



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Turbina hidráulica con tecnología biomimética
para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para
generar energía eléctrica renovable**

Kevin Jhonatan Camayo Huamanculi

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

A mi asesor y docentes que me ayudaron en el proceso de elaboración de la presente investigación.

El Autor

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi padre Freddy y mi madre Eva, por el apoyo ofrecido en estas horas de trabajo y por la paciencia que tuvieron estos años.

El Autor

RESUMEN

El trabajo tuvo por objetivo diseñar, simular y evaluar una propuesta de turbina hidráulica, combinando los factores que influyen en la generación del modelo virtual en situaciones en donde el caudal es como mínimo $4 \text{ m}^3/\text{s}$, así como, analizar la respuesta del sistema cuando es sometido a un análisis computacional de fluidos el cual permite evaluar la cantidad de energía eléctrica que llegaría a producir este diseño. Se presenta en la introducción las características físicas de las zonas en donde este modelo llegaría a instalarse valorando estos lugares en base a indicadores de pobreza y el desabastecimiento de energía eléctrica, además se explica fundamentos teóricos con respecto a la capacidad de consumo de energía en la actualidad y la tecnología biomimética. La metodología para el diseño está basada en el método biomimético, en el que se trata de emular un elemento natural, para la evaluación de la turbina se empleó el diseño experimental 2^3 .

Palabras clave: *Biomimética, Turbina, Generación Hidráulica, Energía Renovable, (simulación de sistemas fluido- dinámicos) CFD.*

ABSTRACT

The work aims to design and develop and evaluate a hydraulic turbine proposal to determine the factors influencing hydroelectric generation, in situations where the flow is at least 4 m³/s, as well as analyze the response of the system when subjected to a computational analysis of fluids, which allows to evaluate the amount of energy that could produce this prototype at least. The introduction presents the physical characteristics of the areas in which this model would be installed, evaluating these places based on indicators of poverty and the lack of electricity supply, it also explains theoretical fundamentals with respect to current energy consumption capacity and biomimicry technology. In the design methodology it is based on the biomimicry method, in which it tries to emulate a natural element, for the evaluation of the turbine the experimental design 2³ was used.

Keywords: *Biomimicry, Turbine, Hydraulic Generation, Renewable Energy, (Computacional Fluid Dynamics) CFD*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación desarrolla un diseño de turbina basada en tecnología biomimética y analizada mediante simulaciones dentro del software CFD Autodesk, cuyo desarrollo permitirá generar energía eléctrica en zonas de afluentes hídricos del Valle del Mantaro en canales de regadío donde el caudal es como mínimo de $4\text{m}^3/\text{s}$, la presente investigación se realizó con la finalidad de desarrollar una alternativa de generación eléctrica mediante el uso de recursos energéticos renovables, para energizar pequeños centros poblados o viviendas unifamiliares, que no cuenten con energía eléctrica en sus viviendas, puesto que la falta de energía eléctrica trae un perjuicio a la economía, la educación, y el desarrollo social. En el desarrollo del trabajo se encontró un diseño virtual de turbina hidroeléctrica, adecuada para zonas con afluentes hídricos del valle del Mantaro y la potencia de generación, se planteó un método para determinar la potencia útil y eléctrica para este tipo de turbina, además de insertarle nuevos factores; el trabajo se desarrolló de la siguiente manera:

En el primer capítulo se caracteriza el problema haciendo referencia a las noticias actuales que ponen en evidencia que muchas zonas rurales carecen del servicio de energía eléctrica y por ello, se genera la necesidad de contar con dicha energía en estas zonas. Además, se exponer cuáles son los desarrollos tecnológicos de turbinas que actualmente se han encontrado para mejorar la generación eléctrica, en seguida se explica el problema general y específicos, así como, el objetivo principal y los específicos, finalmente se expone la justificación de esta investigación.

En el segundo capítulo se desarrolla los antecedentes que fundamentan el este trabajo, en los cuales se ha hallado ideas de diseño basado en los resultados y los trabajos futuros que plantean las investigaciones citadas detalladas de manera extensa, también se explica la teoría básica para la investigación y los términos que se han de utilizar en el trabajo.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología del diseño biomimético y la metodología de análisis de la solución, los métodos, técnicas e instrumentos que permitieron desarrollar esta investigación explicando cómo se realizó, como se utilizó este método para encontrar la solución al problema establecido.

