flow CFX en ANSYSFLUENT.....	82
Ilustración 33 Modelación de Tubería.....	83
Ilustración 34 Mallado en ANSYSFLUENT	84
Ilustración 35 Mallado Tubería.....	85
Ilustración 36 Mallado Tubería.....	85
Ilustración 37 Mallado de Turbina	86
Ilustración 38 Límites de velocidad	87
Ilustración 39 Límites de presión	88
Ilustración 40 Condiciones iniciales	89
Ilustración 41 Formula perdidas por fricción	93

Ilustración 42 Formula perdidas por energía	94
Ilustración 43 Condiciones de frontera para una velocidad de 2m/s.....	100
Ilustración 44 Momento Lineal y masa.....	101
Ilustración 45 Tabla de resultados	103
Ilustración 46 Tabla de resultados	105
Ilustración 47 Velocidad en la tubería vista de planta	106
Ilustración 48 Velocidad en la tubería vista diagonal	106
Ilustración 49 Velocidad angular	107
Ilustración 50 Torque en Z	108
Ilustración 51 Ubicación punto de turbina	117
Ilustración 52 Ubicación iluminarias alrededor del parque Timiza	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de Rugosidad	88
Tabla 2 Datos de entrada	92
Tabla 3 Pérdidas por fricción	93
Tabla 4 Resultado pérdida de energía $V=1.5$ m/seg.....	94
Tabla 5 Potencia total requerida	98
Tabla 6 Datos iniciales para caracterización del flujo	98
Tabla 5 Resumen de Cálculo de Energía generada a diferentes velocidades.....	99
Tabla 8 ILUMINACIÓN PARA AREAS CRÍTICAS	115

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P	Presión a lo largo de la línea de corriente
G	Aceleración gravitatoria
V	Velocidad del flujo
A	Área de la sección transversal
Q	Caudal
Preq	Potencia requerida
H	Eficiencia
P	Densidad
Ks	Coefficiente de rugosidad
D	Diámetro de la tubería
L	Longitud de la tubería
Re	Numero de Reynolds
Le	Longitud equivalente
f	Factor de fricción
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 atraviesa una superficie en una unidad de tiempo determinada.

Fluido

Es materia que tiene la propiedad de fluir, y que carece de propiedades como rigidez por ello no tiene la capacidad de mantener su forma concreta.

Microturbina

Es una maquina pequeña que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de esta produciendo un movimiento de rotación por las aspas y así de esta manera se genera transferencia energética a través del movimiento.

Presión

Es la cantidad de fuerza ejercida por una unidad de área.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación hace énfasis en la implementación de una microturbina en la red de acueducto que abastece al parque Timiza, ubicado en la localidad de Kennedy, pues el vínculo entre la energía eléctrica y el cambio climático es fuerte debido a la alta demanda del consumo de energías fósiles (plantas termoeléctricas), las cuales se han venido disminuyendo por la intervención de energías renovables.

El cambio climático, la producción de gases del efecto invernadero, cambios meteorológicos bruscos son algunas de las consecuencias que se debe por implementar el uso de combustibles fósiles para el proceso de obtención y procesamiento de energía a nivel mundial.

Debido a estos cambios negativos se ha venido desarrollando una serie de procesos de innovación sostenible para disminuir el rastro de carbono que genera la explotación de recursos no renovables (petróleo); uno de ellos es el aprovechamiento del recurso agua como medio para generar energía eléctrica.

La única manera de detener el cambio climático es detener el patrón de generación y consumo de energía pues es allí donde es imposible producir más con menos recursos.

Según investigaciones realizadas en países como Rusia, Italia, Grecia y Canadá la implementación de un sistema como las microturbinas en una red de acueducto atrae beneficios no solo económicos sino ambientales para el procesamiento de energía eléctrica y abastecimiento de pequeños sectores, contemplando la disminución de energía que se genera a partir de las centrales eléctricas.

Los aprovechamientos de sistemas de microturbinas hidráulicas traen un análisis en cuanto a su integración a través de una infraestructura pequeña conforme a la producción de energía que se requiere de manera técnica, operativa y de calidad representando un nivel alto.

2. ANTECEDENTES

A continuación, se describen proyectos similares que cuentan con el mismo enfoque del trabajo investigativo que estamos desarrollando sobre la temática de estudio.

La empresa Lucid Energy en compañía con Lucid Pipe, son dos grandes empresas estadounidenses quienes han innovado en sistemas micro hidroeléctricos que aprovechan la potencia del agua que transita por las redes matrices que su finalidad es el abastecimiento de las zonas urbanas para generar energía y está transformándose en electricidad en los hogares.

Este sistema ha sido planteado como sostenible y que proporciona energía limpia y renovable, sin generar un impacto ambiental y a su vez a un costo menor.

Este modelo será implementado en ciudades como Portland e irán implementando por tramos que consten de cuatro turbinas de 42" y 50kW, donde estas mueven un generador que convierte la energía y la distribuye en la red eléctrica urbana, este sistema es tan beneficioso que se vale del movimiento del agua sin la necesidad que se bombee o se impulse artificialmente. Por ello hace que requiera de una infraestructura menor. ¹

¹ MUÑOZ, Laura. Lucid Pipe, la energía oculta en las tuberías de agua de las ciudades [En línea]. Artículo informativo Única Edición [Getafe, Madrid]. Experimenta, 24 Enero 2017 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.experimenta.es/noticias/tecnologia/lucidpipe-energia-oculta-tuberias-agua-ciudades>>

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Como sociedad estamos acostumbrados a impactar a la naturaleza con la creación de nuevos mecanismos para nuestro desarrollo sin prever que la solución está en las mismas infraestructuras ya construidas, solo es cuestión de hacerle adecuaciones y se hará un uso eficaz del agua aprovechando su continuo flujo para la generación de corriente eléctrica. Cabe resaltar que actualmente el aprovechamiento de los recursos renovables para la obtención de energía se ha visto representados en un 81% por la quema de recursos fósiles, pero ni con este representativo número se alcanza a suplir la demanda energética del país.²

El agua es un recurso que se puede potencializar energéticamente, pues existen varias opciones de infraestructura que generan energía a gran escala como lo son las hidroeléctricas para poder llegar a una sociedad sostenible pero que abre grandes contrastes a nivel socioeconómico y medioambiental pues los impactos son significativos según la localización de la construcción.³

² UPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia [En Línea]. Proyecto inversiones catalizadoras para energía geotérmica [Bogotá, Colombia]. UPME, 1995 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERG_IAS_RENOVANLES_WEB.pdf>. ISBN No. 978-958-8363-26-4

³ IBERDROLA. Qué es la energía hidroeléctrica [En línea] Artículo informativo Única Edición [Madrid, España]. IBERDROLA, 2019 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>>

En países europeos se han realizado estudios enfocados en la explotación y transformación del recurso renovable agua. Una vez conocido sus afluentes, su caudal, su presión, y su sistema de conducción hacia la parte rural y urbana, se pueden diseñar y ejecutar obras civiles que no generen gran impacto ambiental con la intención de transformar dicho recurso en energía eléctrica renovable.

El desaprovechamiento del flujo continuo del agua en la red de abastecimiento para el consumo doméstico e industrial en las ciudades y la gran demanda de consumo de electricidad hace necesaria la innovación de modelos eficientes que contribuyan al crecimiento energético; para ello se pretende hacer el análisis de una microturbina en una red de abastecimiento de agua para la generación de energía eléctrica en el sector del parque Timiza el cual cuenta con zonas y espacios públicos como parques, y senderos que pueden ser iluminadas a través de la modalidad de transformación de energía a pequeña escala. En este caso se quiere seleccionar un tramo de tubería de 16" para la instalación de una microturbina.

¿Se podría brindar energía al sector del Parque Timiza (Kennedy), teniendo en cuenta la instalación de una microturbina en la red matriz del acueducto?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Implementar el modelo funcional de una microturbina hidráulica en la red de acueducto con todas las componentes hidráulicas que lleva el sistema para generar energía eléctrica en el sector del parque Timiza.

4.2 Objetivos específicos

- Analizar la microturbina dentro de una tubería de abastecimiento de agua con un diámetro de 16”.
- Determinar los caudales para el funcionamiento de la turbina con la cual se genera energía.
- Identificar los parámetros de una microturbina, donde se evalúen aspectos hidráulicos, técnicos, mecánicos y ambientales.
- Clasificar la energía que se produce para el sector del parque Timiza.

5. JUSTIFICACIÓN.

Con este trabajo de investigación, se quiere analizar la microturbina hidráulica, como un modelo de innovación renovable para la generación de energía eléctrica a través del movimiento del agua que circula por las redes de acueductos existentes en el sector Timiza. Aprovechando el sistema de redes se puede distribuir esta energía eléctrica a los parques y alumbrados públicos de esta zona.

Teniendo en cuenta que el Parque Timiza es un sector con constante visita por parte de deportistas los cuales acuden a sus entrenamientos en distintas jornadas del día, y más en las noches después de sus labores cotidianas, igual que personas que sacan a pasear a sus mascotas o simplemente las familias que quieren salir a caminar para despejar su día alrededor del parque y que quieren contar con una zona iluminada y tranquila, se pretende analizar un modelo de microturbina hidráulica con el fin de que esta zona cuente con iluminación de manera renovable.

Este sector del Lago Timiza es un espacio público donde la prioridad de las visitas es por recreación y deporte constante al aire libre, en este espacio queremos mejorar la iluminación en horas de la noche en ciertas zonas de los alrededores del parque para brindar una mayor visibilidad y seguridad para todos los habitantes que en dado caso de salir cuenten con la iluminación adecuada generada por parte de la microturbina siendo esta una alternativa económica y dinámica para el sector.

Otro aspecto por el cual se quiere analizar la microturbina hidráulica es para aprovechar la fuerza que genera el tránsito del agua en las tuberías del acueducto y según su potencia poder aprovechar esta energía y a su vez favorecer de electricidad las zonas con baja iluminación en el sector, permitiendo una disminución en el consumo de energía externa y una fuente sostenible de abastecimiento.

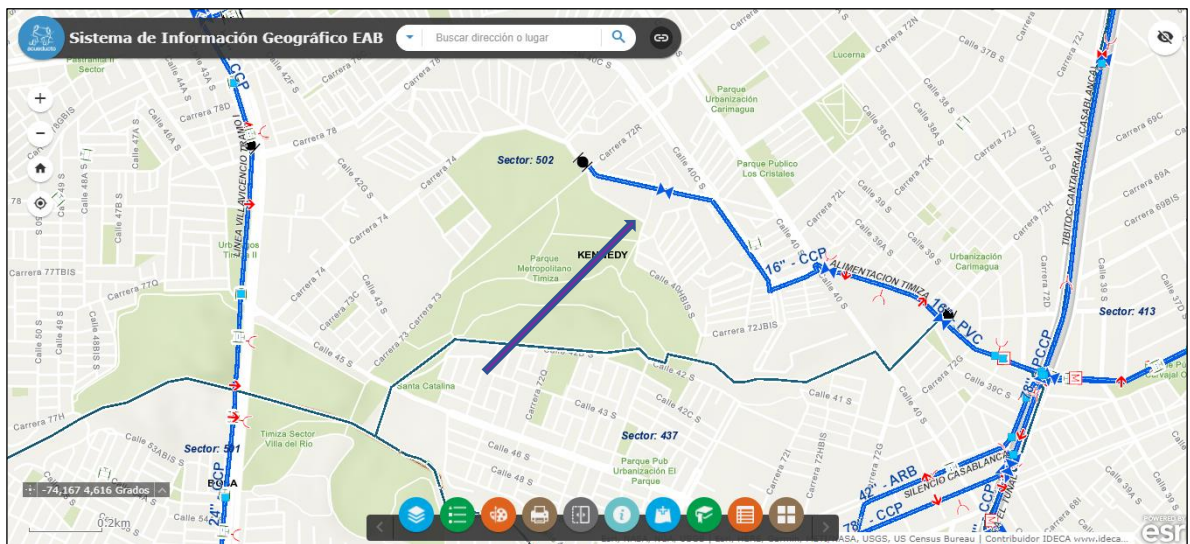
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.

6.1 ALCANCES

El alcance del presente trabajo de investigación está fundamentado en el análisis del comportamiento del agua en la red de distribución partiendo de esto para la ubicación de una microturbina para la generación de energía.

Para este caso se seleccionó el espacio público para el abastecimiento de energía y dentro de su clasificación los parques y alumbrado público de la localidad de Kennedy en este caso se escogió el sector de timiza con una tubería de 16”.

Ilustración 1 Mapas Geo portal Mapa Red Matriz ACUEDUCTO EAAB



Fuente: ACUEDUCTO EAAB

Ilustración 2 Características e información de tubería

ALIMENTACION TIMIZA	
Subtipo	Transmision
Diametro Nominal	16"
Material	Tubería Reforzada con Cilindro de acero y varilla
Estado Red	Servicio
Fecha Instalacion	6/14/1968 7:00 P. M.
Fecha Cargue	7/31/2016 7:00 P. M.
Calidad Dato	Dato sin validar
OBSERVACIONES	NO SE ENCUENTRA RECORD DE OBRA
Vinculo_SID	Más información
DOMSUITIPOINSTALACION	Instalación con apertura de zanja
ID_CONTRATO	ND
NRO_OBRA	ND
USUARIO	RED_MATRIZ
NOMBRE	ALIMENTACION TIMIZA
Longitud [m]	193,14
Costado	Norte
Ubicacion Tecnica	Z5-02-04-02-00000
Codigo Red Matriz	RM16061
IDSIG	SRZ50817
ZONA	Zona 5
NRO PROYECTO	ND
PROFUNDIDAD	2,43
Adjuntos:	No se encontraron adjuntos

Fuente: ACUEDUCTO EAAB

6.2 LIMITACIONES

El trabajo investigativo abarca la instalación de una microturbina en una red matriz de acueducto, por lo que se plantea hacer el diseño de un modelo de microturbina que se adapte a la geometría de la tubería. Este proyecto está basado en datos, resultados y simulaciones virtuales en el programa ANSYSFLUENT. A su vez se plantea realizar el análisis del funcionamiento del abastecimiento de energía renovable con la microturbina en funcionamiento en un tramo de la red de acueducto con un diámetro de tubería de 16".

7. ESTADO DEL ARTE

Basado en las hipótesis que rondan actualmente de la extinción de los pozos petroleros y que estos han causado a su vez gran impacto ambiental debido a la extracción y explotación del subsuelo. En consecuencia, esto ha generado la necesidad del cuidado y preservación de lo que abarca el medio ambiente. Es por ello por lo que se viene impulsando el estudio de nuevas tecnologías que permitan la generación de energía a gran demanda y que, a su vez, permita el cuidado y buen uso de los recursos naturales. La implementación y ejecución de proyectos innovadores a un costo bajo da paso al concepto de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), donde estos son sistemas de generación de energía con una potencia comprendida entre el 0,1 al 0.999MW.⁴ Para entrar en un concepto de generación de energía se resalta que las bombas cuando se trabajan en modo inverso no trabajan con un rendimiento igual al que se maneja cuando es de manera directa, la mayoría de los fabricantes se enfocan en mostrar curvas características solo para el modo directo, lo que quiere decir que hace que el funcionamiento de las turbinas sea basado en datos experimentales y de predicción con grandes desviaciones. Pero estos estudios también se enfocaron en evidenciar que hay factores económicos que afectan la construcción y elección de un modelo correcto

⁴ CECU, Confederaciones de consumidores y usuarios. Guía del Consumidor, 1. Energía Minihidráulica [En línea]. Guía informativa Única Edición [Madrid, España]. Proyecto RES & RUE Dissemination [citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <http://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/guia/minidraulica.htm>>

para la generación de energía, es por ello por lo que los modelos donde se incluya el funcionamiento de una turbina (pico, micro y pequeña generación)⁵ generar una reducción del 53% de costo en comparación con las turbinas de flujo cruzado.

La historia de la energía hidroeléctrica basada en electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento es un tipo de energía que lleva años explotándose no solo por los agricultores, puesto que desde la Grecia antigua se utilizaban molinos de agua que recogían el agua en movimiento en cubos alrededor del molino, haciendo que la energía cinética del agua en movimiento girara el molino convirtiendo la energía cinética en energía mecánica para mover el molino, a finales del siglo XIX la energía hidroeléctrica se convirtió en una fuente para generar electricidad.

⁵ COLLOTA Mario, MARCHIS de Mauro y otros. Sistemas avanzados de ingeniería y aplicaciones informáticas: teoría y práctica [En línea]. Prefacio del simposio [Verona, Italia]. Universidad de Verona, 30 de noviembre de 2018 [citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://doi.org/10.1063/1.5012464>>. AIP Conference Proceedings 2040: 1, 140001.

Ilustración 3 Hidroeléctrica Niagara Falls



Fuente: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>

La primera central hidroeléctrica se construyó en Niagara Falls en 1879. En 1881, la iluminación de las farolas de la ciudad de Niagara funcionaba mediante energía hidroeléctrica. En 1882 la primera central hidroeléctrica del mundo comenzó a funcionar en Estados Unidos en Appleton, Wisconsin.

La energía hidroeléctrica produce casi un quinto de la electricidad de todo el mundo. Países como China, Canadá, Brasil, Estados Unidos y Rusia fueron los cinco mayores productores de este tipo de energía en 2004.

Es importante tener en cuenta que la energía hidroeléctrica es la que genera electricidad de forma más económica en la actualidad. Esto se debe a que, una vez que la presa se ha construido y se ha instalado el material técnico, la fuente de energía en este caso (agua en movimiento) es gratuita lo que la convierte en un plus

al momento de su implementación; no solo esto si no se vuelve accesible ya que los ingenieros tienen la capacidad y el criterio de controlarla permitiendo calcular la cantidad de energía que se requiere de acuerdo con la demanda que devenga el territorio o la industria que lo desee.

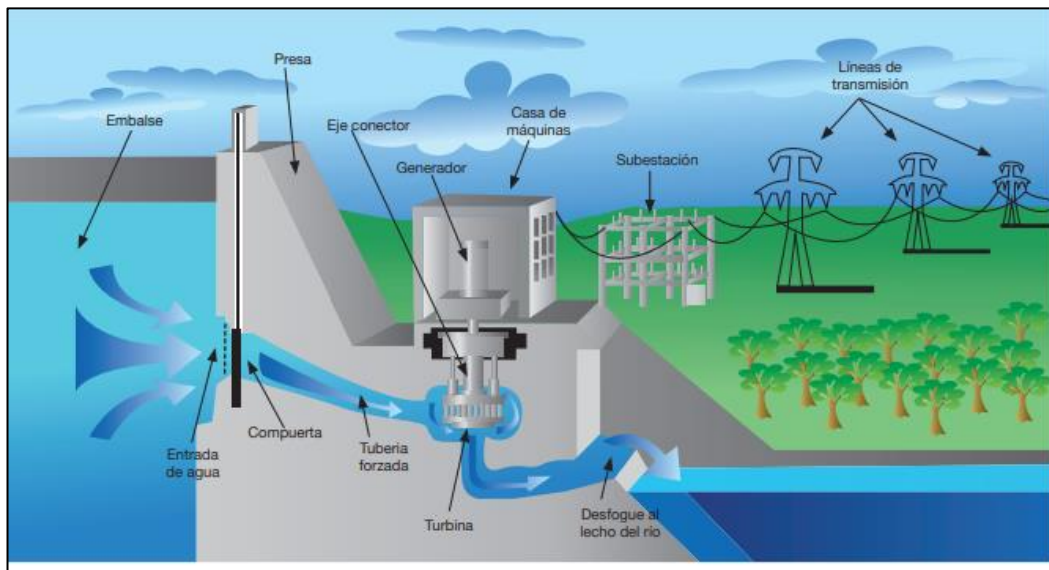
La energía hidroeléctrica poco a poco ha cogido fuerza convirtiéndose en un sistema innovador que no solamente se encontrara en fuentes hídricas gigantes si no que se ha permitido ser fuente de ideas para la creación de sistemas de generación de energías urbanas como lo pueden ser la implementación de microturbinas en tuberías de acueductos para la producción de energía y aprovechamiento del recurso agua.⁶

Como se mencionó anteriormente la transformación de la energía potencial en energía cinética se logra mediante la caída del agua. El agua que cae pasa por unas turbinas que se acoplan a un generador. Estas transforman la energía cinética en energía mecánica, dicha conversión se logra debido a la interacción de dos elementos principales que lo componen así, la parte móvil llamada rotor y la parte estática llamada estator, cuando estos están en funcionamiento el rotor genera un flujo magnético que actúa como inductor para que el estator transforme la energía mecánica en energía eléctrica.