En el cuarto capítulo se desarrolla el análisis del diseño identificando una lista de requerimientos basados en los antecedentes de anteriores investigaciones, se detalla las necesidades para el desarrollo del primer álabe conocida en esta investigación como “Unidad básica de estudio” además de describir las características que deben tener las campanas y el eje. El quinto capítulo desarrolla el diseño de todas sus partes y el ensamblaje de las turbinas propuestas, mediante la combinación de los factores hallados para los diseños propuestos en donde se detalla las características esenciales del diseño.

En el sexto capítulo se explica el proceso de la simulación además de las pruebas que se han desarrollado para evaluar la funcionabilidad del prototipo virtual, luego se analiza las características que tiene y su influencia en la generación de energía eléctrica y las posibles desventajas e inconvenientes del diseño acabado. Finalmente se presentan las conclusiones, los trabajos futuros, las referencias bibliográficas y los anexos.

El autor

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
INTRODUCCIÓN	v
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento formulación del problema	1
1.1.1. Caracterización del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	14
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación.....	15
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes del problema	18

2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2.	Antecedentes nacionales	28
2.1.3.	Antecedentes regionales	34
2.2.	Bases teóricas	37
2.2.1.	Energía eléctrica	37
2.2.2.	Diseño biomimético.....	50
2.2.3.	Turbinas hidráulicas.....	56
2.2.4.	Transmisiones mecánicas	63
2.2.5.	Generador	64
2.3.	Definición de términos básicos	67
2.3.1.	Fuerza	67
2.3.2.	Presión	67
2.3.3.	Torque.....	67
2.3.4.	Velocidad tangencial	67
2.3.5.	Velocidad angular	67
2.3.6.	Campo magnético	67
2.3.7.	Energía.....	68
2.3.8.	Potencia.....	68
2.3.9.	Fluido.....	68

2.3.10.	Condiciones de frontera	68
2.3.11.	Mallado	68
2.3.12.	Eficiencia	68
CAPÍTULO III.....		70
METODOLOGÍA		70
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo del diseño biomimético.....	70
3.1.1.	Secuencia metodológica para el diseño biomimético	71
3.2.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	76
3.2.1.	Tipo y nivel de investigación.....	76
3.2.2.	Método y diseño de la investigación	77
3.2.3.	Variables y operacionalización.....	81
3.2.4.	Objeto de la investigación	82
3.2.5.	Técnicas e instrumentos de investigación.....	83
3.2.6.	Técnicas de procesamiento de datos	86
CAPÍTULO IV		88
ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN		88
4.1.	Identificación de requerimientos	88
4.1.1.	En la unidad biomimética básica de estudio.....	89
4.1.2.	En la turbina.....	94

4.2. Análisis de la solución.....	100
CAPÍTULO V.....	102
DISEÑO.....	102
5.1. Diseño.....	102
5.1.1. De la unidad básica de estudio.....	102
5.1.2. Diseño de la turbina A1-C1-E1	110
5.1.3. Diseño de la turbina A1-C1-E2	112
5.1.4. Diseño de la turbina A1-C2-E2	114
5.1.5. Diseño de la turbina A2-C1-E1	116
5.1.6. Diseño de la turbina A2-C1-E2	117
5.1.7. Diseño de la turbina A2-C2-E1	118
5.1.8. Diseño de la turbina A2-C2-E2	119
CAPÍTULO VI	120
SIMULACIÓN	120
6.1. Pruebas y resultados	121
6.1.1. Simulación de la turbina E1-C1-E1	125
6.1.2. Simulación de la turbina A1-C1-E2	130
6.1.3. Simulación de la turbina A1-C2-E1	131
6.1.4. Simulación de la turbina A1-C2-E2	132

6.1.5.	Simulación de la turbina A2-C1-E1	133
6.1.6.	Simulación de la turbina A2-C1-E2	134
6.1.7.	Simulación de la turbina A2-C2-E1	135
6.1.8.	Simulación de la turbina A2-C2-E2	136
6.1.9.	Evaluación estadística del diseño experimental de la metodología... 138	
6.1.10.	Ecuación de regresión en unidades no codificadas.....	143
6.2.	Generación de energía eléctrica	143
6.2.1.	Determinación de la potencia en cada campana	144
6.2.2.	Generación con imanes permanentes para turbina biomimética	147
6.3.	Costos de construcción.....	156
6.3.1.	Para la turbina	156
6.3.2.	Para el generador	157
CONCLUSIONES		158
TRABAJOS FUTUROS		162
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		164
ANEXOS		167

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Descripción de términos nuevos para la investigación	69
Tabla N° 2: Combinación de tratamientos de las variables	80
Tabla N° 3 : Operacionalización de la variable dependiente	81
Tabla N° 4: Operacionalización de la variable independiente.....	82
Tabla N° 5: Técnica utilizada en la investigación	85
Tabla N° 6: Ficha de cotejo para la metodología de diseño	88
Tabla N° 7: Forma de relleno de la ficha de observación experimental	100
Tabla N° 8: Características de la turbina A1-C1-E1.....	110
Tabla N° 9: Características de la turbina A1-C1-E2.....	111
Tabla N° 10: Características de la turbina A1-C2-E1.....	114
Tabla N° 11: Características de la turbina A1-C2-E2.....	115
Tabla N° 12: Características de la turbina A2-C1-E1.....	116
Tabla N° 13: Características de la turbina A2-C1-E2.....	117
Tabla N° 14: Características de la turbina A2-C2-E1.....	118
Tabla N° 15: Características de la turbina A2-C2-E2.....	119

Tabla N° 16: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C1-E1.....	129
Tabla N° 17: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C1-E2.....	130
Tabla N° 18: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C2-E1.....	131
Tabla N° 19: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C2-E2.....	132
Tabla N° 20: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C1-E1.....	133
Tabla N° 21: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C1-E2.....	134
Tabla N° 22: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C2-E2.....	135
Tabla N° 23: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C2-E2.....	136
Tabla N° 24: Rellenado de datos en la tabla de la metodología para el diseño experimental.	137
Tabla N° 25: Presupuesto para la construcción de la turbina A1-C2-E2.....	156
Tabla N° 26: Presupuesto para la construcción del generador de imanes permanentes	157

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Pobreza rural en la Amazonia de Loreto	2
Figura N° 2: Acciona suministra energías renovables en la Amazonia.....	3
Figura N° 3: VRAEM: Invertirán 16 millones de soles para electrificación rural	4
Figura N° 4: Acceso a la luz eléctrica.....	6
Figura N° 5: Central eléctrica contaminante.....	7
Figura N° 6: Consumo industrial de energías	9
Figura N° 7: Inversiones de energías renovables para electrificación rural en Latinoamérica	10
Figura N° 8: Electrificación rural en las zonas del Perú.....	11
Figura N° 9: Generador flotante para ríos	12
Figura N° 10: Hidrotor (Generación en canales de regadio)	13
Figura N° 11: Generación eléctrica en ríos.....	13
Figura N° 12: Consumo Eléctrico en el Perú 2017.....	39
Figura N° 13: Clasificación de las fuentes energéticas.....	44
Figura N° 14: Transformaciones energéticas mas usuales	48
Figura N° 15: Equipos empleados en transformaciones energéticas	49

Figura N° 16: Ojos de gato y reflectores de luz.....	53
Figura N° 17: Conos de pino y la ropa termorreguladora.....	54
Figura N° 18: Pájaro Kingfisher y el tren bala	55
Figura N° 19: Protuberancias de las aletas de la ballena y hélices eólicas.....	56
Figura N° 21: Esquema conceptual de la turbina Francis.....	58
Figura N° 20: Esquema conceptual de una turbina Pelton	58
Figura N° 22: Curva Par-Velocidad para diferentes grados de admisión.....	60
Figura N° 23: Curva de Potencia-Velocidad para diferentes grados de admisión.....	60
Figura N° 24: Curva Caudal-Velocidad para diferentes tipos de turbinas	61
Figura N° 25: Curvas características elementales.....	61
Figura N° 26: Diagrama de explotación $H=f(Q)$ con líneas de isopotencia.	62
Figura N° 27: Esquema de sistema de autoexcitación de un generador síncrono.	66
Figura N° 28: Esquema de circuito excitatriz sin escobillas.	66
Figura N° 29: <i>Zantedeschia aethiopica</i>	91
Figura N° 30: Ilustración de la disposición en espiral en la naturaleza. Patrón de Fibonacci	92
Figura N° 31: Construcción de canales de regadío.....	103