⁶ REDACCIÓN NATIONAL GEOGRAPHIC - MEDIO AMBIENTE [fecha de publicación 5 de septiembre de 2010]
Disponible en Internet: <URL: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>

A lo largo del tiempo se han logrado construir centrales eléctricas que básicamente permite el aprovechamiento de las aguas en movimiento que circulan por los ríos para transformarla en energía eléctrica utilizando turbinas acopladas a los generadores, posterior a ese proceso el agua se devuelve en su mismo estado de modo que no altera su cauce natural, lo contrario se podría volver a usar para otras centrales situadas aguas abajo, un ejemplo de una central hidroeléctrica se puede ver en la ilustración No. 02.

Ilustración 4 Estructuración de una Hidroeléctrica



Fuente: http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf

La composición de las centrales hidroeléctricas básicamente son, una presa que se encarga de contener el agua de un río, la sala de máquinas que es a construcción

donde se sitúan las maquinas, equipos, alternadores, turbinas, y elementos de regulación y control de la central, las turbinas que son los que principalmente transforman la energía cinética del agua, el alternador o generador que es el que transforma la energía mecánica en energía eléctrica y las conducciones que son un sistema de alimentación del agua a las turbinas que se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones.

Cabe resaltar que existes distintos tipos de centrales hidroeléctricas que acuerdo a su necesidad o situación de implementación generan energía eléctrica de formas distintas unas a las otras, entre ellas encontramos las siguientes:

- Central de agua fluyente
- Central con embalse o de regulación
- Central de acumulación por bombeo
- Centrales mareomotrices

Estas son distintas centrales hidroeléctricas que como se mencionaba anteriormente tienen la misma funcionalidad, pero a diferencia de su estructuración ya que varía de acuerdo con su ubicaciones y necesidad que ella requiere, como algunas son de más accesibilidad por su gasto económica otras son bastantes costosas no solo al momento de su construcción si no de su mantenimiento continuo.

La hidroenergía en Colombia desde finales del siglo XIX, cuando se empezó a estructurar el sistema energético colombiano, se pudo evidenciar que el país tenía un gran potencial para generar electricidad a partir de la energía que produce el agua, ya que, debido a su ubicación, se presta para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos.

Más sin embargo es importante resaltar la necesidad de apoyo no solo con infraestructura si no con la tecnología que el país requiere para darle el aprovechamiento que este tiene al ser tan rico en fuentes hídricas, implementando sistemas de energías renovables y amigables con el medio ambiente.⁷

Existen diversidad de proyectos y artículos enfocados en la generación de energía eléctrica a través del potencial hidroeléctrico que permite explotar de acuerdo a la geografía y topografía del lugar; en argentina diferentes institutos (Instituto de Recursos Naturales y Eco desarrolló (IRNED) - Instituto GEONORTE – Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO) Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) realizaron una investigación a fondo donde presenta los modelos desarrollados para el mapeo del potencial hidroeléctrico en el Valle de Lerma, Salta. Con el fin de exponer la viabilidad de implementar

⁷ HIDROENERGÍA – UPME - Capítulo 1 HIDROENERGÍA [Central Urrá] Autor: Ingfocol LTDA - Disponible en Internet: <URL: http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf

microturbinas hidroeléctricas por la alta fuente hídrica que presenta el valle de Lerma provincia de salta en argentina, como objetivo principal esta Evaluar la posibilidad de aprovechamiento hidroeléctrico en el Valle de Lerma a nivel de subcuencas, a partir de la generación de mapas continuos de potencial hidráulico. Y desarrollar una metodología de mapeo para el potencial hidráulico en contexto SIG (Sistemas de Información Geográfica), que pueda transferirse y aplicarse a situaciones geográficas diversas.

La manera en que dicho equipo de trabajo se enfoca en analizar la viabilidad de innovar cono energías hidroeléctricas en un sector rico hídricamente es una idea innovadora ya que a través de una investigación a fondo y con herramientas tecnológicas se logra justificar la viabilidad de dicha investigación.

Pues este trabajo forma parte de la investigación Evaluación Multi Criterio para su alternativa de energía renovables en el territorio del valle de Lerma, el análisis del potencial energético que brinda dicha provincia para la aplicación de diversas energías renovables resulta ser muy útil para la implementación de microturbinas como generadora de energía eléctrica puesto que en este proceso de investigación resulta clave la recepción del territorio frente a una idea innovadora en él.

En trabajos de investigación anteriores ya fueron publicados las diferentes metodologías de mapeo y los resultados obtenidos para la estimación del potencial

solar (Belmonte et al, 2006a) y eólico (Belmonte et al, 2006b). Diversidad de técnicas y software fueron implementados para el desarrollo de estos modelos.

De igual forma en el artículo en mención durante la investigación al igual que para la evolución de las otras fuentes renovables se realiza una evaluación general macro del recurso hidráulico, implicando en una escala a nivel regional orientada a la definición de sectores (subcuentas) con la intención de mayor aprovechamiento hidroeléctrico, pues los límites del área de trabajo en el valle de Lerma, Salta fueron definidos con un criterio de cuencas hidrográficas asumiendo que basadas en ellas se puede planificar y analizar más adecuadamente los recursos naturales en forma íntegra con el fin de implementar una posibilidad más adecuada para la generación de energía a vez de sistemas como micro turbinas hidroeléctricas.

Los insumos necesarios para el cálculo, mapas de pendientes y orientación fueron obtenidos con módulos específicos para estas variables topográficas del programa Edrisí Kilimanjaro a partir de MDE, y para el cálculo de la potencia continua se aplicó la fórmula del módulo de calculadora geográfica del software Edrisí Kilimanjaro) con el fin de estimar la potencia continua P , partiendo de la siguiente ecuación:

$$P = 9.81 * Q * H_{ij}$$

Donde

P_i = potencial bruto por unidad de cuenca (pixel) (W)

Q_{ij} = caudal medio anual acumulado (m³/s)

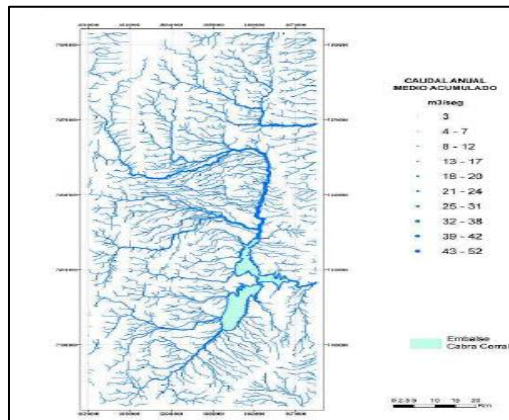
H_{ij} = desnivel topográfico (m)

9.81 = factor de aceleración de la gravedad (m/s²)

De igual manera se utilizaron otras diferentes ecuaciones para calcular datos que nos brindaran un acercamiento más real para lo que se buscaba en la investigación, valores tales como la densidad del potencial hidroeléctrico teórico bruto, potencial hidroeléctrico técnico aprovechable (P.H.T.A.), entre otros datos que finalmente amenizaron lo resultados que buscaban en la investigación, donde se logró identificar capas intermedias del modelado hidráulico, mapas temáticos de volumen de entradas de agua , factor de infiltración, derrame medio anual, desnivel topográfico subcuentas, volumen de entrada de agua por m³ anual alcanzando los valores máximos en las laderas montañosas que circundan la zona de valle por el oeste, donde las precipitaciones son mayores (media anual = 1353 mm) induciendo así que el 49% del área de estudio presenta un potencial aprovechable representando un aprovechamiento basado en su caudal para la producción energética como se muestra en la ilustración 05.⁸

⁸ Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES), Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 12 [fecha de publicación 2008] Disponible en Internet: <URL: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94603> , ISSN: 0329-5184

Ilustración 5 Hidrografía de caudal medio



Fuente: Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)

La implementación de una micro turbina como sistema alternativo e innovador de energía hidroeléctrica es un tema interesante y amigable con el medio ambiente; la micro turbina lucid pipe es un sistema energético que permite encajar dentro de las tuberías para permitir la transformación de la energía hidráulica a energía eléctrica a través de las turbinas, como necesidad se encuentra que en la mayoría de las tuberías de transmisión de agua alimentadas por gravedad, se quisiera disminuir el exceso de presión para evitar una tensión indebida en una tubería y reducir la incidencia de fugas. Normalmente esto se implementan válvulas reductoras de presión que lo que hacen es quemar el exceso de presión en forma de calor.

Lo contrario a lo mencionado anteriormente, el sistema Lucid Pipe lo convierte en electricidad de bajo costo, lo que elimina la presión no deseada y genera energía al mismo tiempo, energía que se puede usar detrás de la red o volver a conectarla. El

sistema Lucid Pipe expulsa un pequeño porcentaje de la altura de presión, lo que causa una operación casi invisible que permite a los operadores de agua cumplir con su misión principal de suministrar agua a los consumidores, y a su vez como beneficio generando a medidas mínimas energía hidroeléctrica.

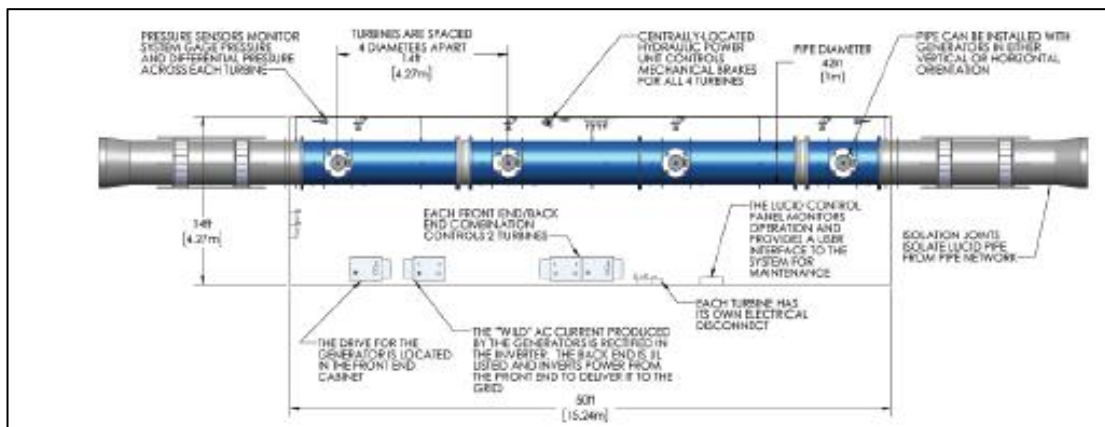
Lo interesante de la lucid pipe es que utiliza una turbina esférica de eje vertical que encaja precisamente dentro de las tuberías de agua de gran diámetro, en nuestro proyecto el encaje sería dentro de una tubería de 16", permitiendo así que el agua fluya a través de una turbina hidrodinámica generando energía cuando la turbina gira.

Dicha turbina hidrodinámica ha sido diseñada y probada en un laboratorio para para mejorar su eficiencia y generación de energía sin interrumpir el flujo de agua y lo contrario maximizado su uso, pues a medida que el flujo aumenta su velocidad, así mismo aumenta la producción de energía. Debido al diseño de la turbina lucid pipe, el sistema genera energía en una amplia gama de condiciones de flujo, volúmenes y velocidades. lucid pipe extrae muy poca presión de cabeza por turbina, solo 1-6 PSI (1-4 metros). Esto hace que el sistema modular lucid pipe se implemente en serie, al tiempo que permite un flujo de agua ininterrumpido.

La micro turbina lucid pipe no necesita precisamente colocarse en una zona transitoria de presión o donde necesite presiones extremas, la tecnología de la lucid

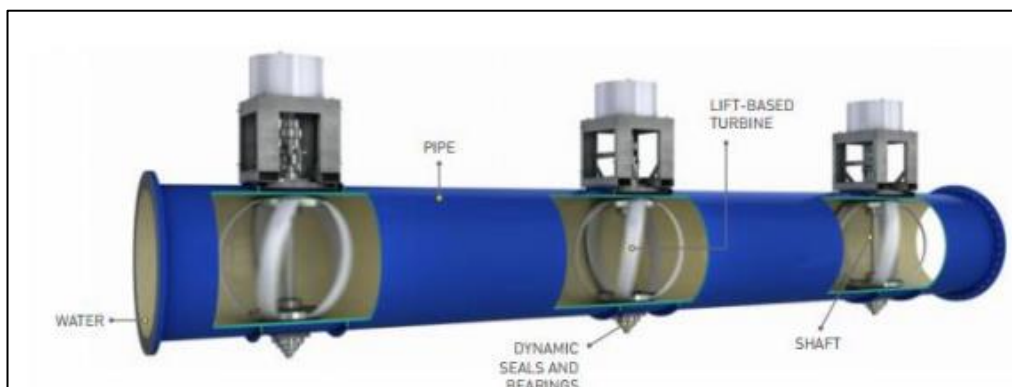
pipe y la flexibilidad operativa que esta ofrece lo hacen verdaderamente único, a continuación en la ilustración 04 y 05 se ilustra un ejemplo de un sistema de 4 turbinas instaladas en línea a una tubería de agua de igual manera el sistema de control y medición de potencia y su sistema de frenado están ubicados en la tubería o cerca de ella, minimizando la huella y los costos de instalación.

Ilustración 6 Sistema de 4 microturbinas



Fuente: <http://dx.doi.org/10.5703/1288284316353>

Ilustración 7 Instalación de microturbinas



Fuente: <http://dx.doi.org/10.5703/1288284316353>

Las especificaciones técnicas hacen que su flexibilidad sea única en el diseño de un sistema de energía como lo es la lucid pipe pues este permite adaptarse a múltiples configuraciones y sistemas de flujo lo que hace que se utilice en una amplia gama de aplicaciones para municipios e industrias, la implementación de la lucid pipe son de 2-3 veces mayores que las de la energía solar y eólica.

Los beneficios del sistema de energía lucid pipe está diseñado para usarse en tuberías de agua de gran diámetro, esto hace que sea más eficaz la producción energética. La energía renovable producida se puede utilizar fuera de la red, alimentarse de vuelta a la red o se utiliza para alimentar directamente dispositivos y equipos como bombas, medidores, controles, como en nuestro caso será suficiente para producir energía para el alumbrado público del parque timiza localidad de Kennedy.

Factores tales como la velocidad del agua ayudan a deducir el tamaño adecuado del sistema lucid pipe que se puede adaptar en una tubería. También se debe tener en cuenta el diámetro de la tubería, la presión de cabeza que está disponible para la extracción y el factor de capacidad del flujo del agua, para un mejor rendimiento y confiabilidad de la microturbina lucid pipe se logra a velocidades similares a 1.2 m/s, lo que para nuestro proyecto está dentro del rango ya que de acuerdo con los cálculos realizados las velocidades resultantes son de 2 m/s en promedio convirtiéndolo en un eficaz sistema energético.

Los beneficios de la microturbina lucid pipe extrae solo un pequeño porcentaje de la altura de presión cuando esa en funcionamiento y aproximadamente 1 psi de altura de presión cuando se detiene, es prácticamente invisible en una red de tuberías y se puede colocar directamente en línea sin necesidad de bypass para la turbina. Uno de los beneficios más favorables de la microturbina lucid pipe es que tiene un sistema que permite ajustarse para satisfacer las demandas de suministro de agua en lugar de que el operador de agua tenga que ajustar el agua a satisfacer las demandas que la microturbina requiere.

El primer sistema de turbina lucid pipe para generar energía hidroeléctrica se instaló en Riverside, California en el año 2010 prueba piloto que alimento más de 20 megavatios por hora de electricidad renovable para la red, este resultado muy exitoso lo que llevo a que Riverside instalara un sistema permanente, dicho sistema fue galardonado con el premio a la gestión de energía sobresaliente 2011 por la sección de California-Nevada de la Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas.

Aunque no todo fue sencillo pues una de las mayores barreras fue vender una tecnología innovadora que generara electricidad a través del agua y a un muy bajo costo, puesto que la idea se vendía como un sistema de energía hidroeléctrica que con poco flujo de agua sería capaz de generar la energía suficiente a muy bajo costo

al momento de la instalación y que fuese suficiente para abastecer municipios e industrias de cualquier tipo.⁹

Aprovechar la fuerza del agua que circula por las redes de acueducto de cualquier ciudad para generar electricidad es la iniciativa que la empresa Lucid Energy propone con la microturbina Lucid pipe, sistema sostenible que proporciona energía limpia y renovable sin necesidad de la quema de combustibles fósiles. Generando un impacto ambiental nulo en comparación con otras fuentes de energía alterna.

Como lo es para nuestro proyecto en el Parque Timiza en este artículo se expone la iniciativa como la idea de ser realmente simple porque consiste en instalar en los conductos de agua incorporando una turbina generadora de electricidad. Este sistema está diseñado para que no influya en la presión del agua y no altere su funcionamiento.

⁹ Purdue University- Purdue ECT, [Emerging Construction Technologies, Division of Construction Engineering and Management, Purdue University, West Lafayette, Indiana] "LUCIDPIPE™ POWER SYSTEM" (2016). ECT Fact Sheets. Paper 224. Disponible en Internet: <URL: <http://dx.doi.org/10.5703/1288284316353>

Ilustración 8 Construcción de microturbina.



Fuente: <https://www.santacruzlimpia.info/index.php/blog/item/405-turbinas-en-las-canerias-de-agua-para-producir-electricidad-limpia>

Además de esto se pueden ver las herramientas de gestión de intervenciones hidroenergéticas en sistemas de suministro de agua, en estos lugares, las válvulas de reducción de presión (PRV) se utilizan comúnmente para controlar la presión de la red y producir energía máxima en el WSS, como también los usos de las bombas que funcionan como turbinas (PAT) las cuales convierten el exceso de presión en electricidad. Aunque su aplicación es económica se pueden presentar alteraciones en los flujos y se debe validar la eficiencia de la turbina pues la recuperación de

energía puede ser variable como también se debe tener en cuenta su diseño al momento de la operación.¹⁰

Con los últimos avances tecnológicos en lo que a energías renovables se refiere, el sistema lucid pipe requiere de una mínima infraestructura y no necesita altas presiones para su funcionamiento, ya que utiliza las instalaciones de agua existentes y los flujos disponibles para generar electricidad a bajo costo.

Además de generar electricidad para alimentar a la red general, los conductos tienen sensores que pueden monitorizar los niveles de potabilidad del agua, así como las condiciones generales de abastecimiento de la ciudad.

Como se ha mencionado en diferentes artículos este sistema se encuentra instalado actualmente con éxito en Portland, EE. UU, donde 150 hogares ya reciben su energía limpia directamente del suministro de agua, una media de entre 900 y 1.200 megavatios/hora de energía al año, convirtiéndolo en un sistema de energía hidroeléctrico para beneficio del planeta.¹¹

¹⁰ FRIJNS Jos, CABRERA Enrique y otros. Prácticas y Tecnologías del agua, Herramientas de gestión para intervenciones hidroeléctricas en sistemas de abastecimiento de agua [En línea]. Artículo de investigación, Volumen 10, 2da Edición [Londres, Reino Unido]. IWA Publishing, 01 de junio de 2015 [citado en 29 agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://doi.org/10.2166/wpt.2015.024>>. EISSN 1751-231X.

¹¹ Blog Santa Cruz de Tenerife Limpia - Turbinas en las cañerías de agua para producir electricidad limpia – Publicado el 12 de abril de 2018 - Disponible en Internet: <URL: <https://www.santacruzlimpia.info/index.php/blog/item/405-turbinas-en-las-canerias-de-agua-para-producir-electricidad-limpia>>

En la ciudad de portland en estados unidos a mediados del año 2015 se instalaron turbinas dentro de sus tuberías, que a su vez está generando energía limpia las 24 horas del día, sin importar el estado climatológico del lugar.

Portland, la ciudad más importante del estado de Oregón, es protagonista en cuanto a la lista de las ciudades sustentables o “verdes” por razones que no les faltan, tales como, que el 8% de sus habitantes usan bicicleta como modo de transporte además cuenta con más de 55% de sus desechos y fue unas de las primeras ciudades en prohibir el uso de bolsas plásticas.

A todo esto, hay que sumarle el proyecto llevado a cabo por la oficina de agua de portland y la compañía de energía renovable, que permite a los habitantes de la ciudad generar energía con solo tirar la cadena del baño o abrir la llave del agua.

En diciembre comenzó a reemplazar parte de sus tuberías por nuevas llamadas Lucid pipe. Estas tuberías incluyen un sistema de 4 microturbinas de 107 cm que giran con el paso del agua, haciendo que un generador ubicado en el exterior convierta este movimiento en energía.

Aunque la cantidad de energía que producirán estas tuberías dependerá de la tasa de flujo y la presión interna se estima que el sistema de 200 kilovatios generará energía suficiente para cubrir 150 hogares, o un edificio de gran tamaño (como una escuela o una biblioteca).

Como lo es en nuestro proyecto la implementación de una microturbina de referencia lucid pipe para la generación de energía eléctrica trae beneficios similares a las presentes en este artículo puesto que no generan ningún impacto ambiental negativo, otra ventaja tiene que ver con la naturaleza de la fuente de energía, ya que siempre hay agua corriendo en las tuberías por lo que las turbinas generaran energía las 24 horas del día, además de ser localizadas bajo tierra las tuberías tampoco impactaran en el paisaje, de igual forma es considerable ya que para portland es una fuente de energía útil no solo para ellos si no para lugares fuera de la ciudad.

Este proyecto no es el más grande que se haya usado con la tecnología lucid pipe, pero se aspira alimentar los poses de la durante la noche y durante el día, cuando los precios de la electricidad son altos, pueden usarla para compensar parte de sus costos de operación.

A la fecha se están efectuando las últimas pruebas del sistema para que en marzo comiencen a funcionar en toda su capacidad y se espera que, en 20 años, las tuberías de Portland generen 2 millones de dólares en energía renovable, y todo, con solo tirar la cadena.¹²

¹² Revista Energía- NOTICIAS [Los habitantes de Portland generan energía tirando la cadena del baño] – publicada en marzo 6 de 2015 - Disponible en Internet: <URL: <https://www.revistaenergia.com/4113/>>

En la actualidad es claro que una energía renovable de gran impacto es la energía hidráulica. Esta energía usa la energía potencial del agua para producir energía eléctrica. En el campo de la ingeniería la energía hidráulica se basa en la energía potencial que tiene el agua en función de la diferencia de altura entre el lugar donde se inicia el salto de agua y el lugar donde se encuentra la turbina.

La energía potencia está en función también de la masa de agua que cae y de la gravedad del planeta tierra. En el tipo de salto las centrales pueden ser de bastante caudal y poco desnivel o de poco caudal y gran desnivel.

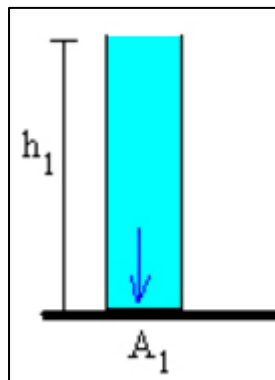
Como nuestro proyecto que consiste en la producción de energía hidráulica a menor escala, también existen centrales hidráulicas de alta presión siendo centrales con saltos superiores a los 200 m de altura, siendo los caudales del orden de los 20 m³/s, estos normalmente están ubicados en zonas de alta montaña.

En relación con la ingeniería las centrales de media presión generan la energía hidráulica a partir de saltos de agua más pequeños, pero con unos caudales mayores. Estos saltos de agua están entre 20 m y 200 m con caudales del orden de los 200 m³/s, esto lo podemos relacionar bajo la ecuación siguiente:

$$p = p_0 + \rho g h$$

Según la estática de fluidos, dicha presión ejercida por gran cantidad de agua viene expresada en función de la presión atmosférica y del producto de la densidad de agua, gravedad y altura como es explícito en la siguiente imagen

Ilustración 9 Estática de fluidos

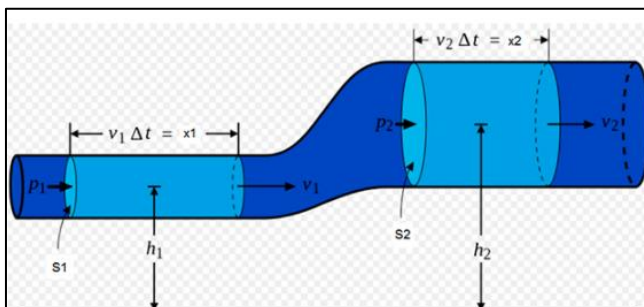


Fuente: <https://www.eadic.com/energia-hidraulica-la-primera-renovable/>

También encontramos que la ecuación de Bernoulli nos relaciona los datos de entrada con los datos de salida en una canalización del agua. Estas son las que llevarán el agua a la turbina, permitiendo que la energía hidráulica que llega a las turbinas se convierta en energía eléctrica en el alternador, para refrescar un poco la memoria la ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$P_1 + 1/2 \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + 1/2 \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

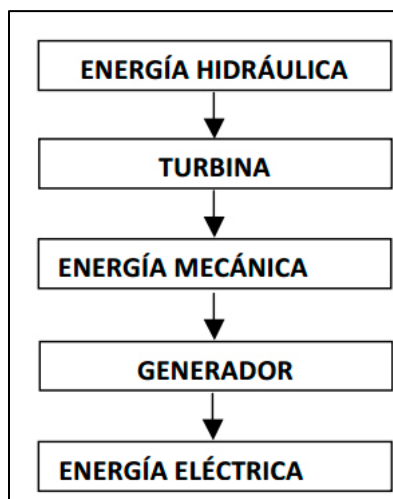
Ilustración 10 Ecuación de Bernoulli



Fuente: <https://www.eadic.com/energia-hidraulica-la-primera-renovable/>

En resumen, la obtención de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica se puede resumir en el siguiente recuadro de análisis:¹³

Ilustración 11 Análisis de energía hidráulica a eléctrica.



Fuente: <https://www.eadic.com/energia-hidraulica-la-primera-renovable/>

¹³ Eadic formación y consultoría- [Energía hidráulica, la primera renovable] – Fecha de publicación 11 DE JULIO DE 2016 POR EQUIPO COMUNICACIÓN EADIC - Disponible en Internet: <URL: <https://www.eadic.com/energia-hidraulica-la-primera-renovable/>>

Para la UNESCO la energía hidroeléctrica suministra cerca del 20% de la electricidad mundial, porcentaje que se ha mantenido frecuente desde la década de 1990, el uso de fuentes de energía renovable ha crecido en todo el mundo gracias a los avances técnicos que ha permitido disminuir los costos. Esto debido a que las fuentes de energía renovables por sí solas no serán suficientes para satisfacer el aumento de la demanda energética a lo largo del 2030, es por ello que la extracción de combustibles fósiles y el desarrollo de la energía nuclear seguirán creciendo al mismo tiempo que lo hará el impacto sobre los recursos hídricos, aunque suene absurdo proyectos de diminuta dimensión como lo es nuestra micro turbina aporta un porcentaje muy mínimo al abastecimiento de energía hidroeléctrica, pues el cambio está en nosotros mismo y en nuestro accionar.

Según la agencia internación de energía la producción de electricidad mediante energía eléctrica crecerá a un ritmo anual de 1,7% desde el 2004 al 2030 con un incremento global del 60% al llegar al año 2030.

El desarrollo de la energía hidroeléctrica se verá limitado por dos factores importantes y uno de ellos es por el cambio climático que presenta nuestro planeta y es el modesto potencial geofísico y espacial disponible para nuevas instalaciones de energías hidroeléctricas.

El segundo está basado en las limitaciones tales como la capacidad de inversión para este tipo de proyectos esto conlleva la disponibilidad de fondos, razón por la cual explicada por qué se ha explotado tan poco el potencial hidroeléctrico que presentan los países en desarrollo¹⁴

Para muchos la energía hidroeléctrica es la fuente de energía renovable más importante del planeta, pues abastece cerca del 16% de la demanda global por encima de otras energías renovables, en este artículo se mencionan grandes beneficios que nos trae este servicio haciendo sostenible y de gran eficiencia a continuación se mencionan los más destacados:

1. La hidroelectricidad contribuye a proveer un servicio energético moderno y asequible, es decir la hidroeléctrica será capaz de suplir la demanda que requiera el proveedor y adicional a ello se verá reflejado en el bajo costo que esta generaría.
2. La hidroelectricidad permite contar con un servicio energético fiable, es decir brindar la confianza necesaria para el proveedor ya que cuenta con reservas

¹⁴ UNESCO - Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) – [Hechos y cifras La energía hidroeléctrica suministra cerca del 20% de la electricidad mundial] - - Disponible en Internet: <URL: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-6-hydropower/#topPage>

de energía a través de embalses que guardaran para suplir el abastecimiento en temporadas secas.

3. La hidroelectricidad aumenta considerablemente la participación de energía renovable, es decir explotar el potencial de la energía hidroeléctrica es de gran eficiencia ya que basado en ellos logramos aportar la disminución del cambio climático mundial
4. La hidroelectricidad permite incrementar la eficiencia energética es decir que la hidroelectricidad, más allá de ser energía renovable es energía sostenible, y que contribuye a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, a la reducción de la pobreza y de la degradación ambiental.

Si bien a nivel global la hidroelectricidad es energía sostenible con múltiples beneficios es necesario tener en cuenta que a nivel local pequeñas obras como lo es nuestro proyecto aportaran parte del cambio para eficiencia de este.¹⁵

¹⁵ BID mejorando vidas- [energía para el futuro] - La hidroelectricidad, la mayor fuente de energía sostenible. ¡Aquí te decimos por qué! Publicada por Edwin Malagón – diciembre 12 de 2017 - Disponible en Internet: <URL: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-hidroelectricidad-la-mayor-fuente-de-energia-sostenible-aqui-te-decimos-por-que/>

En Colombia el sistema hidroeléctrico no se queda atrás, pues contamos con diferentes centrales hidroeléctricas que más allá de su funcionamiento están aportando un porcentaje al cambio que por más mínimo que sea, le es favorable para el planeta, con energía limpia y tecnologías innovadoras se han implantado diferentes centrales favorecieron el suministro de energía eléctrica, Colombia al ser un país con un potencial eléctrico enorme ha sido foco de diferentes proyectos hidroeléctricos como:

- 1- Hidroeléctrica Chivor, esta se encuentra ubicada en Boyacá y es propiedad de AES CHIVOR & CIA SCA ESP, inaugurada en 1982

Ilustración 12 Hidroeléctrica Chivor



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 2- Hidroeléctrica san Carlos ubicada en el oriente de Antioquia y hace parte de imagen y se inauguró en 1987.

Ilustración 13 Hidroeléctrica san Carlos

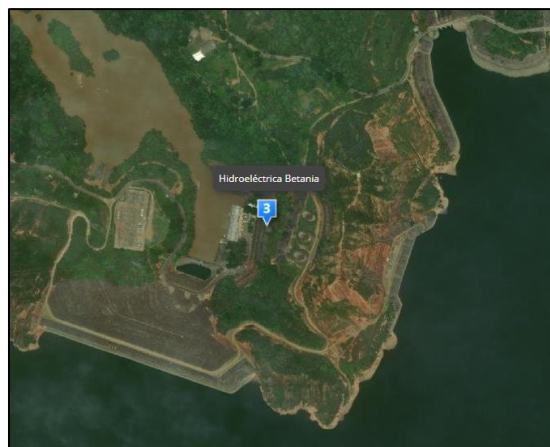


Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 3- Hidroeléctrica Betania ubicada al noreste de Huila a cargo del grupo emgesa e inaugurada en 1987

Ilustración 14 Hidroeléctrica Betania



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 4- Hidroeléctrica del gavio localizada a 120km del noreste de Bogotá y hace parte del grupo emgesa e inaugurada en 1992

Ilustración 15 Hidroeléctrica del gavio

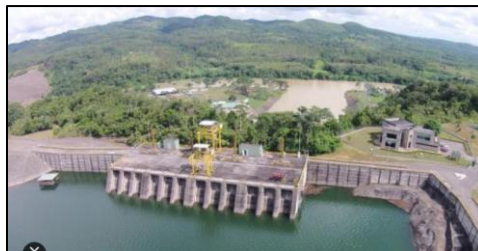


Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 5- Hidroeléctrica urran, ubicada en la cuenca alta del rio sinu en el departamento de córdoba y fue inaugurada en el año 2000

Ilustración 16 Hidroeléctrica urran



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 6- Hidroeléctrica miel, construida por isagen y se encuentra ubicada en el nororiente del departamento de caldas y fue inaugurada en el año 2002

Ilustración 17 Hidroeléctrica miel



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 7- Hidroeléctrica el quimbo, construida por el grupo emgesa ubicada al sur del departamento del Huila y su inauguración fue el 25 de febrero de 2011.

Ilustración 18 Hidroeléctrica el quimbo



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 8- Hidroeléctrica de Sogamoso, propiedad de isagen, ubicada en el departamento de Santander y fue inaugurada en el año 2015.

Ilustración 19 Hidroeléctrica de Sogamoso



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

- 9- Hidro Ituango, ubicada al norte de Antioquia entre el municipio de Ituango y puerto Valdivia, su construcción inicio en el 2010 y por ahora se desconoce la entrada en operación.

Ilustración 20 Hidro Ituango



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

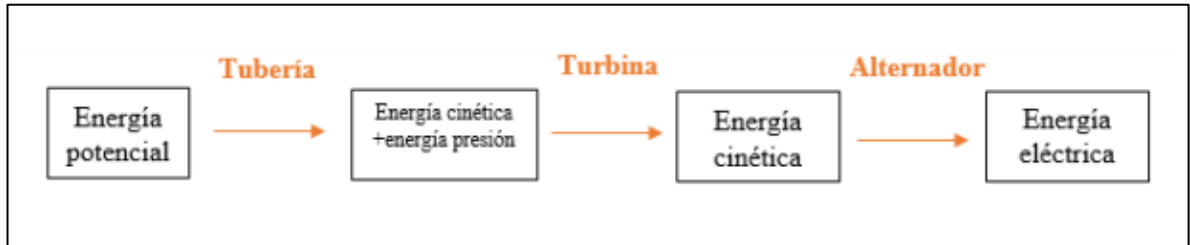
Proyectos como este son de gran envergadura para nuestro país, ya que a gran escala hacen su aporte sostenible al planeta y generan energía sostenible a gran parte de su territorio, impulsando a las generaciones futuras a la modelación y construcción de sistemas hidroeléctricos para nuestro país.¹⁶

Uno de los países que tenemos como ejemplo es Costa Rica donde se ve *“la importancia de la generación de energía se hizo un estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados”*, en el cual se da a conocer el proceso que se requiere para abastecer de agua potable la ciudad, donde a su vez se aprovecha la tubería existente y en esta se hace la ubicación de microturbinas para la generación de energía, basados en análisis de caudal, características del fluido para cumplir con la demanda requerida para el abastecimiento energético.¹⁷

¹⁶ ArcGIS – [CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA] - - Disponible en Internet: <URL: <https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>

¹⁷ VARGAS BENAMBOURG, Daniela. Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, [En línea]. Informe de Práctica de Especialidad [Daniel Flores, Costa Rica]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 05 de Junio de 2019. [citado en 29 agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10884/estudio_prefactibilidad_aprovechamiento_energetico_mediante_sistemas_micro_generacion_hidroelectrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Repositorio TEC.

Ilustración 21 transformación de la energía



Fuente: Ortiz 2011 – Repositorio TEC

Se evidencia que en Valle de Lerma (Salta). Se realizó la apreciación del capacidad hidráulica para la obtención y producción de energía eléctrica por microturbinas mediante programas SIG pues por medio de la procesamiento de la herramienta digitales como el SIG 18 se analizó mapas de potencial hidráulico bruto (P.H.T.B) y energía supuesta anual que mostraron un potencial significativamente mayor para la implementación de aplicaciones hidroeléctricas de pequeña escala en las subcuencas hídricas del Valle de Lerna (Salta)., este dio un aprovechamiento del 10-45% del P.H.T.B (bajo supuesto de destino total de caudal disponible a producción energética). Estos estudios se utilizaron para la tener una alternativa y realizar el proceso de instalación de microturbinas pequeñas para generar energía para el consumo a nivel familiar, el cual consiste en la captación de diferentes

¹⁸ BELMONTE Silvina, VIRAMONTE José y otros. Estimación del potencial hidráulico para generación de energía eléctrica por microturbinas mediante herramientas SIG, [En línea]. Artículo de la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente volumen 12 [Valle de Lerma, Salta]. ASADES - Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008 [citado en agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94603>>. ISSN: 0329-5184

tributarios, pequeños canales que puedan abastecer el agua en todo el calendario anual, esta agua se integra a la red matriz y hace un aporte de 13.2 kW

Otro aspecto donde vemos la implementación de energías no convencionales es en la División Radomiro Tomic, Codelco, el cual realizó un estudio de trabajo que se organizó de 3 etapas. Esta etapa inicial consistió en realizar un análisis para determinar posibles ejecuciones de Energías no Convencionales¹⁹, así mismo de verificar qué recursos había existentes en la División para la obtención de energía, una vez contextualizado el panorama de los antecedentes se planteó distintos procedimientos para llevar a cabo la obtención de energía. En la segunda etapa se realizó la selección de dos proyectos para tomarlos como base para poder efectuar un proyecto de ingeniería que permitiera la obtención de energía eléctrica limpia. En la última etapa se efectuó una estimación y valoración del presupuesto y planeación del proyecto, para así finalmente determinar los beneficios y desventajas del plan de obtención de energía eléctrica. Finalmente dio el resultado de que son proyectos que generan significativamente un beneficio ambiental más no monetario, lo cual hace complejo la implementación de estos proyectos en muchos países.