Figura N° 32: Creación de la unidad básica de estudio	106
Figura N° 33: Dimensionamiento del ángulo de recepción	106
Figura N° 34: Creación del álabe.....	107
Figura N° 35: Creación de la continuación del álabe	107
Figura N° 36: Corte 1/2 del diseño	108
Figura N° 37: Creación del pétalo emulando a la “Flor de Lirio”	108
Figura N° 38: Resultado final de la unidad básica de estudio vista frontal	109
Figura N° 39: Resultado final de la unidad básica de estudio vista planta.....	109
Figura N° 40: Construcción de la turbina A1-C1-E1	110
Figura N° 41: Construcción de la turbina A1-C1-E2	112
Figura N° 42: Ensamblaje de campanas para ejes biomiméticos.	112
Figura N° 43: Construcción de la turbina A1-C2-E1	113
Figura N° 44: Construcción de la turbina A1-C2-E2	114
Figura N° 45: Construcción de la turbina A2-C1-E1	116
Figura N° 46: Construcción de la turbina A2-C1-E2	117
Figura N° 47: Construcción de la turbina A2-C2-E1	118

Figura N° 48: Construcción de la turbina A2-C2-E2	119
Figura N° 49: Mallado y análisis de presión de la unidad básica de estudio.....	121
Figura N° 50: Simulación del efecto del fluido sobre la campana	121
Figura N° 51: Efectos de los vectores de velocidad del agua fuera de la unidad básica de estudio.....	123
Figura N° 52: Análisis de la presión sobre las paredes de la unidad básica de estudio.....	123
Figura N° 53: Obtención de la cantidad de total de torque de la unidad básica de estudio para 2m/s de velocidad de agua	124
Figura N° 55: Edición del fluido para la simulación A1-C1-E1.....	125
Figura N° 54: Análisis de las 100 iteraciones para la evaluación de la unidad básica de estudio	125
Figura N° 56: Edición de material de la turbina A1-C1-E1.....	126
Figura N° 57: Edición de las condiciones de frontera para la presión del fluido	127
Figura N° 58: Edición de las condiciones de frontera para la velocidad en la entrada del fluido	127
Figura N° 59: Mallado par evaluación del fluido cuando llegue a las intersecciones de los nodos.....	128
Figura N° 60: Edición de las condiciones de solución	128

Figura N° 61: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C1-E1	129
Figura N° 62: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C1-E2.....	130
Figura N° 63: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C2-E1	131
Figura N° 64: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C2-E2.....	132
Figura N° 65: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C1-E1	133
Figura N° 66: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C1-E2.....	134
Figura N° 67: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C2-E1	135
Figura N° 68: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C2-E2.....	136
Figura N° 69: Tipo de experimentación que se llevó a cabo en el Software MiniTab	138
Figura N° 70: Gráfica normal de los efectos	139
Figura N° 71: Gráfica Pareto de los efectos	139
Figura N° 72: Gráfica de los efectos principales para Torque Vs Eje	140
Figura N° 73: Gráfica de iteración Eje Vs Campana.....	141
Figura N° 74: Gráfica de cubos de Eje Vs Campana.....	141
Figura N° 75: Gráfica de cubos de los 3 factores	142
Figura N° 76: Simulación para generación de energía eléctrica de la turbina A1-C2-E2	144

Figura N° 77: Simulación para hallar la velocidad en la campana de la turbina A1-C2-E2	145
Figura N° 79: Potencia deseada, diámetro del imán y radio medio del generador	148
Figura N° 78: Cantidad de par de Polos, cantidad de fases, frecuencia y bobinas	148
Figura N° 80: configuración del Di y Do de las bobinas	149
Figura N° 81: Posibilidad 1 para la combinación de 24V y 275rpm	151
Figura N° 83: Posibilidad 3 para la combinación de 24V y 250rpm	152
Figura N° 82: Posibilidad 2 para la combinación de 48V y 275rpm	152
Figura N° 84: Posibilidad 4 para la combinación de 48V y 250pm	153
Figura N° 85: Posibilidad 5 para la combinación de 110V y 275pm	153
Figura N° 86: Posibilidad 6 para la combinación de 110V y 250pm	154

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Para contextualizar el tema de investigación, iniciaremos con la siguiente pregunta: ¿qué sabemos de la pobreza en el Perú?, En el 2016 encontramos 18.65% de personas con al menos una necesidad básica insatisfecha (1), este porcentaje se encuentra en gran medida en las zonas rurales y esto es debido a la carencia o falta de interés en políticas de inversión en infraestructura, energía, educación, etc. Una de las necesidades que más impacto genera en la pobreza es el uso de energía eléctrica ya que es básico para la educación, ya que los niños necesitan de electricidad para realizar sus tareas, además los padres no pueden realizar actividades que le permitan mejorar su economía porque carecen de luz; también permite el funcionamiento de industrias, puesto que utilizan energía

eléctrica para realizar procesos productivos o la elaboración de productos. Según Pinedo en su artículo *crónica pobreza rural en la Amazonía de Loreto*, comenta que pudo observar y analizar que existe un racionamiento de energía eléctrica en las zonas de la Amazonía donde ella logró visitar, esto ocasiona que los niños de estas localidades no puedan estudiar de manera normal, ocasionando un bajo nivel de rendimiento educativo en ellos.



Figura N° 1: Pobreza rural en la Amazonia de Loreto

Fuente: <http://www.puntoycoma.pe>

Muchas organizaciones privadas que tienen la iniciativa de realizar proyectos de electrificación rural a través de energías renovables y con el financiamiento de organizaciones estatales de investigación, logran cumplir con las metas trazadas, esto se puede evidenciar en el siguiente ejemplo: “la Fundación proporcionará por primera vez la electricidad a aproximadamente 1.000 hogares de la cuenca peruana del río Napo, afluente del Amazonas, para

después replicar el modelo en las cuencas de otros ríos de la región amazónica”
(2).

En muchos casos en los cuales se lleva a cabo un proyecto tecnológico que pretende ser utilizado para una cantidad de beneficiarios enorme, se busca un lugar de prueba con similares características para poder llevar a cabo un testeo, de esta manera verificar que el proyecto sea viable, económicamente, tecnológicamente y socialmente. En muchos casos estos proyectos son un piloto de investigación, del cual se realiza la observación de los impactos que estos logran, para analizar y proceder a ejecutar estos trabajos a una escala más grande con una población interesada más amplia, con lo cual, se lleva a realizar un proyecto a nivel regional. Para esta investigación se desarrolló un diseño de turbina hidráulica con la intención de lograr su instalación y pueda ser evaluado como proyecto piloto.



Figura N° 2: Acciona suministra energías renovables en la Amazonia

Fuente: <https://www.evwind.com>

En el siguiente texto se puede apreciar que los principales usos que los hogares dan a la electricidad son: la iluminación para ampliar horas de estudio (67%), la prolongación de las actividades productivas (43%) y la preparación de comidas (21%) (2). Entonces se concluye que el mayor uso de la energía eléctrica está enfocado para estudiar. La necesidad que se evidencia es un problema muy amplio en casi todo el país y es uno de los motivos por los cuales los alumnos tengan un bajo nivel educativo, sobre todo en las zonas rurales. Según el reporte citado anteriormente, se aprecia que las actividades productivas son mínimas, evidenciando un bajo nivel de ingresos, en otras palabras, son poblaciones que viven en la pobreza.



Figura N° 3: VRAEM: Invertirán 16 millones de soles para electrificación rural

Fuente: <https://larepublica.pe>

El diario República, indicó que: “16 millones de soles se invertirán por el Ministerio de Energía y Minas, en el distrito de Pichari, ubicado en el Valle del río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) para electrificación rural. A través de redes se pretende electrificar estas zonas para que gocen de energía eléctrica que beneficiará a más de 930 familias ubicadas en las 15 comunidades rurales nativas y 14 barrios urbanos de la ciudad”(3).

El Estado es un importante actor en la realización de estos proyectos, ya que, ellos mediante leyes impulsan el crecimiento de electrificación urbano y rural, esto es un importante motivo para realizar trabajos basados en electrificación rural, pero existe por lo menos dos problemas grandes en lo que viene realizando el gobierno: En primer lugar el planeamiento y la ejecución deben alcanzar cifras altas para ser zonas con habitabilidad, sin embargo la mayoría de estas comunidades tienen un nivel de habitabilidad muy baja ocasionando que no se pueda brindar energía. Si después de pasar (Si es que sucediera) el nivel de habitabilidad necesario para el suministro de energía, ésta pasaría a ser administración de la empresa concesionaria del lugar para energizar las zonas o comunidades, pero las condiciones de seguridad y de protección que piden las empresas de distribución eléctrica correspondiente para realizar el proyecto de energización está por debajo de las circunstancias necesarias para realizar el proyecto, además debe haber mantenimientos preventivos y correctivos de los elementos electromecánicos que se consideren por debajo del estándar en seguridad después de la instalación del sistema, finalmente estos usuarios deben realizar un pago por la prestación de servicio público de electricidad, pero como

se encuentra en zonas alejadas el costo de traslado desde la localidad hasta la agencia de recaudación del consumo eléctrico es más alto que el costo de consumo que ellos realizan, por lo cual, en muchos casos la empresa deja de controlar las facturaciones. En segundo lugar, el problema es que muchos de los proyectos que realiza el Estado, no abarca la zona de concesión, por lo que las concesiones cercanas no quieren pasar a administrar estos lugares, debido a que no es una obligación electrificar y administrar a usuarios que no se encuentren en su área de concesión; estos problemas son las principales causas por las que las zonas rurales, no alcanzan un nivel para ser electrificadas, llegando a un 80,1% de electrificación para el trimestre Octubre – Noviembre Diciembre del 2017 (4).