¹⁹ BELLENGER Alfonso. Aplicación de energías no convencionales, [En línea] Tesis de Grado [Valparaíso, Chile]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 20 septiembre 2012 [citado en Agosto 2020]. Disponible en internet: <URL: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3378_01.pdf>. Sistema de biblioteca

Un caso en particular donde se analizó el aprovechamiento de la energía a través de la circulación del agua mediante la red matriz de acueducto y en estos hacer la implantación de turbinas, es en Valencia, España, relatando la práctica que se realizó en la compañía Global Ómnium y Grupo Aguas de Valencia S.A., donde estas grandes empresas le apostaron a la implementación de microturbinas hidráulicas el sistema de acueducto existente con la finalidad de hacer un uso innovador y eficiente para generar energía. Partiendo de esta inversión, se inició el autoconsumo de energía y dio paso a la construcción de estaciones que alimentarán puntos de recarga de dispositivos electrónicos y generar servicios de wifi en las playas, entre estas se tiene la playa Altafulla. Partiendo de estas innovaciones se generaron algunas complicaciones técnicas al momento de hacer la distribución de esta energía para usos de autoconsumo.²⁰

Según la revista “*energías renovables para todos*” que es una publicación que fue producida y editada por *haya comunicación*, en el cual dan a conocer el paso a paso del proceso que se lleva a cabo para las turbinas estableciendo un sistema de control y regulación, con ello aprovechando pequeños desniveles y a su vez caudales mínimos para la producción de energía eléctrica y a su vez esta se canaliza de manera que se pueda acumular para alcanzar una gran cantidad y así

²⁰ PRATTS Manuel, GARCÍA David y otros. Aprovechamiento de la energía de la red mediante turbinación Experiencia en Global Ómnium - Grupo Aguas de Valencia S.A., [En línea]. AEAS - Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 2017. [citado en Agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://www.tecnoagua.es/articulos/20200829/articulo-tecnico-aprovechamiento-energia-red-turbinacion-global-omnium#.X5cgz4hKhPY>> Artículo para descargar.

finalmente llegar a abastecer la demanda que requiere. Para estos casos de obtención de energía son adecuadas las turbinas Pelton, Turgo y Banki. Generalmente, estos aparatos tienen una relación de turbina-generator, que son regulados por otros equipos que controlan la carga de lo acumulado y donde esta corriente que es continua debido a la batería se transforma en corriente alterna para el uso que normalmente aplique y se necesite a su vez cumpliendo las condiciones del suministro para el autoconsumo.

En España actualmente se cuenta con una instalación de potencia hidroeléctrica de aproximadamente 18.373 MW,²¹ representando un 20% de la potencia. Partiendo de esto tenemos que 1.853 MW son minihidráulicos, contando que están en generadores de menos de 10 MW. Siendo un beneficio económico para las comunidades ubicadas en zonas olvidadas y desiertas. Las partes esenciales que deben componer un generador minihidráulico son: fuente hídrica, captura de agua, conducción, cámara de carga, tubería, equipos electromecánicos, descarga, subestación y línea eléctrica (turbina) que aprovecha la velocidad y el caudal del agua. Para estos casos es habitual los modelos Pelton o Banki Michell porque son adecuados cuando hay un caudal mínimo y de grandes saltos

²¹ MERINO Luis, MOSQUERA Pepa y otros. Energías Renovables [En línea]. Revista impresa por EGRAF, Mayo 2011 [citado en Agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Revista569.pdf>>

Basados en **pruebas y ensayos de microturbinas hidráulicas para la generación de energía eléctrica en zonas desabastecidas**, se establece el siguiente procedimiento:

- Bocatoma: toma de muestra de agua de la fuente hídrica.
- Conducción: recorrido del agua hasta la turbina.
- Turbina y Generador: el agua pasa a través del mecanismo acelerando su presión y dando paso a que la turbina se acciona transformando la energía mecánica en energía eléctrica.
- Controlador electrónico de potencia: Partiendo de la conexión realizada al generador permite y transforma la potencia eléctrica generada de tal manera que se pueda distribuir para el consumo.²²
- Sistema de distribución eléctrica: la energía eléctrica se distribuye para consumo en general.

Debido a estos estudios y diferentes pruebas realizadas se puede concluir que la problemática se puede dar entre la turbina y el alternador, cuando se presenta un grado de reacción frente al fluido es muy baja.

²² MACIAS Juan. ENSAYO DE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS DESABASTECIDAS (II) [En línea]. Tesis de grado [Madrid, España]. Universidad de Carlos III de Madrid, Julio de 2012 [citado en Agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15916/PFC_JuanManuel_Mascias_DeLaRica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

8. MARCOS DE REFERENCIA

8.1 MARCO TEÓRICO.

8.1.1 HIDROENERGÍA EN COLOMBIA

Desde finales del siglo XIX, cuando se empezó a estructurar el sistema energético colombiano, se pudo ver que el país tenía un gran potencial para generar electricidad a partir de la energía que produce el agua, ya que, debido a su ubicación, se presta para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos.

De acuerdo con esto se crea el Sistema Interconectado Nacional (SIN), como un conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de distribución que se encuentran interconectados entre sí por el Sistema de Transmisión Nacional (STN). El SIN tiene una cobertura alrededor del 48% en el territorio nacional, pero provee cerca del 98.2% del consumo total de energía eléctrica del país; este se encuentra distribuido en la región Central o Andina y en la Costa Atlántica.

El resto de la demanda de energía se da en zonas remotas del territorio llamadas Zonas no interconectadas.²³

²³ UPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia [En Línea]. Proyecto inversiones catalizadoras para energía geotérmica [Bogotá, Colombia]. UPME, 1995 [citado

La compañía XM S.A. E.S.P, es la compañía que actualmente opera el SIN de Colombia y administra el Mercado de Energía Mayorista (MEM) del país. En su informe “Operación del SIN y administración del mercado”, revela que la capacidad efectiva neta (CEN) 4 instalada en el SIN al finalizar 2014 fue 15,489 MW.

Al comparar la capacidad de 2014 con la registrada en 2013, se observa un crecimiento en 930 MW, equivalentes al 6,4%. Este aumento obedece principalmente a la entrada en operación de las centrales hidroeléctricas Hidro Sogamoso, 819 MW; Darío Valencia Samper, unidad 1 y 5, de 50 MW cada una; el Popal, 19.9 MW; el Salto II, 35 MW y Lagunita, 18 MW. De acuerdo con lo anterior se puede identificar que el recurso hidráulico tuvo una participación del 64% en la generación de energía eléctrica. ²⁴

el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf>.ISBN No. 978-958-8363-26-4

²⁴ Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 1 - 24 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de Octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p1-24.pdf>.

8.1.2 ¿QUÉ ES LA HIDROENERGÍA?

Es la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada (energía potencial) a cierta altura y se dejar caer para producir energía eléctrica. Esta fuente de energía renovable se encuentra disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua; la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas, y para su desarrollo requiere construcciones que varían de acuerdo con las condiciones del entorno.

25

8.1.3 ¿CÓMO SE GENERA?

En una central hidroeléctrica, la transformación de la energía potencial en energía cinética se logra mediante la caída del agua. El agua que cae pasa por unas turbinas que se acoplan a un generador. Estas convierten la energía cinética en energía mecánica.

El generador tiene como función transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Esta transformación se consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

²⁵ Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 25-36 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de Octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf>.

Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, el rotor genera un flujo magnético que actúa como inductor para que el estator transforme la energía mecánica en energía eléctrica.²⁶

8.1.4 ¿CÓMO FUNCIONA UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA?

Compuesto por una turbina con generador incorporado el cual transforma la fuerza del agua en energía eléctrica. A través del cuadro y del regulador de carga, se controla que la carga de las baterías se produzca de manera óptima maximizando la vida útil de las mismas. Para disponer de corriente alterna como la que se tiene disponible en cualquier vivienda, se utiliza el inversor, que transforma la corriente continua en corriente alterna. Opcionalmente, se puede equipar la turbina con una válvula automática y un controlador para parar y arrancar la turbina en función del nivel de carga.²⁷

²⁶ Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 25-36 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de Octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf>.

²⁷ YOUR WATER TURBINE. Turbinas hidráulicas. [En línea]. Página informativa [Elche, España]. Your water Turbine. [citado en Agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://yourwaterturbine.com/?gclid=Cj0KCQjw28T8BRDbARIsAEOMBcwKjzbs9_AKjg2uGZgvuq_DQJuKATSrTzyb0fcfF-EITPavtEiqGWsaAm4eEALw_wcB>

8.1.5 LAS MICROTURBINAS PELTON Y BANKI

Las microturbinas ECOWATT HYDRO de la marca IREM son la solución ideal para aquellos lugares donde la energía eléctrica no está disponible desde la red eléctrica o para producir energía para ser transferida a la red eléctrica.

Ilustración 22 ECOWATT HYDRO



RANGO DE OPERACIÓN FLUJO CRUZADO (BANKI)

Cabeza (H): 5 ... 50 m

Caudal (Q): 10 ... 1500 l/s

Potencia (P): 1 ... 250 k



RANGO DE OPERACIÓN PELTON

Cabeza (H): 20 ... 550 m

Caudal (Q): 0.5... 450 l/s

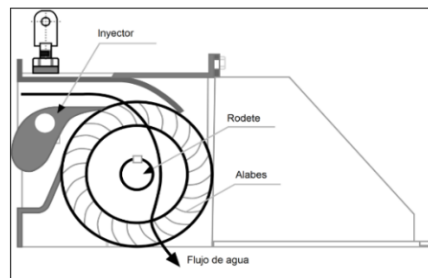
Potencia (P): 0.5 ... 750 kW

Fuente: ITDG

8.1.6 MICROTURBINA MICHEL BANKI

La turbina Michell-Banki es una máquina clasificada como una turbina de acción, de entrada, radial y flujo transversal. Es utilizada, principalmente, para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y sus ventajas principales están en su sencillo diseño y en su fácil construcción, lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala ²⁸

Ilustración 23 Componentes Principales de la Turbina Michell-Banki



Fuente: ITDG

La presente turbina se diseñó a partir de las siguientes condiciones impuestas: salto efectivo de agua de 25 m, caudal 120 l/s, rendimiento del 60%. La potencia útil obtenida es: 18kW.

²⁸ ITDG. Soluciones Prácticas. [En línea] Ficha Técnica N.º 2. Turbina Michell Banki. [Citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://carlosmartinezc.files.wordpress.com/2012/01/fichatecnica2-turbina-michell-banki.pdf>>

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de arco circular.

La construcción del rotor y el inyector de esta máquina no involucran tareas de fundición de precisión. Un elemento muy importante para el buen funcionamiento, y que en general requiere de mucha precisión en la construcción, son los álabes del rotor. En este caso para facilitar la construcción de los álabes se utilizó una tubería comercial de acero al carbono sin costura, ésta fue cortada formando un marco de circunferencia con ángulo θ .

8.1.7 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

La ecuación de la energía se considera como una proclamación del principio de la conservación de la energía para el flujo de los fluidos lo que permite resolver problemas donde existen pérdidas y ganancias de energía, donde existe descenso de presión del líquido en regiones donde la velocidad del flujo es mayor, la energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio según Giles (1994) se obtiene:

energía en la sección 1 + energía añadida – energía perdida – energía extraída
= energía en la sección 2

Esta ecuación se simplifica a

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right)$$

Todos los problemas que implican flujos de líquidos se resuelven básicamente con esta ecuación además es esencial que la ecuación general de la energía se escriba en la dirección del flujo.

El comportamiento de un fluido, en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento

8.1.8 FLUJO DE FLUIDO EN TUBERÍAS

En el caso de las pérdidas que se producen, se distingue entre la fricción interna en el fluido y la fricción entre el fluido y la pared o resistencia.

En relación con las pérdidas, se debaten los siguientes conceptos generales de la mecánica de fluidos:

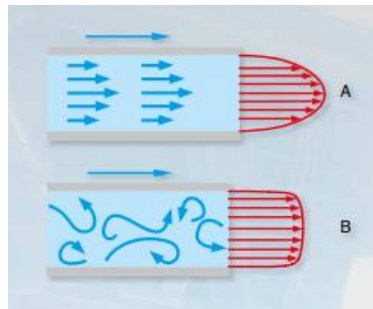
- flujo laminar y turbulento

- fricción de tubería debido a materiales y superficies diferentes
- pérdidas de carga en tuberías y racores de tubos
- pérdida de carga en válvulas y robineterías

8.1.9 FLUJO TURBULENTO

En el flujo turbulento B, las capas de fluido individuales se arremolinan e intercambian energía. El patrón de flujo generado se caracteriza por movimientos tridimensionales, impredecibles y no estacionarios de las partículas fluidas.

Ilustración 24 Representación gráfica del flujo laminar y turbulento Fuente: Navarro Juliette, 2015



Fuente: ITDG

En las tuberías, el número de Reynolds **Re** se puede calcular a partir del diámetro interno de la tubería **d**, la velocidad media del fluido **v** y la viscosidad cinemática **ν**

Ilustración 25 Ecuación de Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

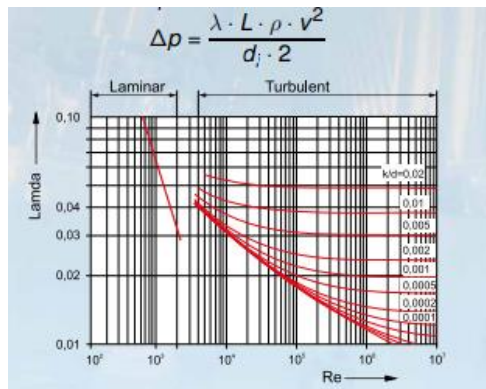
flujo turbulento $Re \geq 2300$

Fuente: ITDG

8.1.10 DIFERENCIA DE PRESIÓN EN ELEMENTOS RECTOS DE TUBERÍA

La diferencia de presión Δp de la entrada a la salida de un elemento recto de tuberías se obtiene del factor de fricción de tubería λ , la longitud de la tubería L , la densidad del fluido ρ y el cuadrado de la velocidad media del fluido v dividido por el diámetro interior de la tubería d_i .

Ilustración 26 Conocimientos básicos flujo en tuberías y robinetería



Fuente: GUNT

El diagrama de fricción de tubería indica la dependencia del factor de fricción de tubería m del número de Reynolds Re y la rugosidad k ²⁹

8.1.11 CONSIDERACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Se presenta una clasificación de las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento de energía en los sistemas eléctricos de potencia. Dependiendo de la capacidad del sistema eléctrico, los requerimientos de los sistemas de almacenamiento cambian, es decir, si se trata de sistemas de alta potencia los sistemas de almacenamiento deben tener la capacidad de mantener la calidad de la energía y asegurar la continuidad del servicio (descargas de energía en fracciones de segundo), mientras que en los sistemas basados en generación distribuida la premisa es el almacenamiento de energía con el fin de entregarla en los momentos (horas) en los cuales la generación no está presente. ³⁰

²⁹ GUNT. Flujo en sistemas de tuberías, [En línea]. Publicaciones de conocimiento básico. [citado en Agosto 2020]. Disponible en internet: <URL: https://www.gunt.de/images/download/Conocimientos-bsicos-flujo-en-tuberas-y-robineteras_spanish.pdf>

³⁰ GUACANEME Javier y Otros. Revisión de las Características de Sistemas de Almacenamiento de Energía para Aplicaciones en Micro Redes [En línea]. Artículo de información tecnológica, volumen 25, 2da Edición. [Bogotá, Colombia]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014 [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000200020&script=sci_arttext&lng=en#t1>. versión On-line ISSN 0718-0764

Ilustración 27 Clasificación de las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento de energía

←←←←ALTA POTENCIA	ALTA ENERGÍA→→→→	
<i>Aplicaciones de calidad de potencia y continuidad de servicio</i>	<i>Aplicaciones de administración de energía</i>	
Tiempos extra rápidos (seg)	Tiempos rápidos (min)	Tiempos lentos (horas)
Compensación del efecto de parpadeo (flicker).	Reserva rodante.	Nivelado de carga
Corrección de hundimiento de tensión.	Sistemas de alimentación ininterrumpida.	Integración con fuentes renovables de energía
	Black start	Operación aislada
	Control de potencia activa y reactiva	Comercialización

Fuente: GUACANEME

Las micro redes son sistemas con baja inercia en contraste con los sistemas de generación convencionales, ante cambios de carga y suministro, la inercia de los sistemas sincrónicos y generadores de inducción entregan o absorben cualquier diferencia de potencia entre la generación y la demanda. En el modo de conexión a red la estabilidad depende de la habilidad de ajustar rápidamente la potencia activa o reactiva por medio de la electrónica de potencia, para controlar las oscilaciones de tensión o de frecuencia. Considerando a la red una fuente mucho más fuerte, los sistemas electrónicos de la Microred se deben ajustar a las condiciones de operación de la red de manera transparente para la carga.

8.1.12 SUPERCONDENSADORES

Mejora de la calidad de potencia, su gran respuesta en potencia, pero por cortos periodos de tiempo lo hace especial para trabajar en conjunto con baterías o sistemas de almacenamiento con capacidad de energía. El objetivo es mantener las condiciones de tensión, frecuencia, corrección de factor de potencia, mejora del contenido de armónicos, y reducción de transitorios.³¹

8.1.13 PROGRAMA DE ANÁLISIS Y SIMULACIÓN CFD

Para el Análisis de la microturbina en la red de acueducto se emplea Autodesk CFD que es un software de simulación de dinámica de fluidos computacional que los ingenieros y analistas utilizan para predecir inteligentemente cómo se comportan los líquidos y los gases, ayuda a minimizar la necesidad de prototipos físicos, a la vez que proporciona una visión más profunda del rendimiento del diseño del flujo de fluidos.

³¹ GUACANEME Javier y Otros. Revisión de las Características de Sistemas de Almacenamiento de Energía para Aplicaciones en Micro Redes [En línea]. Artículo de información tecnológica, volumen 25, 2da Edición. [Bogotá, Colombia]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014 [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000200020&script=sci_arttext&tlng=en#t1>. versión On-line ISSN 0718-0764

8.1.14 SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Las tarifas eléctricas son disposiciones específicas que contienen las cuotas y condiciones que rigen los suministros de energía eléctrica y se identifican oficialmente por su número y/o letra(s) según su aplicación.

El alumbrado público es vital para el funcionamiento adecuado de una ciudad, desde la seguridad vial para prevención de accidentes de tránsito, hasta la seguridad ciudadana y hacer la vía pública funcional durante la noche.³²

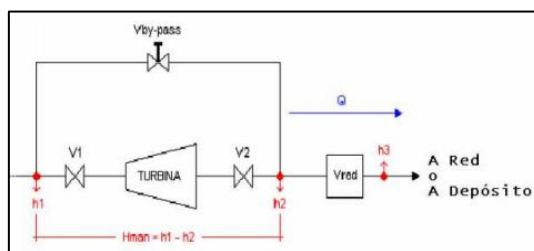
La correcta iluminación de espacios públicos está regulada por normativas internacionales como CIE y Lesna, que dictan los niveles adecuados a los que deben ajustarse las luminarias para evitar encandilamiento, asegurar que se cubra correctamente toda el área entre cada poste y que el flujo de luz sea uniforme. es por esto que se debe tomar datos del consumo de iluminación mediante información obtenida de la empresa de energía de Bogotá.