Para citar un ejemplo del diario Correo que investigó esta problemática “Electrocentro no tiene responsabilidad en ese territorio que representa el 22% de la población que no accede a energía eléctrica”(5).

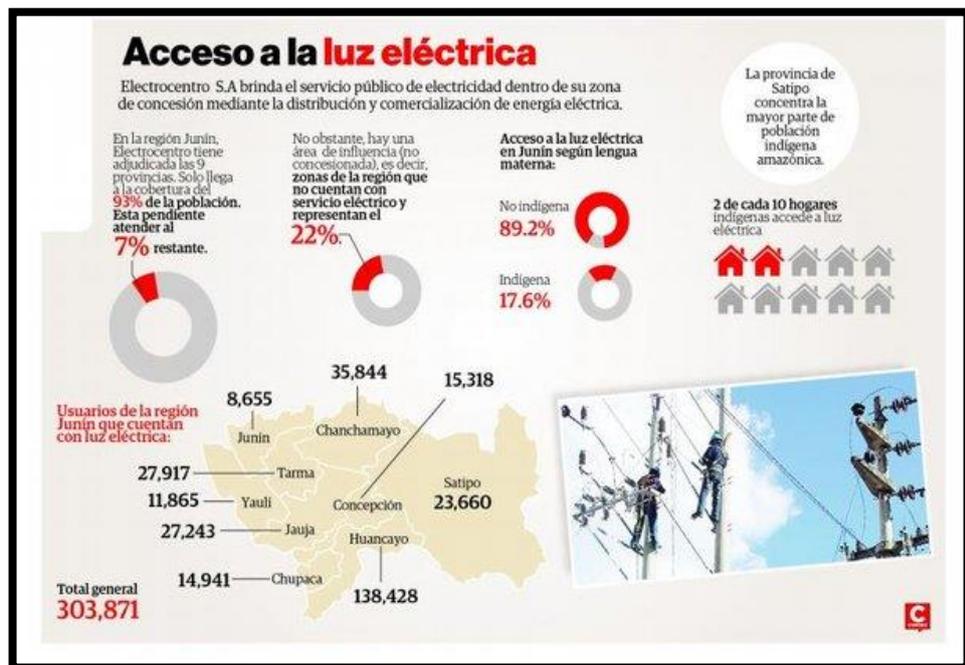


Figura N° 4: Acceso a la luz eléctrica

Fuente: <https://diariocorreo.pe>

Los principales motivos de realizar proyectos de generación eléctrica a través de recursos renovables es que generan un impacto negativo bajo, en comparación con las fuentes generadoras clásicas, como las térmicas que tienen la ventaja de ser más baratas en construcción, pero al momento de generación, son las que tienen más alto costo por producción, además que al quemar combustibles para la generación de electricidad emiten un alto nivel de contaminación. De acuerdo al informe 2013 de WWF llamado ‘Mythbuster: acabando con los mitos sobre energías renovables’: *Cuadruplicar el consumo actual de energía renovable para el año 2035 (en el mundo,) podría evitar hasta el 23% de la reducción de las emisiones de CO2 (6).*



Figura N° 5: Central eléctrica contaminante

Fuente: Greenpeace.org

Existe una gran cantidad de informes que demuestran que las generaciones con energías renovables tienen una baja cantidad de emisión de CO₂, que no tiene caso citarlos. La generación a través de estas fuentes son uno de los proyectos que

muchos países pretenden lograr, ya que la tecnología para el aprovechamiento está en su cumbre, por lo que bajan los precios de los elementos para su utilización, gracias a esto el precio por generación será más baja en los próximos años; el otro motivo para invertir en este tipo de generación es su baja contaminación al medio ambiente.