³² VEGA, Laurence. Alumbrado público LED: Ahorro y eficiencia para ciudades inteligentes [En línea]. Artículo de opinión [Panamá, República de Panamá]. El capital financiero, 12 enero 2017. [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://elcapitalfinanciero.com/alumbrado-publico-led-ahorro-y-eficiencia-para-ciudades-inteligentes/>>

8.1.15 DESCRIPCIÓN GENERAL Y METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este caso el salto total se produce entre la entrada de la turbina y la salida de la válvula reductora, diseñando la instalación para que la mayor parte de la energía la absorba la turbina y la válvula reductora se limite únicamente a regular la presión sobrante. La válvula reductora en este caso puede ser inferior a la instalada en los casos donde no hay turbina, ya que la presión que ha de absorber es inferior. La conexión serie parece una solución sencilla y viable, pero con esta configuración se desperdicia gran parte de la energía disponible, ya que, aunque estando la válvula reductora totalmente abierta, esta produce una gran caída de presión.³³

Ilustración 28 Esquema conexión serie entre turbina y válvula reductora de presión



Fuente: NOGUERA – Tesis de maestría

La sustitución de la válvula reductora de presión por una microturbina no es directa, sino que es necesario estudiar la energía que absorbe la válvula reductora y la que

³³ NOGUERA, Víctor. Microturbinas para generación eléctrica en redes de abastecimiento de agua potable de Cataluña [En línea]. Tesis de Maestría [Cataluña, España]. Universidad Politécnica de Cataluña, Octubre de 2013 [citado el 26 Octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/41797872.pdf>>

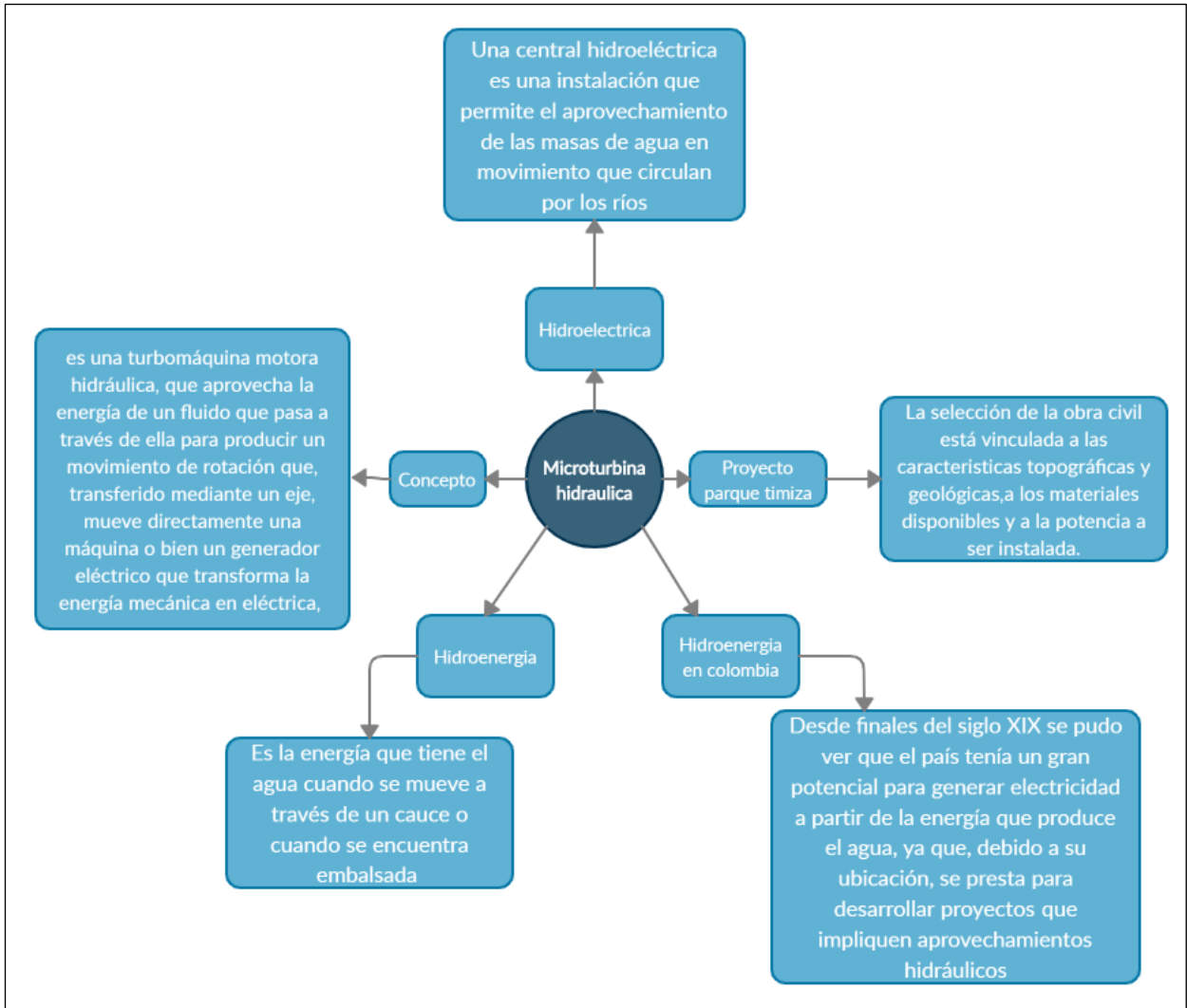
podrá ser aprovechada por la turbina. Además, la cantidad de agua que pasa por la tubería puede ser más o menos constante dependiendo del consumo de energía que se quiere suministrar.

8.1.16 VÁLVULA REDUCTORA

Las válvulas reductoras de presión son un tipo particular de válvulas de regulación de presión. Al regular el salto, estos dispositivos permiten, imposibilitan o modulan el paso del fluido en la conducción en que se hallan instalados, según sea la función prioritaria de su instalación. Las válvulas reguladoras pretenden, por tanto, mantener la instalación en unas condiciones de presión, caudal y capacidad predeterminadas.

8.2 MARCO CONCEPTUAL.

Ilustración 29 Mapa conceptual microturbina



Fuente: PROPIA

9. METODOLOGÍA

Para hacer un aporte al ahorro energético es importante analizar los aspectos que nos llevan a seleccionar el lugar, donde se abrirá paso al análisis de la implementación de una microturbina en una tubería de 16", verificando el caudal medio del año también en base al caudal pico de los periodos con mayor disponibilidad de agua, los saltos disponibles, el valor de potencia de la instalación, así como los permisos establecidos y las licencias necesarias para intervenir el sector e informar a la comunidad de la zona del impacto positivo que tendrá, así también se deberá realizar un estudio de viabilidad respecto al costo beneficio según su objetivo, seleccionar a la entidad calificada de proveer la microturbina y realizar su instalación junto con plantear el mantenimiento después de su instalación

34

Para iniciar una solución respecto a nuestra pregunta mencionada en el numeral 3 de la página 18, se establecen unas fases de desarrollo las cuales responden a cada uno de los objetivos propuestos teniendo en cuenta las investigaciones respecto a la zona que se estudiará.

³⁴ IBERDROLA. Qué es la energía hidroeléctrica [En línea] Artículo informativo Única Edición [Madrid, España]. IBERDROLA, 2019 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>>

Ilustración 30 Diagrama de Fases en la Metodología



Fuente: PROPIA

10. ANÁLISIS DE FLUIDO EN TUBERIA Y MICROTURBINA HIDRÁULICA POR SOFTWARE ANSYS FLUENT

Inicialmente se describirá el proceso de modelación de la turbina y la tubería en el software seguido de la toma de datos y el análisis mediante cálculos para así mismo realizar la comparación con otro estudio de características similares.

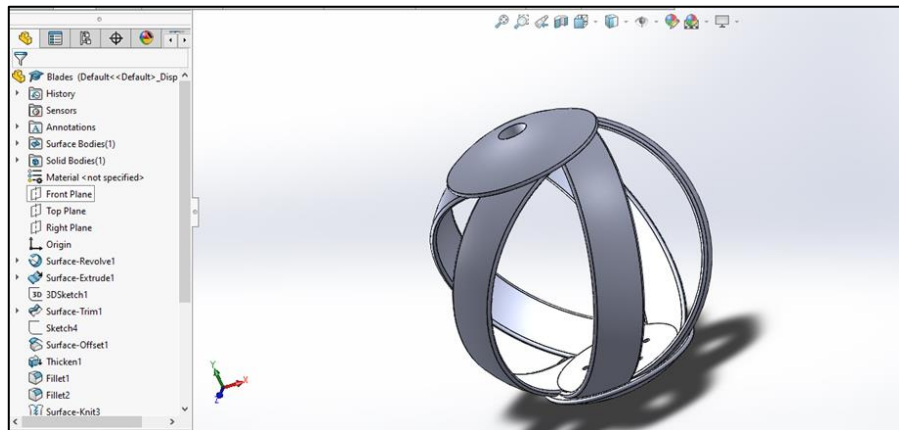
10.1 MODELACIÓN TUBERIA Y MICROTURBINA HIDRÁULICA POR SOFTWARE ANSYS FLUENT

Lo primero que se debe realizar para poder empezar con la simulación, es generar en el software SolidWorks la turbina que se va a trabajar, este es un programa de diseño 2D y 3D que permite diseñar piezas.

Dado que las turbinas de la empresa Lucid Energy solo vienen diseñadas para diámetros de 24, 42 y 60 pulgadas, se decide realizar el modelo de la turbina de 24 pulgadas y escalarla correctamente hasta transformarla en una de 16 pulgadas.

La turbina que se obtuvo en SolidWorks es la siguiente:

Ilustración 31 Modelación de microturbina en SOLIDWORKS



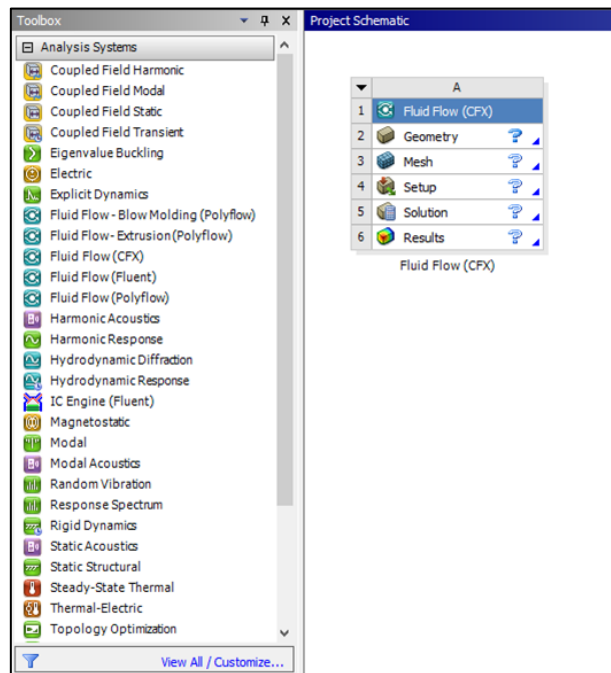
Fuente: PROPIA

Esta turbina sirve como base para trabajar en los siguientes procedimientos que se realizarán en el programa ANSYS FLUENT.

11. DISEÑO DEL MODELO: MICROTURBINA Y TUBERÍA

En este apartado se abre el programa ANSYS y se debe analizar con la herramienta Fluid Flow (CFX)

Ilustración 32 Herramienta Fluid Flow CFX en ANSYSFLUENT



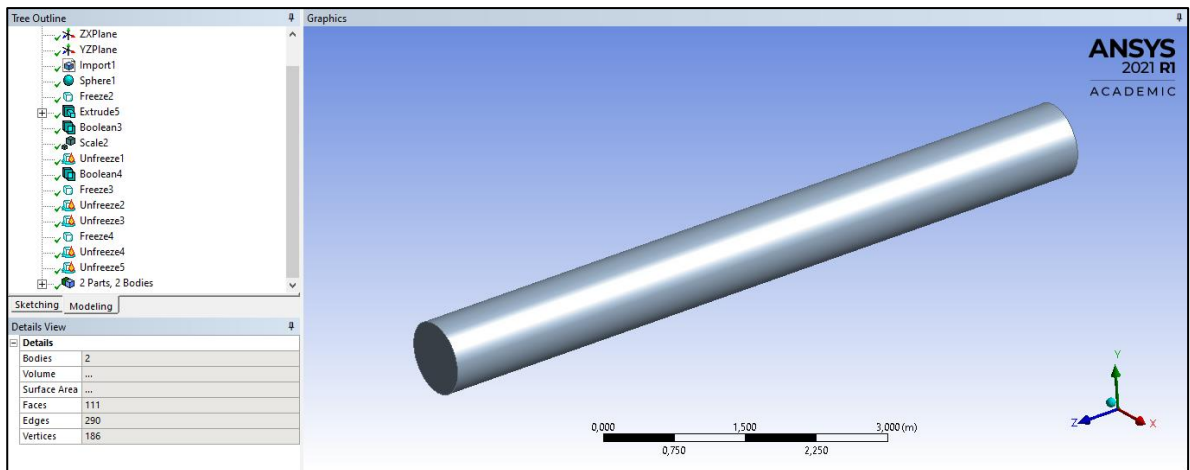
Fuente: Propia

Lo primero que se debe hacer es importar el archivo de SolidWorks que contiene la turbina en un formato de archivo IGES, el cual es compatible con ANSYS, cuando se importe este archivo lo que se debe hacer es modificar la geometría del mismo archivo en Design Modeler, aquí debemos generar una esfera un poco más grande

que nuestra turbina, a esta esfera le llamaremos dominio interior rotacional, porque durante la simulación va a ser este objeto el que rotara.

También debemos crear una tubería de diámetro de 16 pulgadas la cual será nuestro dominio externo estacionario, esto porque durante la simulación este objeto se mantendrá estático en todo momento.

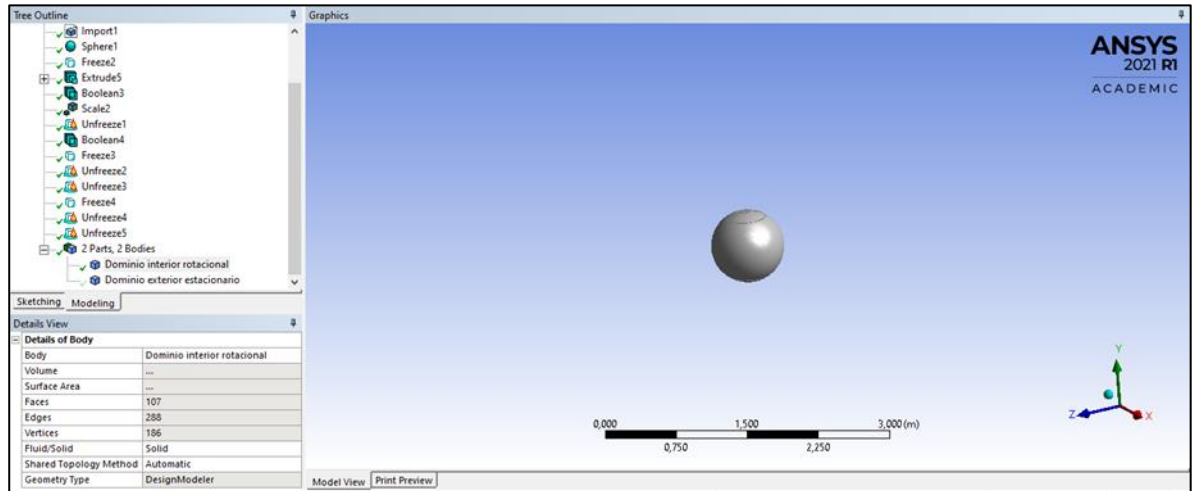
Ilustración 33 Modelación de Tubería



Fuente: Propia

Esta tubería se deja de 2 metros de longitud ya que la tubería con mayor dimensión al momento de simular requiere más tiempo el programa de procesar.

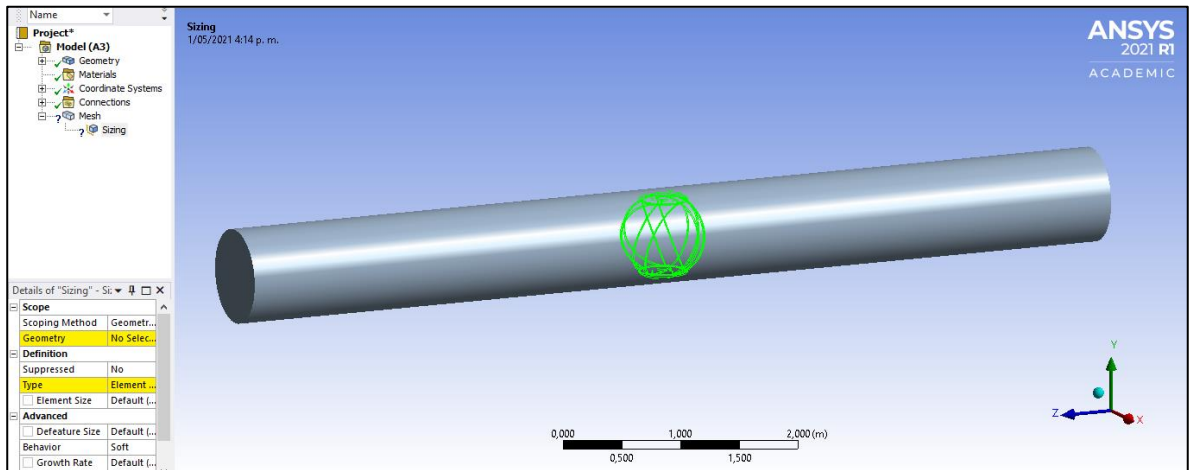
Ilustración 34 Mallado en ANSYSFLUENT



Fuente: Propia

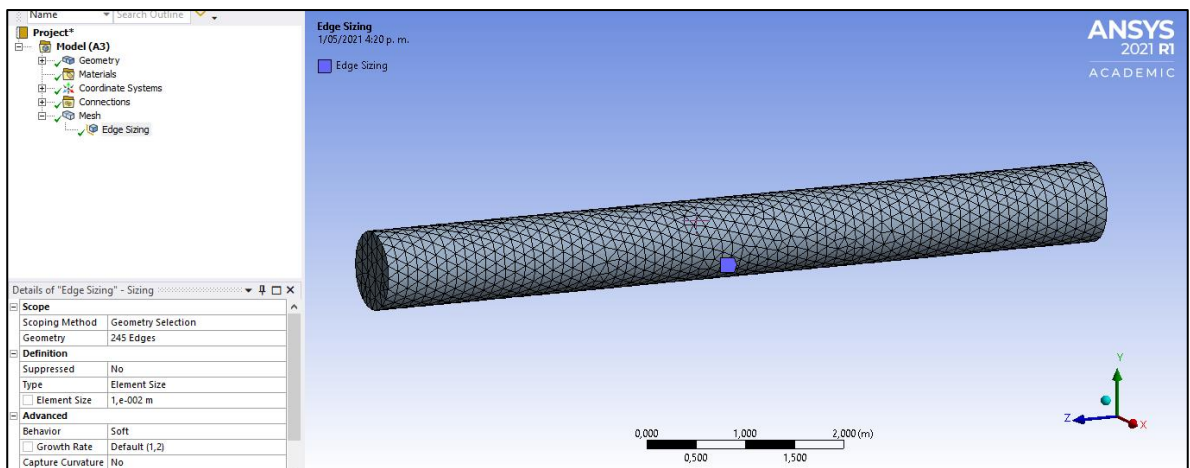
A continuación, se procede a realizar es el proceso de mallado (mesh) El mallado es una parte integral del proceso de simulación de ingeniería en el que las geometrías complejas se dividen en elementos simples que pueden utilizarse como aproximaciones locales discretas del dominio mayor. La malla influye en la precisión, la convergencia y la velocidad de la simulación. Se debe mallar todos los objetos involucrados en el análisis.

Ilustración 35 Mallado Tubería



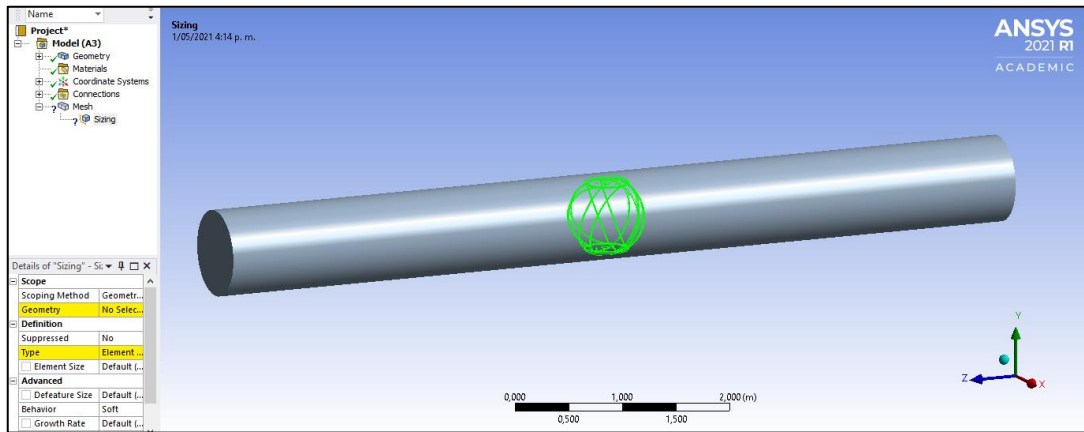
Fuente: Propia

Ilustración 36 Mallado Tubería



Fuente: Propia

Ilustración 37 Mallado de Turbina



Fuente: Propia

12. DATOS DE DISEÑO PARA ANÁLISIS DE MICROTURBINA EN TUBERÍA

Luego del mallado se deben definir diferentes condiciones en las cuales va a ser llevado a cabo la modelación, una de las condiciones, dado que no se saben las velocidades ni las presiones en este análisis es ayudarse de las condiciones sugeridas en la NS-033 del acueducto, una de estas condiciones es que la velocidad debe estar entre 0,5 m/s y 2,5 m/s. Para el análisis se adoptó la velocidad máxima de 2,5 m/s.

Ilustración 38 Límites de velocidad

4.2.6.6 Límites de velocidad

Con base en criterios económicos y operaciones, las velocidades en esta tubería para el caudal de diseño no deben ser menores de 0,50 m/s ni mayores de 2,50 m/s, para las líneas expresas se deberá tener en cuenta las condiciones particulares, como por ejemplo el consumo máximo diario, estableciéndose estos límites por las siguientes razones:

El límite inferior se establece con el objeto de evitar la reducción del coeficiente de rugosidad o fricción por incrustaciones internas así como permitir una mayor utilización de las tuberías existentes o proyectadas, evitando la subutilización de las mismas, en etapas intermedias del diseño o construcción.

El límite superior se establece con el objeto de evitar pérdidas de carga excesiva, no dañar el revestimiento interno, así como evitar daños causados por sobre presiones transitorias que se originen por la operación repentina de las válvulas.

Fuente: Norma Técnica de Servicio NS-033-v.1.2, Procedimientos para diseño de red Matriz.

En cuanto a las presiones se optó que a la salida la tubería se encuentra a presión atmosférica, pero es posible simularla con las diferentes presiones que nos da la NS-033

Ilustración 39 Límites de presión

4.2.6.7 Límites de presión
La presión dinámica mínima aceptable es de 30,00 m.c.a.
La presión estática máxima aceptable es de 80,00 m.c.a.
En el caso de que se sobrepase el límite de la presión máximas, el proyectista debe diseñar un sistema de reducción de presión para ser instalado en el ramal de salida de la red menor.

Fuente: Norma Técnica de Servicio NS-033-v.1.2, Procedimientos para diseño de red Matriz.

También se debe tener en cuenta que el fluido a simular es agua y que se encuentra a una temperatura promedio de 20°C como también lo indica el acueducto, además de tener en cuenta los diferentes factores de fricción para la tubería como lo indica el acueducto, que para este caso es una tubería reforzada con cilindro de acero y varilla, con un ks de 0,24 como se muestra a continuación:

Tabla 1 Coeficiente de Rugosidad

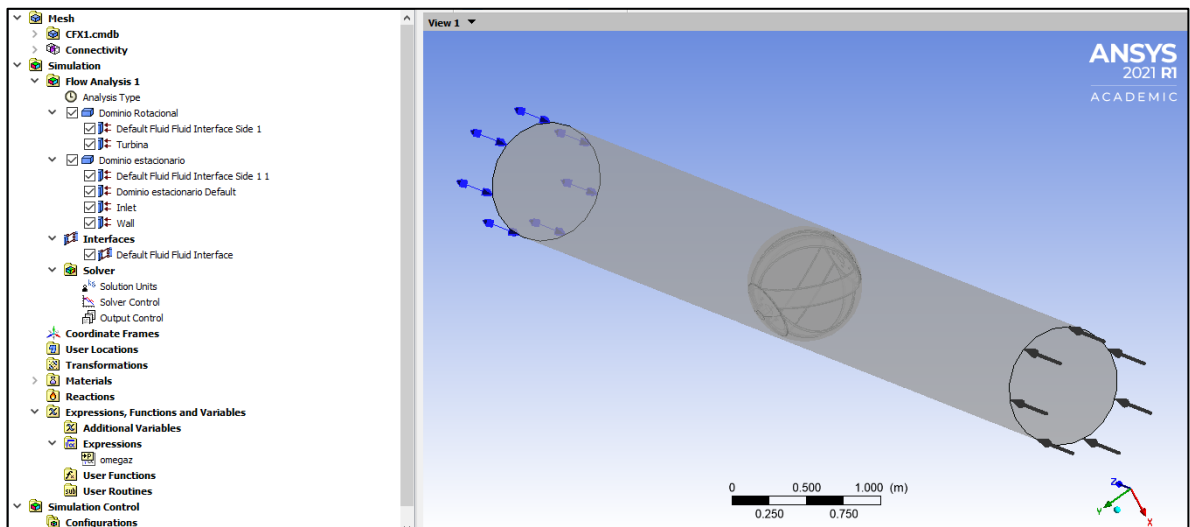
Clase de tubería y tipo de revestimiento	Coeficiente ks (mm)
PVC - Polietileno - Fibra de vidrio.....	0,060 0,060
Acero con revestimiento interno de coal-tar enamel o epoxi.....	
Hierro fundido y dúctil con revestimiento de mortero.....	0,240
Concreto reforzado y acero con revestimiento interior de mortero o concreto.....	0,240

Fuente: Norma Técnica de Servicio NS-033-v.1.2, Procedimientos para diseño de red Matriz

13. CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS DEL MODELO

Se deben generar las soluciones para nuestro modelo, en el prototipo siguiente, después de haberle asignado las condiciones iniciales se observa los componentes que harán posible la producción de energía por lo cual el programa ANSYS realiza muchas iteraciones con el objetivo de mostrar los resultados de nuestra modelación.

Ilustración 40 Condiciones iniciales



Fuente: Propia

14. CÁLCULOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS OBTENIDAS.

Al iniciar con la modelación se necesita realizar otros cálculos y verificar las pérdidas que se generan en el sistema de la microturbina para lo cual se toma como datos iniciales los descritos en la norma NS-033-v.1.2 y realizar el análisis respectivo de los resultados obtenidos en las ecuaciones teóricas y modelaciones virtuales.

Con la modelación de la microturbina nos acercamos más a la realidad del proyecto y para ello se realizan cálculos de las pérdidas generadas en el sistema por parte de la microturbina.

A continuación, se realizará una descripción resumida del proceso por el cual pasa la turbina en el momento de la modelación y para la determinación de las pérdidas se realizan los cálculos a diferentes velocidades.

Inicialmente para el cálculo de las respectivas pérdidas fue necesario la consulta de datos en la NS-033-v.1.2 que permite identificar los parámetros como la fricción, la rugosidad, velocidad, caudales, tipo de material de la tubería, la longitud que se selecciona para la modelación es de 2m, estos datos son necesarios para aplicar las ecuaciones y determinar las pérdidas de energía y el total del consumo de la energía en la turbina, datos que son tomados de las tablas e ilustraciones anteriores.

Se realiza los cálculos con cada uno de los parámetros hidráulicos a diferentes velocidades para determinar el total de la energía producida en cada una de estas fases, para esto se relaciona el paso a paso con la primera velocidad y seguido se realiza un cuadro resumen.

14.1 VELOCIDAD DE 1.5 m/s.

Para calcular la energía total producida por la turbina se puede determinar mediante la ecuación de Bernoulli tomando como referencia dos puntos de la tubería que tiene una longitud de 2m en el modelado.

$$\left[\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \right]_1 + H_T = \left[\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \right]_2 + h_e$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + HT = \frac{P_2}{\gamma} + He$$

Ecuación Bernoulli

Debido a que en los dos puntos de este tramo las dos alturas con respecto al datum son iguales se cancela en ambos lados de la ecuación y también como la velocidad es constante a lo largo del flujo porque es un flujo permanente se cancela las velocidades a ambos lados de la ecuación.

Datos Iniciales

Tabla 2 Datos de entrada

Potencia requerida	
96 Iluminaciones	40 W c/u
Preq(W)	3840
Preq(kW)	3,84

Datos de entrada	
Diametro (pulg)	16
Diametro (m)	4,064
Rugosidad ks (mm)	0,24
Rugosidad ks (m)	0,00024
Peso especifico del agua (kg/m3)	1000
Gravedad (m/seg2)	9,81
Velocidad (m/seg)	1,5
L tuberia (m)	2
Area (m2)	12,97
Caudal (m3/seg)	19,4575672
Viscosidad del agua (m2/seg)	0,000001
Numero de Reynolds	6096000

Factor de fricción	
f	0,01120307
fi	fi+1
0,02	0,01120307
Flujo turbulento	0,01120307
	0,01120307

Fuente: Propia

14.2 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Las pérdidas por fricción se presentan debido a que el fluido en movimiento presentara una resistencia que se opone a dicho movimiento, convirtiéndose parte de la energía del sistema en energía térmica, que se disipa alrededor de las paredes de la tubería por donde corre el fluido, para ello se realizaron los cálculos respectivos reflejados bajo la ecuación seguida y obteniendo resultados de la tabla 3.

Ilustración 41 Formula perdidas por fricción

<p>Perdidas por fricción</p> $h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$

Tabla 3 Pérdidas por fricción

Perdidas por fricción	
hf (m)	0,00063226

Fuente: Propia

14.3 PERDIDA DE ENERGIA

La pérdida de energía en ductos corresponde a la disminución de presión que se presenta en un fluido en correlación a la fricción que se produce entre las partículas del fluido con las paredes del conducto que lo transporta, en este se muestran los valores máximos y mínimos para las diferentes variables tanto en el dominio rotacional como en el eje dominio estacionario siendo dato se obtiene aplicando la siguiente ecuación con resultados en la tabla 3.

Ilustración 42 Formula perdidas por energía

<p>Perdidas de energía</p> $h_e = h_k + h_f$
--

Tabla 4 Resultado pérdida de energía V=1.5 m/s

Perdidas de energía	
he (m)	0,00063226

Fuente: Propia

14.4 POTENCIA REQUERIDA PARA LA TURBINA

Es necesario determinar la potencia que se requiere para encender las iluminaciones del Parque Timiza mediante la potencia requerida por la turbina sabiendo que tiene una eficiencia del 100% se utiliza la siguiente ecuación, de la cual podemos despejar la energía producida por la turbina ya que sabemos que la potencia requerida para alimentar las iluminaciones del parque es de 3.84 kW.

$$P_{req} = \gamma_{Agua} \cdot Q \cdot H_{Turbina} \cdot \frac{9,81}{1000}$$

$$H_{Turbina} = \frac{1000 \cdot P_{req}}{9,81 \cdot Q \cdot \gamma_{Agua}}$$

$$H_T = \frac{1000 * 3.84 \text{ kW}}{9.81 * 19.45 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3} = 0.02011 \text{ m}$$

H_T: Potencia producida por la turbina

El valor de 0.2011m es la energía potencial que pierde el sistema entre los dos puntos para poderle dar movimiento a la turbina y que sea capaz de producir energía mecánica.

14.5 CAUDAL

Para calcular el caudal que pasa por la tubería se utiliza la ecuación de continuidad que dice:

$$Q=V*A$$

Donde:

V= Velocidad

A= Área de sección transversal

$$Q = 1.5 \frac{m}{s} * 12.97 m^2 = 19.45 m^3/s$$

14.6 COEFICIENTE DE ACCESORIOS TURBINA

Las pérdidas de energías totales en la tubería son iguales a las pérdidas producidas por los accesorios más las pérdidas de energía por fricción y de ahí se puede despejar el coeficiente de accesorios de la turbina.

$$H_T = h_k + h_f$$

$$H_T - h_f = k \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{(H_T - h_f) \cdot 2g}{V^2} = k$$

$$K = (0.020m - 0.00063m) * 2 * \frac{9.81m}{s^2} \frac{1}{\frac{1.5m^2}{s}} = 0.17$$

15. ANALISIS DE RESULTADOS

Inicialmente se toma como base la potencia requerida de acuerdo con la cantidad de iluminaciones, se tiene en cuenta las características del flujo, realizando los cálculos del número de Reynolds.

Tabla 5 Potencia total requerida

Potencia requerida	
96 Iluminaciones	40 W c/u
Preq(W)	3840
Preq(kW)	3,84

Fuente: Propia

Se tiene en cuenta que la rugosidad es un factor importante para la caracterización del flujo, como se muestra en la tabla con los datos iniciales.

Tabla 6 Datos iniciales para caracterización del flujo

DATOS BASE		
Variable	Valor	Unidades
Diámetro	16	pulg
Diámetro	4,064	m
Rugosidad ks	0,24	mm
Rugosidad ks	0,00024	m
Peso específico del agua	1000	kg/m ³
Gravedad	9,81	m/seg ²
Longitud tubería	2	m
Área	12,97	m ²
Presión	30	m.c.a

Fuente: Propia

Se realiza el cálculo de la energía generada por la turbina en la cual se evidencia que la condición de velocidad del flujo debe estar entre 0.5 m/s y no mayor a 2.5 m/s, este al pasar por las dos secciones de la tubería no puede ser diferente el caudal que entra y sale de la tubería.

Para poder recapturar la energía que se tiene dentro de la tubería es necesario conseguir un alto valor de presiones que se encuentra en los alabes de la turbina potencializando la misma.

Tabla 7 Resumen de Cálculo de Energía generada a diferentes velocidades

Variable	Velocidad			
	1,5 m/seg	1,8 m/seg	2 m/seg	2,5 m/seg
Caudal (m ³ /seg)	19,46	23,35	25,94	32,43
Numero de Reynolds	6096000,0	7315200	8128000	10160000
Pérdidas por Fricción hf (m)	0,000632	0,0009061	0,00111591	0,00173582
Pérdidas de Energía he (m)	0,000632	0,0009061	0,00111591	0,00173582
Energía Generada Ht (m)	0,020117	0,016765	0,015088	0,012070

Fuente: Propia

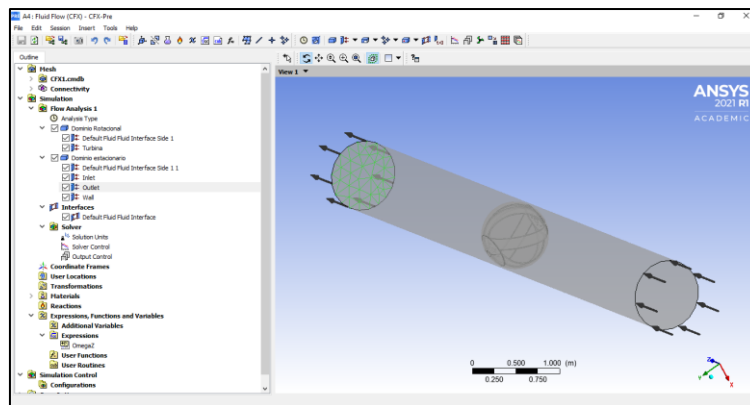
Dentro del desarrollo de los cálculos se utiliza el programa ANSYS FLUENT mediante la pestaña de condiciones de frontera y se establece las condiciones iniciales de velocidad y presión con las cuales se va a trabajar para cada simulación de acuerdo con cada velocidad a trabajar.

15.1 Velocidad 2m/s

Se introduce los datos de velocidad y presión tanto en la entrada como en la salida de la tubería y en las paredes de la tubería se le asigna un valor de cero, la ilustración representa la entrada de los datos en el programa ANSYS FLUENT.

Se establece que la turbina sea el elemento que gire y que la tubería sea totalmente inmóvil.

Ilustración 43 Condiciones de frontera para una velocidad de 2m/s

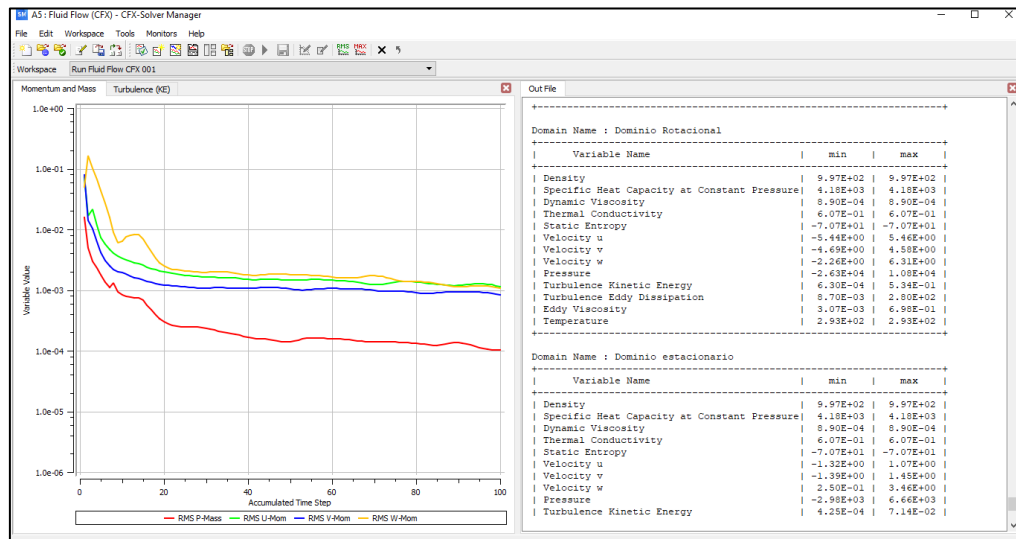


Fuente: Propia

15.1.1 Momento Lineal y masa

En el momento de modelar el sistema después de más de 100 iteraciones se logra que la solución del sistema convergiera, obteniendo los resultados de velocidades en los ejes X, Y, Z. de presión turbulencia, viscosidad y velocidad.

Ilustración 44 Momento Lineal y masa



Fuente: Propia

Esta ilustración representa la convergencia residual de la cantidad de movimiento y la masa de una solución de simulación utilizando CFX-SOLVER MANAGER herramienta de Ansys Fluent.

De esta manera se consigue una solución válida, que cumpla las siguientes condiciones:

- Monitorear los puntos para que nuestros valores de interés hayan llegado a una solución estable.
- Estos datos deben tener desequilibrios inferiores al 1%.

Por ello de la gráfica tenemos:

- Rojo = RMS P-Flujo másico
- Verde = RMS U-Momentum
- Azul = RMS V-Momentum
- Amarillo = RMS W Momentum.

Es por ello, que el método residual es el utilizado en el programa, donde se cuantifica el error directamente en la solución del sistema de ecuaciones hidráulicas que permite analizar el comportamiento del fluido cuando este entra en contacto con la microturbina.

A continuación, se muestra la tabla de resultados que arroja el programa para la velocidad de 2 m/s con diferentes iteraciones lo que nos proporciona datos más reales y significativos para determinar la turbulencia y especificaciones de acuerdo con la conductividad, temperatura.