El índice de electrificación a nivel de América Latina llega a ser bajo, a pesar de encontrarnos, en épocas donde la tecnología es uno de los principales aspectos que todos los países llegan a conocer y poseer. Esta situación tiene especial incidencia en zonas rurales de este continente donde se concentra un 78% de las personas que no disponen de electricidad y un 66% de las que no tienen acceso ni a la electricidad ni al gas (7). A través de estos datos queda demostrado que no solo el Perú necesita inversión en electrificación para las zonas rurales, en muchos casos los países de Latinoamérica también tienen este problema, se puede inferir como causa de la falta de este servicio a múltiples factores, pero lo más importante es dar una solución factible, eficiente y económica. Entrar en discusiones de que personajes son los responsables de esta carencia estaría por demás, en lo que se deben enfocar los investigadores, es encontrar soluciones necesarias que abarquen en mayor porcentaje la solución del problema. La generación eléctrica con energías renovables debe ser en un futuro la forma más recurrente, necesaria y obligatoria que todos los países deben elegir, ya que, si se considera el crecimiento económico de la necesidad energética de la población, llegaremos a cantidades de energía (Eléctrica e hidrocarburos) enormes que la población va a requerir, la solución más fácil sería racionar o generar con fuentes

que al final de cuentas se van a llegar a acabar. El impulso que está desarrollando el Perú para generar energía eléctrica con energías renovables es muy poco, se deben implementar políticas energéticas y normas que regulen un mercado en que estas fuentes tengan un participación mayor.

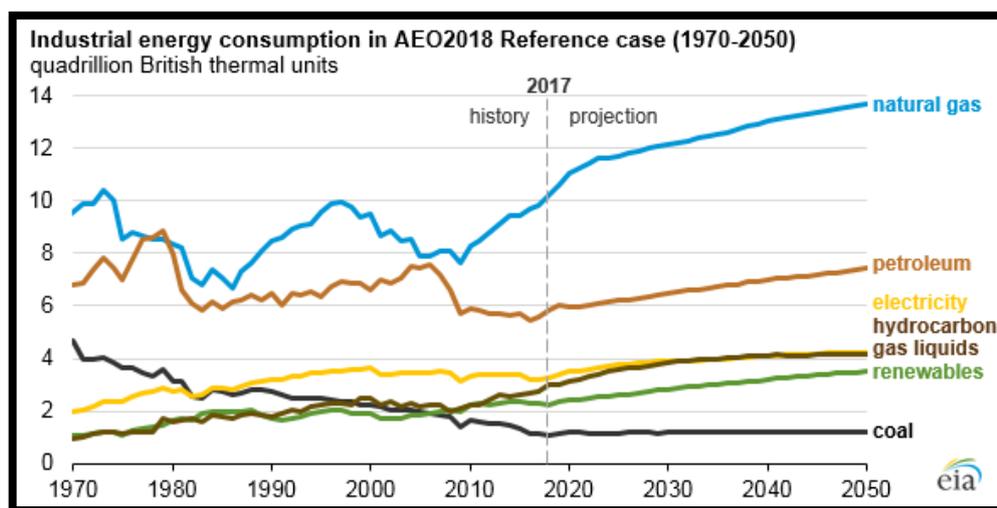


Figura N° 6: Consumo industrial de energías

Fuente: www.eia.gov (38)

De acuerdo con la agencia financiera internacional de evaluación de riesgo, Moody's, las energías renovables no convencionales serán la clave para impulsar el crecimiento económico en Latinoamérica (8). Esta información nos muestra que se puede incrementar el nivel económico de los países a través de generación de energías renovables. El Perú tiene una matriz energética amplia, pero la generación con RER no llega al 5%, aunque tiene un pequeño porcentaje de plantas de generación en reserva que puede ser usado cuando exista problemas de desabastecimiento de energía por centrales. Sin embargo, estas centrales son centrales térmicas, el uso de estas centrales cuando existe contingencias en la transmisión, incrementa el costo de consumo de energía de los usuarios porque usan las centrales de pico, ya que el costo de producción del Kilowatt-Hora es

más elevado que las centrales de base. Si el Estado quisiera vender energía de las reservas que tiene los países, no estarían dispuestos a pagar por ser una generación cara, pero si se lleva a cabo centrales de generación RER, el costo de producción sería mínimo, entonces a los países a los que se vendería energía podrían ser varios, sobre todo a los países en que las condiciones eléctricas son deficientes y que no cuentan con centrales hidráulicas de generación eléctrica.