15.1.2 Tabla de resultados

Ilustración 45 Tabla de resultados

Domain Name : Dominio Rotacional			
Variable Name	min	max	
Density	9.97E+02	9.97E+02	
Specific Heat Capacity at Constant Pressure	4.18E+03	4.18E+03	
Dynamic Viscosity	8.90E-04	8.90E-04	
Thermal Conductivity	6.07E-01	6.07E-01	
Static Entropy	-7.07E+01	-7.07E+01	
Velocity u	-5.44E+00	5.46E+00	
Velocity v	-4.69E+00	4.58E+00	
Velocity w	-2.26E+00	6.31E+00	
Pressure	-2.63E+04	1.08E+04	
Turbulence Kinetic Energy	6.30E-04	5.34E-01	
Turbulence Eddy Dissipation	8.70E-03	2.80E+02	
Eddy Viscosity	3.07E-03	6.98E-01	
Temperature	2.93E+02	2.93E+02	

Domain Name : Dominio estacionario			
Variable Name	min	max	
Density	9.97E+02	9.97E+02	
Specific Heat Capacity at Constant Pressure	4.18E+03	4.18E+03	
Dynamic Viscosity	8.90E-04	8.90E-04	
Thermal Conductivity	6.07E-01	6.07E-01	
Static Entropy	-7.07E+01	-7.07E+01	
Velocity u	-1.32E+00	1.07E+00	
Velocity v	-1.39E+00	1.45E+00	
Velocity w	2.50E-01	3.46E+00	
Pressure	-2.98E+03	6.66E+03	
Turbulence Kinetic Energy	4.25E-04	7.14E-02	

Fuente: Propia

Esta ilustración nos muestra los valores máximos y mínimos para cada una de las propiedades del fluido y estos se analizan tanto en el dominio estacionario y dominio rotacional.

Valores máximos y mínimos en el dominio rotacional:

Domain Name : Dominio Rotacional			
Variable Name	min	max	
Velocity u	-5.44E+00	5.46E+00	
Velocity v	-4.69E+00	4.58E+00	
Velocity w	-2.26E+00	6.31E+00	
Pressure	-2.63E+04	1.08E+04	
Turbulence Kinetic Energy	6.30E-04	5.34E-01	
Turbulence Eddy Dissipation	8.70E-03	2.80E+02	
Eddy Viscosity	3.07E-03	6.98E-01	
Temperature	2.93E+02	2.93E+02	

Valores máximos y mínimos en el dominio estacionario:

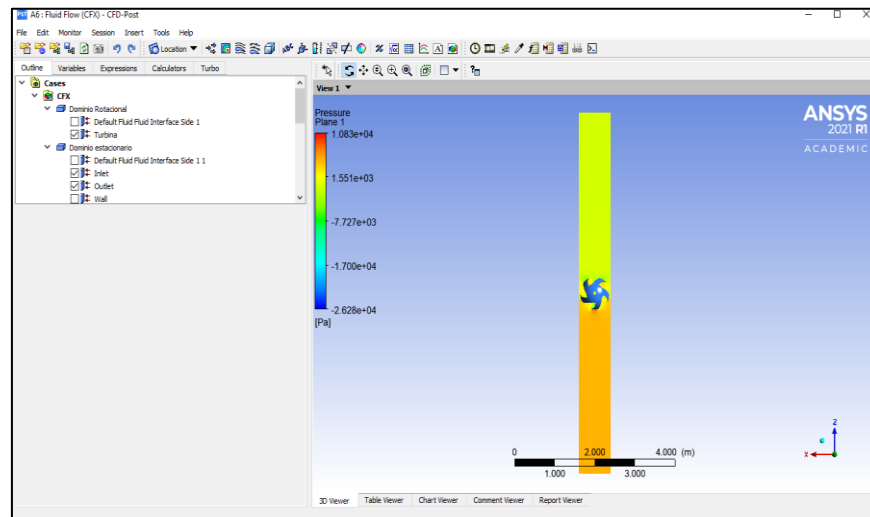
Domain Name : Dominio estacionario			
Variable Name	min	max	
Velocity u	-1.32E+00	1.07E+00	
Velocity v	-1.39E+00	1.45E+00	
Velocity w	2.50E-01	3.46E+00	
Pressure	-2.98E+03	6.66E+03	
Turbulence Kinetic Energy	4.25E-04	7.14E-02	

Una de las variables importantes como lo es la velocidad del dominio rotacional dio como resultado el valor mínimo de $-2.63E^{04}$ m/s y valor máximo $6.31E^{00}$ m/s, que da a entender que en el momento donde el fluido entra en contacto con la microturbina se aumenta la velocidad.

15.1.3 Presión en la tubería

Esta ilustración muestra que los valores de presión varían entre -2.98×10^3 en la entrada de la tubería hasta 6.66×10^3 a la salida de la tubería.

Ilustración 46 Tabla de resultados



Fuente: Propia

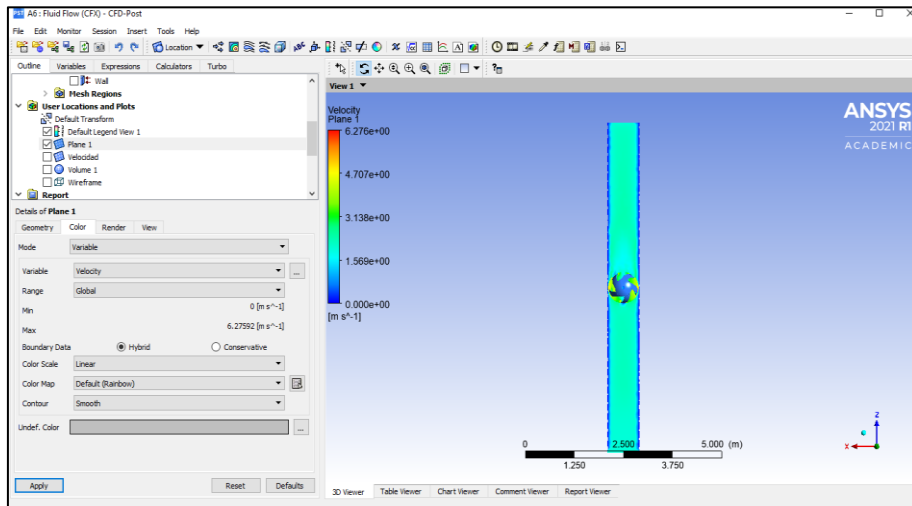
En la ilustración el color verde representa los colores mínimos y el color naranja los valores máximos en el flujo de presión. El valor mínimo de presión es 1.551Pa y valor máximo de presión es de 10.830Pa.

15.1.4 Velocidad en la tubería

Al acercarse el flujo a la turbina se muestra que los valores de velocidad en el flujo incrementan tomando un valor de 5.46 m/s al interior de la turbina.

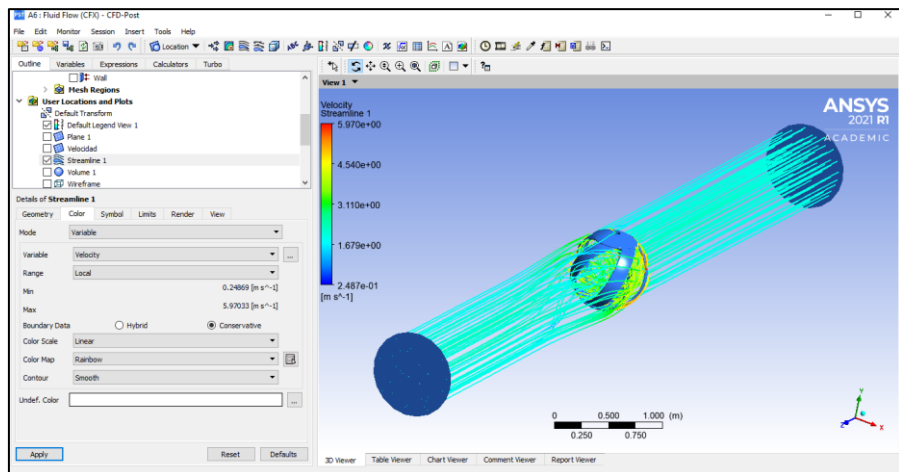
El color aguamarina refleja un valor de velocidad de 1.569 m/s a lo largo de la tubería.

Ilustración 47 Velocidad en la tubería vista de planta



Fuente: Propia

Ilustración 48 Velocidad en la tubería vista diagonal



Fuente: Propia

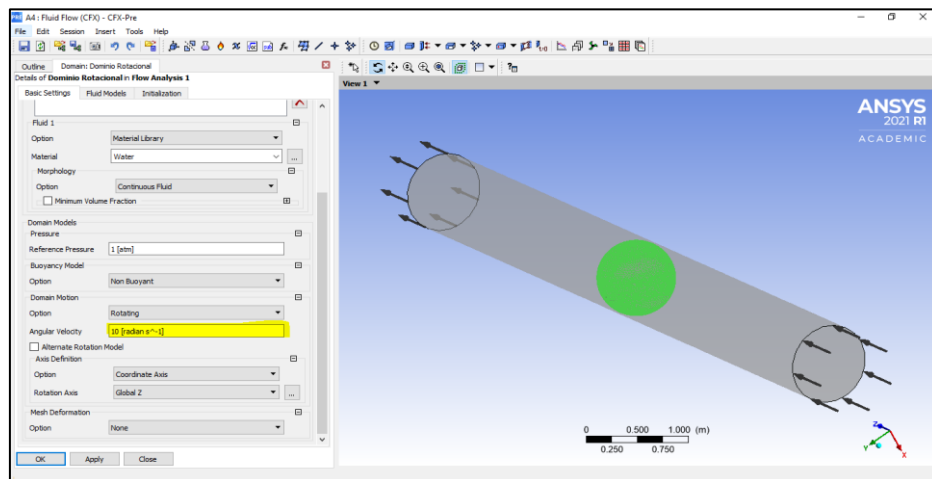
En la ilustración 48 se representan las líneas del flujo en movimiento que al momento de chocar con la turbina el flujo se vuelve caótico y después de pasar por las aspas de la turbina vuelve a su estado de flujo inicial.

Teniendo en cuenta que el agua en algunas partes de la turbina no sufre impacto, por lo tanto, no se evidencia cambio de dirección de los vectores de velocidad.

15.1.5 Velocidad angular

Para todas las velocidades se utiliza una velocidad angular de 10Radianes/segundo la cual se introduce en las condiciones de frontera del dominio rotacional.

Ilustración 49 Velocidad angular

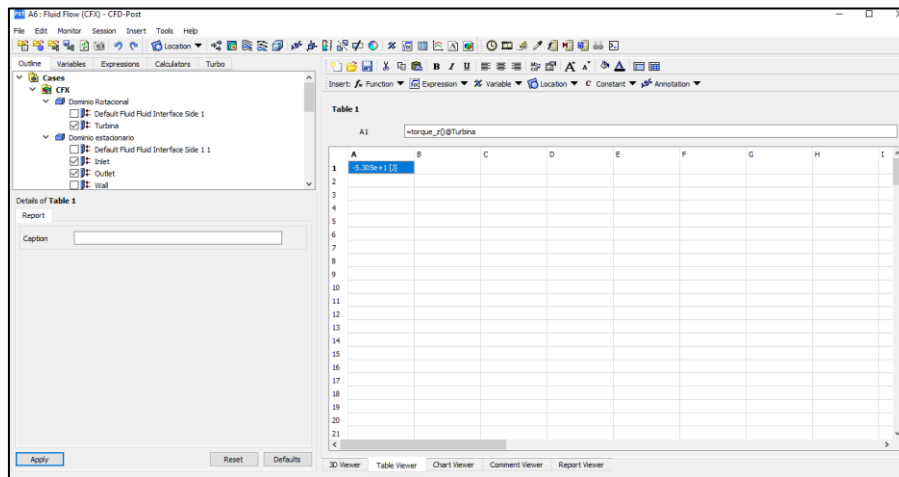


Fuente: Propia

15.1.6 Torque en Z

La energía que está produciendo la turbina en simulación para una velocidad angular de 10 rad/s, produce torques para todas las simulaciones con valores entre los 50 y 60 Julio.

Ilustración 50 Torque en Z



Fuente: Propia

Según muestra la ilustración 51 para la velocidad de 2m/s se produce un torque de $- 5.305 \times 10^1$ siendo el valor negativo un indicador de que la turbina está girando en sentido contrario de las manecillas del reloj.

16. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Según los cálculos obtenidos para los diferentes valores de velocidad se obtienen valores de potencia entre 500 y 600 Watts, eso quiere decir que se necesitan varias turbinas para poder abastecer la energía de todo el parque en su momento pico de funcionamiento, es decir cuando es tan encendidas todas iluminaciones.

No se evidencia un ahorro significativo de energía por lo que se requiere más de una turbina, teniendo en cuenta que la mayor parte de la energía de Bogotá proviene de las hidroeléctricas a lo que estas producen mayor energía al ser comparado el ahorro con la que produce la turbina.

17. MATERIALES Y HERRAMIENTAS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

- ✓ Retroexcavadora de llanta
- ✓ Excavadora
- ✓ Grúa
- ✓ Vallas de seguridad y conos reflectivos
- ✓ Implementos de seguridad como: botas, guantes, cascos, chalecos reflectivos, mascarillas para gases, etc.
- ✓ Planos de redes de acueducto, alcantarillado, eléctrico y levantamiento topográfico de la zona
- ✓ Maestros de obra, albañiles y ayudantes de obra
- ✓ Tubería de 16" con la turbina ya instalada
- ✓ Formaletas (Madera, clavos, lámina galvanizada)
- ✓ Cemento, agregado fino, agregado grueso
- ✓ Refuerzo estructural (Para cimentación y escalinatas)
- ✓ Generador de energía marca siemens
- ✓ Camión cisterna
- ✓ Líneas de transmisión

18. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CUARTO DE MAQUINAS

- Demarcar y señalizar adecuadamente el sitio de trabajo, utilizando las vallas informativas en el sentido opuesto al flujo vehicular.
- Utilizar los conos para desviar el tránsito.
- Remoción de todos aquellos elementos que se encuentren sobre la superficie del terreno, que resulten ser un obstáculo para el proceso de excavación. Esta consiste en el derribo árboles, arbustos, remoción de postes de alumbrado eléctrico, torres de telefonía, demolición de estructuras existentes y todos los objetos que deban ser quitados para poder iniciar los trabajos de excavación.
- Cerrar el flujo de agua de esta zona para poder intervenir la tubería que se va a cambiar.
- El trazo del área de corte dependerá directamente del método de protección de los taludes, si el método de protección es por medio de pantallas, el trazo quedará a decisión del ingeniero residente, sugiriendo que la excavación se realice del centro del terreno hacia sus orillas. Si el método consiste en muro enclavado se deberán trazar y seleccionar las bermas, las dimensiones de éstas son establecidas por el diseñador del muro y cuyas dimensiones deben ser respetadas. Luego del marcaje de las bermas, se realiza el proceso de excavación para que se pueda llevar a cabo el proceso constructivo del muro enclavado.

- Construcción de rampa de salida. La conformación de rampa depende de la profundidad y la forma que tenga el terreno a excavar, misma que se ubicará y construirá en un lugar donde no obstruya el proceso de excavación, también debe contar con acceso a la calle y permitir la maniobrabilidad de maquinaria pesada.
- Para el trazado de la cimentación aislada, el diseñador del sótano debe proporcionar el plano correspondiente, en el cual se indiquen las dimensiones de excavación de dichos cimientos. El plano debe contener acotada la cimentación e indicar su profundidad y su forma.

La metodología para llevar a cabo la excavación de la cimentación debe realizarse de la siguiente manera:

1. Realizar el trazo exacto de la cimentación.
 2. Establecer una estaca en cada vértice de la cimentación.
 3. Realizar un nuevo marcaje de las aristas de la cimentación hacia el centro, creando de esta manera un contorno más pequeño, el cual debe ser el límite para la excavación con maquinaria.
 4. Luego de realizar la excavación del contorno más pequeño se realizará el tallado de las paredes de la cimentación hasta lograr las dimensiones correctas.
- Luego de que se cuente con la cimentación ya excavada, se deberá realizar un chequeo de sus niveles, con el fin de verificar que posean la profundidad correcta, de no ser así se deberán realizar los respectivos trabajos para que las profundidades concuerden con las establecidas en planos.

- Para el acabado final de la excavación se debe dejar una superficie lisa en las paredes y fondo de esta, la cual contenga las dimensiones correctas. El acabado final se logra aplicando una capa de la mezcla de agua cemento (lechada), como protección anti-erosión. Luego de esto se deben colocar las escalinatas de acceso hechas en refuerzo estructural, en la pared con salida al andén más cercano.
- Se debe desensamblar el tramo de tubería donde va a ir el tramo nuevo y se debe colocar la tubería con la turbina por medio de la grúa en la zona excavada. Debe proveerse acomodación para las campanas y/o uniones que faciliten el ensamble, mientras se mantiene adecuado soporte a la tubería.
- Es necesario colocar el generador de energía sobre la turbina y se deben instalar todas las acometidas eléctricas (Líneas de transmisión) en el techo de este sótano, y que estas acometidas se puedan conectar con los transformadores que se encuentran en el parque.
- Construir la losa de pavimento rígido que será el techo de este cuarto de máquinas y que será sometido a las cargas de los vehículos que transiten por la zona.
- Por último, se realiza la limpieza en las calles, esto para evitar la presencia de lodo en las calles, y mantener el ornato del lugar donde se realice la excavación. La limpieza se podrá realizar ya sea con una barredora mecánica o bien con escobas, se tendrá que contar con un camión cisterna, la cual realizará la operación de lavado de calles por circulación de camiones.

19. PUNTO DE UBICACIÓN TURBINA Y ALUMBRADO.

El sistema se sitúa de 4 m a 6 m bajo tierra, la turbina se atornilla a la tubería en la parte superior, las aspas de la turbina actúan como láminas de aire y crean una elevación que hace que la turbina gire tomando la gravedad a través de los sistemas de tubería que dan como resultado la velocidad y presión, esta combinación genera energía.

Mediante el programa de ArcGIS y según los parámetros establecidos dentro del Plan de Ordenamiento Territorial y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP, este proyecto es con el fin de abastecer el alumbrado público del parque Timiza, de la localidad de Kennedy.

Se debe tener en cuenta que el espacio público reúne áreas peatonales, vehiculares, y las áreas para la recreación pública, esta estructura es definida según la legislación nacional y sus reglamentos.

Los parques principalmente tienen alto consumo de energía y la intención de este proyecto es minimizar los consumos en las horas con poco tránsito de personas mediante la instalación de la microturbina Lucid Pipe.

Los postes deberán permitir el montaje de luminarias doble y sencillo, y ser de doble propósito, especialmente diseñados para alumbrado público peatonal, plazoletas y parques.

Para áreas críticas ubicadas en zonas distintas a vías vehiculares, se deberá atender a lo dispuesto en la tabla siguiente:

Tabla 8 ILUMINACIÓN PARA AREAS CRÍTICAS

Clasificación		Clase de Iluminación	Iluminación promedio (Luxes)	Uniformidad General $U_0 \geq$ (%)
Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques		C3	15	33

Fuente: B) Fotometría MÍNIMA en áreas críticas distintas a vías vehiculares

20. TOPOLOGÍA DE LA RED ELÉCTRICA:

Los circuitos de baja tensión dedicados exclusivamente al alumbrado público, como en avenidas, parques y grandes áreas deben cumplir los siguientes requisitos:

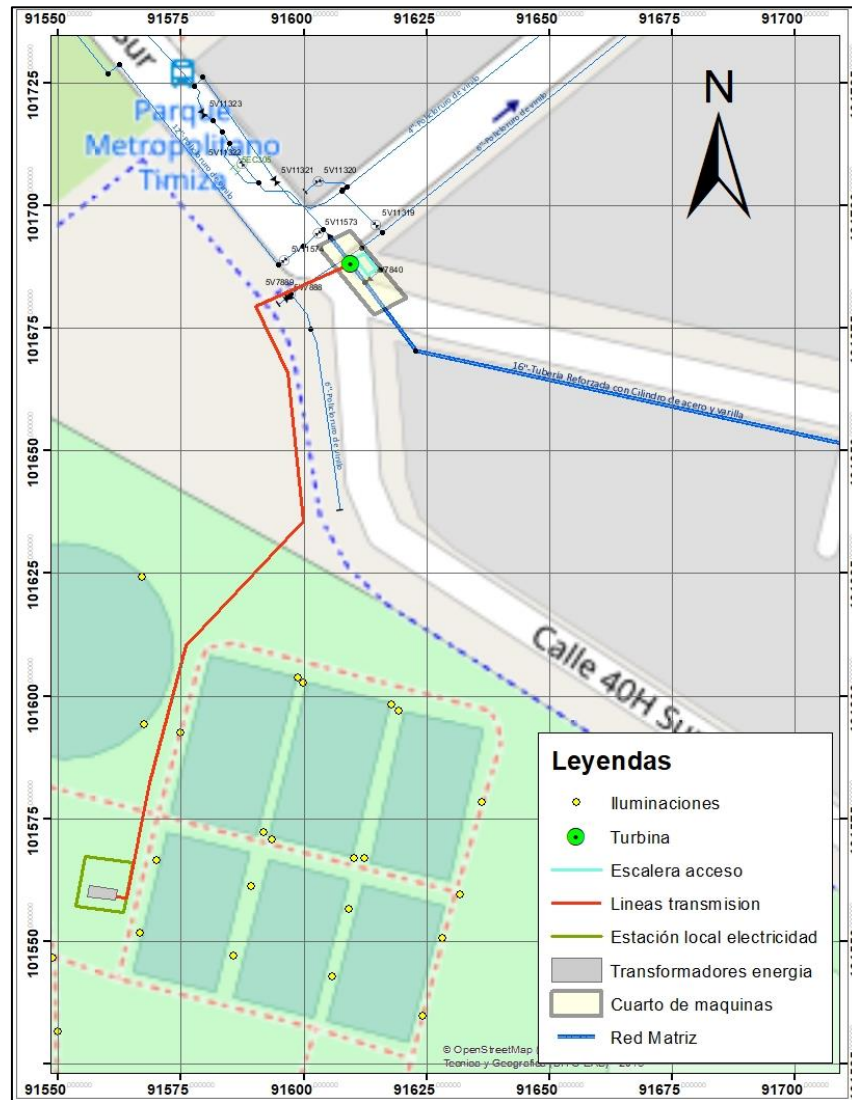
- Alimentarse con transformadores exclusivos.
- Los transformadores alimentados de redes trifásicas deben tener salida secundaria del tipo trifásico tetrafilar de 380/220 V,
- Para sistemas de redes primarias monofásicas deben tener salida secundaria del tipo monofásicos trifilar 480/240 V.
- Deben ser potencias estandarizadas de transformadores que faciliten su adquisición y cada transformador de uso exclusivo de alumbrado público no debe ser mayor a 75 KVA. Transformadores de potencias mayores a 5 KVA deben llevar asociado un equipo de medida, que permita tener control real de la energía consumida en el alumbrado público.³⁵

Lo no menos importante es darle un nuevo aire al consumo de la energía, permitiendo que el medio ambiente vuelva a reverdecer, y se permita contar con zonas limpias como los parques, es por esto por lo que a continuación ubicamos las

³⁵ Ministerio de Minas y Energía, Resolución 181331 de agosto 6 de 2009: n Anexo General Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP Colombia, República de Colombia) (Agosto 2009) (Citado 19 de mayo de 2021)

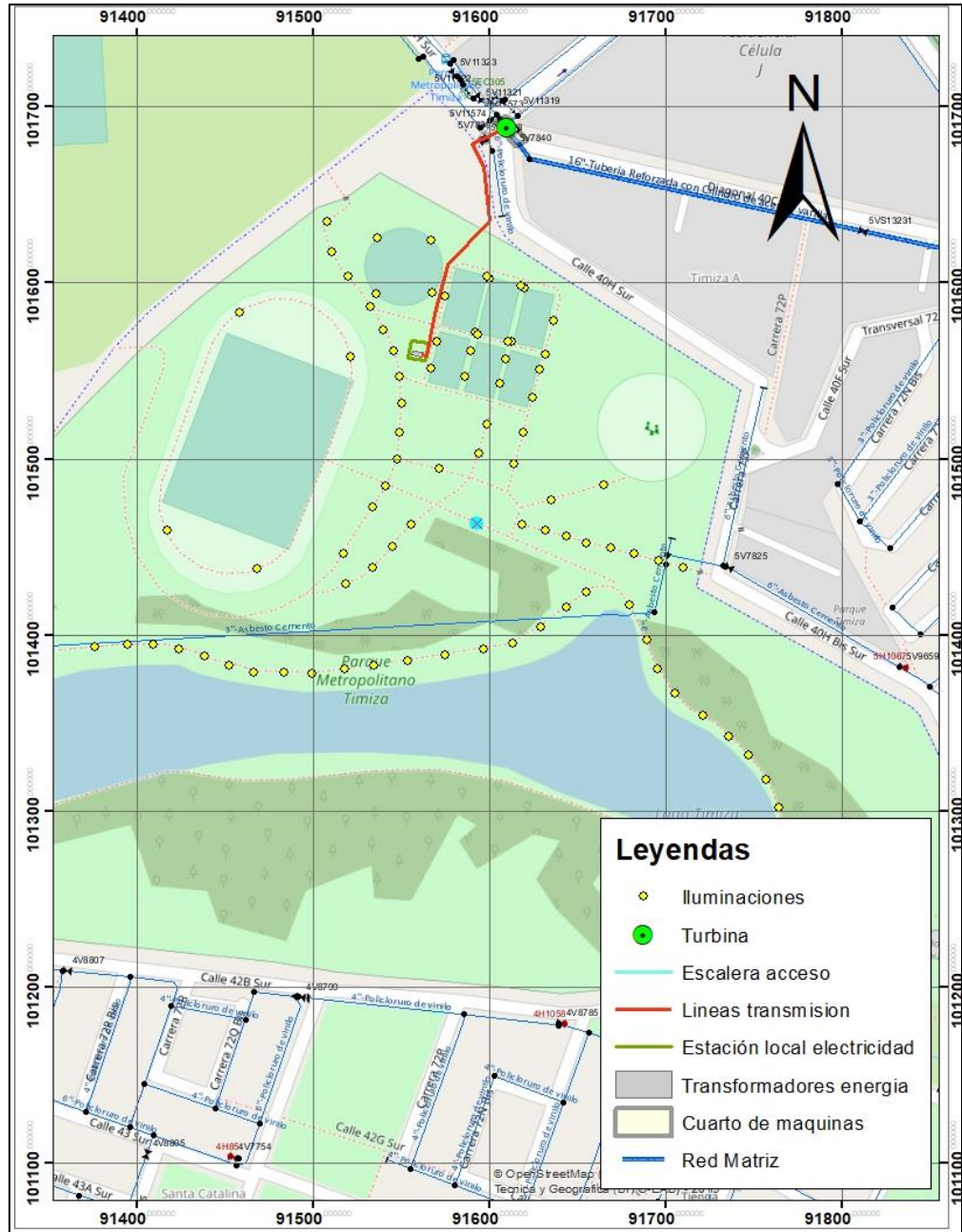
iluminaciones y se establece la distribución de la línea de transmisión hacia una estación ya existente para evitar gastos y traslados de transformadores ya existentes.

Ilustración 51 Ubicación punto de turbina



Fuente: Propia Modelación ArcGIS

Ilustración 52 Ubicación iluminarias alrededor del parque Timiza



Fuente: Propia Modelación ArcGIS.

21. CONCLUSIONES

- Basados en la simulación de la microturbina donde visualmente se pudo identificar el comportamiento del flujo del agua, en la vista de planta que al momento de entrar en contacto con la máquina generadora de energía la velocidad aumenta. Por eso se analizan en las velocidades de 1.5m/s, 1.8m/s, 2m/s y 2.5m/s.
- Dentro del sistema hay una turbina que luego se conecta a un generador que se encuentra en la parte superior de la tubería recapturando la energía que se tiene dentro de la tubería lo que hace una reducción en el impacto ambiental.
- Toda red de acueducto que permita el flujo y la presión de agua se puede convertir en electricidad, generando que el exceso de energía haga girar la microturbina y posteriormente se transporte la electricidad al generador y transformador y así alimentar de energía el parque Timiza.
- Para la operación de la microturbina en la velocidad de 2m/s nos dio como resultado un caudal de 32.43m³/s, siendo el dato superior nos permite determinar que se requieren tuberías de diámetro mayor y grandes cantidades de agua para generar la energía necesaria para el alumbrado público debido a que la potencia generada en este modelo es de 500 a 600 watts y la requerida es de 3840 watts.

- Los proyectos de diseño, constructivos de ubicación de microturbinas en la redes de acueducto deben contar con cálculos de caracterización hidráulica que den paso a la simulación del modelo funcional de la máquina, así de esta manera visualizar y determinar las propiedades de presión y velocidad con la finalidad de conocer la capacidad que puede tener este para generar energía. Además de hacer un reconocimiento del lugar donde la microturbina se instalará para hacer el aprovechamiento de obras constructivas existentes, y de esta manera evitar grandes costos e impactos ambientales.
- La implementación de un sistema de energía como lo es la microturbina lucid pipe es una idea innovadora para la ingeniería ya que debido a su fácil adaptación a sistemas de acueductos permiten ser sistemas innovadores de bajo precio al momento de revisar lo más importante que este caso sería el costo beneficio que la microturbina les puede ofrecer posterior a su instalación.
- Analizando la presión ejercida por el fluido en la velocidad de los 2m/s, nos da como resultado una magnitud que varía $-2.98 \times 10^3 \text{Pa}$ en la entrada de la tubería hasta $6.66 \times 10^3 \text{Pa}$ a la salida de la tubería. Por ello se afirma que la modelación de la tubería con mallado nos permite analizar cada una de las secciones e identificar gráficamente los rangos de valores máximos y mínimos.

22. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de dos turbinas más para abastecer la totalidad de la iluminación del parque y no por zonas de afluencia.
- Realizara la instalación de las turbinas cada 4m
- Su proceso constructivo es mínimo pues se necesita poca infraestructura.
- Por la exigencia de la potencia y que sus valores deben estar en un rango de 500 y 600 W se necesita varias turbinas para abastecer la cantidad de iluminación.

23. BIBLIOGRAFÍA

- (1) MUÑOZ, Laura. Lucid Pipe, la energía oculta en las tuberías de agua de las ciudades [En línea]. Artículo informativo Única Edición [Getafe, Madrid]. Experimenta, 24 enero 2017 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.experimenta.es/noticias/tecnologia/lucidpipe-energia-oculta-tuberias-agua-ciudades/>>
- (2) UPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia [En Línea]. Proyecto inversiones catalizadoras para energía geotérmica [Bogotá, Colombia]. UPME, 1995 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf>.ISBN No. 978-958-8363-26-4
- (3) IBERDROLA. Qué es la energía hidroeléctrica [En línea] Artículo informativo Única Edición [Madrid, España]. IBERDROLA, 2019 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>>

- (4) CECU, Confederaciones de consumidores y usuarios. Guía del Consumidor, 1. Energía Minihidráulica [En línea]. Guía informativa Única Edición [Madrid, España]. Proyecto RES & RUE Dissemination [citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <http://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/guia/minidraulica.htm>>
- (5) COLLOTA Mario, MARCHIS de Mauro y otros. Sistemas avanzados de ingeniería y aplicaciones informáticas: teoría y práctica [En línea]. Prefacio del simposio [Verona, Italia]. Universidad de Verona, 30 de noviembre de 2018 [citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://doi.org/10.1063/1.5012464>>. AIP Conference Proceedings 2040: 1, 140001.
- (6) FRIJNS Jos, CABRERA Enrique y otros. Prácticas y Tecnologías del agua, Herramientas de gestión para intervenciones hidroeléctricas en sistemas de abastecimiento de agua [En línea]. Artículo de investigación, Volumen 10, 2da Edición [Londres, Reino Unido]. IWA Publishing, 01 de junio de 2015 [citado en 29 agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://doi.org/10.2166/wpt.2015.024>>. EISSN 1751-231X.
- (7) VARGAS BENAMBOURG, Daniela. Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación

Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, [En línea]. Informe de Práctica de Especialidad [Daniel Flores, Costa Rica]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 05 de junio de 2019. [citado en 29 agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10884/estudio_prefactibilidad_aprovechamiento_energetico_mediante_sistemas_micro_generacion_hidroelectrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Repositorio TEC.

- (8) BELMONTE Silvina, VIRAMONTE José y otros. Estimación del potencial hidráulico para generación de energía eléctrica por microturbinas mediante herramientas SIG, [En línea]. Artículo de la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente volumen 12 [Valle de Lerma, Salta]. ASADES - Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008 [citado en agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94603>>. ISSN: 0329-5184
- (9) BELLENGER Alfonso. Aplicación de energías no convencionales, [En línea] Tesis de Grado [Valparaíso, Chile]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 20 septiembre 2012 [citado en Agosto 2020]. Disponible en internet: <URL: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3378_01.pdf>. Sistema de biblioteca

- (10) PRATTS Manuel, GARCÍA David y otros. Aprovechamiento de la energía de la red mediante turbinación Experiencia en Global Ómnium - Grupo Aguas de Valencia S.A., [En línea]. AEAS - Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 2017. [citado en Agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://www.tecnoaqua.es/articulos/20200829/articulo-tecnico-aprovechamiento-energia-red-turbinacion-global-omnium#.X5cgz4hKhP>> Artículo para descargar.
- (11) MERINO Luis, MOSQUERA Pepa y otros. Energías Renovables [En línea]. Revista impresa por EGRAF, mayo 2011 [citado en agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Revista569.pdf>>
- (12) MACIAS Juan. ENSAYO DE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS DESABASTECIDAS (II) [En línea]. Tesis de grado [Madrid, España]. Universidad de Carlos III de Madrid, Julio de 2012 [citado en agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15916/PFC_JuanManuel_Mascias_DeLaRica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- (13) UPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia [En Línea]. Proyecto inversiones catalizadoras para energía geotérmica [Bogotá, Colombia]. UPME, 1995 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf>.ISBN No. 978-958-8363-26-4
- (14) Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 1 - 24 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p1-24.pdf>.
- (15) Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 25-36 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf>.

- (16) Ingfocol Ltda. Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia Página 25-36 [En Línea]. Primer Atlas [Bogotá, Colombia]. UPMEUPME, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA y la Universidad Javeriana, 07 de octubre de 2015 [citado el 01 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf>.
- (17) YOUR WATER TURBINE. Turbinas hidráulicas. [En línea]. Página informativa [Elche, España]. Your water Turbine. [citado en agosto de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://yourwaterturbine.com/?gclid=Cj0KQCQjw28T8BRDbARIsAEOMBcwKjzbs9_AKjg2uGZgvuq_DQJuKATSrTzyb0fcfF-EITPavtEiqGWsaAm4eEALw_wcB>
- (18) ITDG. Soluciones Prácticas. [En línea] Ficha Técnica N.º 2. Turbina Michell Banki. [Citado en septiembre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://carlosmartinezc.files.wordpress.com/2012/01/fichatecnica2-turbina-michell-banki.pdf>>
- (19) GUNT. Flujo en sistemas de tuberías, [En línea]. Publicaciones de conocimiento básico. [citado en agosto 2020]. Disponible en internet: <URL: https://www.gunt.de/images/download/Conocimientos-bsicos-flujo-en-tuberas-y-robineteras_spanish.pdf>





- (20) GUACANEME Javier y Otros. Revisión de las Características de Sistemas de Almacenamiento de Energía para Aplicaciones en Micro Redes [En línea]. Artículo de información tecnológica, volumen 25, 2da Edición. [Bogotá, Colombia]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014 [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000200020&script=sci_arttext&tlng=en#t1>. versión On-line ISSN 0718-0764
- (21) GUACANEME Javier y Otros. Revisión de las Características de Sistemas de Almacenamiento de Energía para Aplicaciones en Micro Redes [En línea]. Artículo de información tecnológica, volumen 25, 2da Edición. [Bogotá, Colombia]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014 [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000200020&script=sci_arttext&tlng=en#t1>. versión On-line ISSN 0718-0764
- (22) VEGA, Laurence. Alumbrado público LED: Ahorro y eficiencia para ciudades inteligentes [En línea]. Artículo de opinión [Panamá, República de Panamá]. El capital financiero, 12 enero 2017. [citado 26 de octubre de 2020]. Disponible en internet: <URL: <https://elcapitalfinanciero.com/alumbrado-publico-led-ahorro-y-eficiencia-para-ciudades-inteligentes/>>

- (23) IBERDROLA. Qué es la energía hidroeléctrica [En línea] Artículo informativo Única Edición [Madrid, España]. IBERDROLA, 2019 [citado el 02 septiembre 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>>
- (24) Ministerio de Minas y Energía, Resolución 181331 de agosto 6 de 2009: n Anexo General Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP Colombia, República de Colombia) (Agosto 2009) (Citado 19 de mayo de 2021)
- (25) Blog Santa Cruz de Tenerife Limpia - Turbinas en las cañerías de agua para producir electricidad limpia – Publicado el 12 de abril de 2018 - Disponible en Internet: <URL: <https://www.santacruzlimpia.info/index.php/blog/item/405-turbinas-en-las-canerias-de-agua-para-producir-electricidad-limpia>>
- (26) Revista Energía- NOTICIAS [Los habitantes de Portland generan energía tirando la cadena del baño] – publicada en marzo 6 de 2015 - Disponible en Internet: <URL: <https://www.revistaenergia.com/4113/>>
- (27) Eadic formación y consultoría- [Energía hidráulica, la primera renovable] – Fecha de publicación 11 DE JULIO DE 2016 POR EQUIPO

COMUNICACIÓN EADIC - Disponible en Internet: <URL:
<https://www.eadic.com/energia-hidraulica-la-primera-renovable/>

- (28) UNESCO - Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) – [Hechos y cifras La energía hidroeléctrica suministra cerca del 20% de la electricidad mundial] - - Disponible en Internet: <URL:
<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-6-hydropower/#topPage>
- (29) BID mejorando vidas- [energía para el futuro] - La hidroelectricidad, la mayor fuente de energía sostenible. ¡Aquí te decimos por qué! Publicada por Edwin Malagón – Diciembre 12 de 2017 - Disponible en Internet: <URL:
<https://blogs.iadb.org/energia/es/la-hidroelectricidad-la-mayor-fuente-de-energia-sostenible-aqui-te-decimos-por-que/>

24. ANEXOS

Turbine Name	LUCIDPIPE POWER SYSTEM		
Company name	LucidEnergy		
Company Address	108 NW 9th Avenue Suite 201C Portland USA		
Company Tel	+1 574-238-5415		
Company E-mail	josh.kanagy@lucidenergy.com		
Website	www.lucidenergy.com		
Turbine Description	These spherical turbines are installed inline in large diameter pipes. A number of turbines can be installed in series and can operate across a wide range of head and flow conditions.		
Pressure Head Range	0.5 m to 10 m head drop through turbine; pressure head in the pipe can be higher		
Flow Range	1 m ³ /s to 5.6 m ³ /s		
Power Range	14 kW to 100 kW		
Illustrations, Photos and Applicable Graphs			
	<i>Computer-generated drawing of turbine</i>	<i>Three Lucidpipe turbines in series</i>	
			
	<i>Turbine in pipe</i>	<i>Installed turbine</i>	

Firma Estudiante 1

LUISA DELGADO OLARTE

504197

Firma Estudiante 2

PAULA GONZALEZ NIÑO

Firma Asesor del Trabajo de Grado

ING. HENRY CÓRDOBA ROMERO

FECHA

(19/05/2021)