Figura N° 7: Inversiones de energías renovables para electrificación rural en Latinoamérica

Fuente: <https://www.compromisoempresarial.com>

Ya es muy común encontrar proyectos para aprovechar energía de los ríos en pocas cantidades o para uso personal, estos están desarrollándose en más cantidad, debido a la reducción de los costos de construcción que demandaría estas máquinas, por otra parte estos trabajos son muy aceptados por las comunidades para sus instalaciones, ya que, es muy fácil apreciar que en su proceso de generación de energía eléctrica esta no muestra indicios de contaminación, por lo cual, las comunidades aceptan en buena manera estos

planes. En muchas partes cercanas a las derivaciones del río Amazonas y sobre todo por las localidades de los países de Latinoamérica en las que se puede aprovechar los encausamientos de este, se realizan trabajos que puedan captar energía como es el caso de Andreas Zeiselmair , quien es un estudiante de ingeniería, de origen alemán que pudo comprobar por sí mismo esta situación trabajando en proyectos energéticos tanto en Camerún como en las selvas tropicales de Ecuador. (9).



Figura N° 8: Electrificación rural en las zonas del Perú

Fuente: Cortesía (Dirección de Energías y minas)

Ingenieros de Asturias han desarrollado “Hidrotor”, una micro turbina hidráulica que con la ayuda de pequeños saltos de agua permite la generación de electricidad (10). Esta investigación y diseño que se realizó en España, guarda mucha relación con este diseño tecnológico que se propone en esta investigación, debido a que usan el tornillo de Arquímedes helicoidal infinito, para la producción de electricidad, a través del trabajo mecánico que realiza el agua, este sistema se usaba en el siglo III, y fue inventado por Arquímedes en esa centuria, ahora se usa para generar energía. Se puede apreciar que este diseño no ha modificado su

forma para mejorar su aprovechamiento, se usa tal como se diseñó en aquellos tiempos, este trabajo de investigación no replicó el prototipo por estos investigadores, sino que, se diseñó desde el inicio todo el prototipo, analizando los requerimientos y condiciones naturales de la zona, esto se realizó a través de un diseño matemático centrado en el número áureo, debido a que muchas formas de la naturaleza están diseñadas bajo esta modalidad.

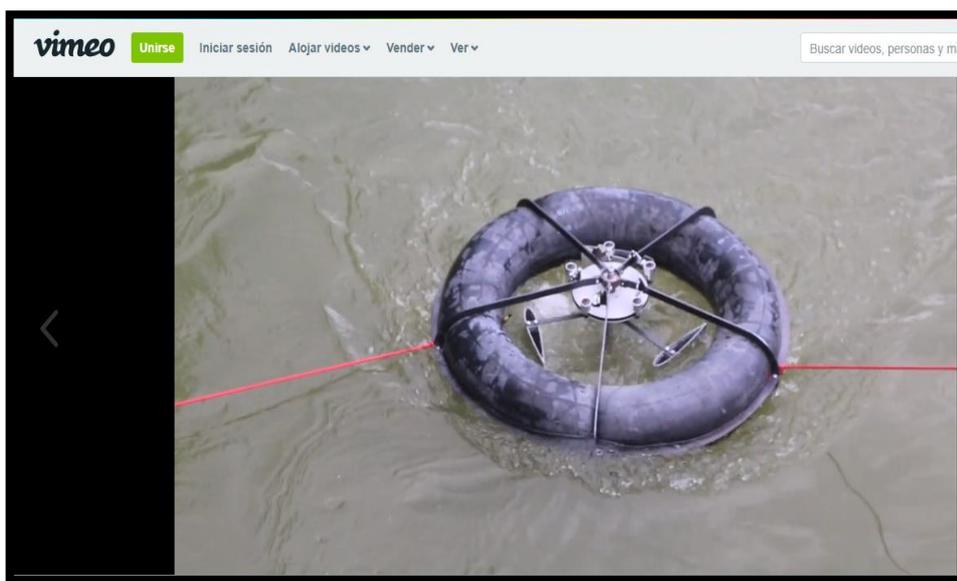


Figura N° 9: Generador flotante para ríos

Fuente: Markus Heinsdorff (<https://vimeo.com/47503158>)

Los países con gran potencial hidráulico obtienen la mayor parte de la electricidad en centrales hidráulicas por sus grandes ventajas (11). Puesto que la centrales eléctricas se basan en el aprovechamiento de recursos energéticos renovables, se debe impulsar el desarrollo de centrales de estos tipos por sus ventajas: ser inagotable, es una de las mayores cualidades que posee este recurso, en comparación a los recursos energéticos derivados del petróleo, carbón o gas, ya que solo se puede usar una vez en su consumo por máquinas térmicas donde estos productos se queman; la continuidad de muchas de las centrales de energía tienen un flujo constante en este recurso, por lo que se puede aprovechar a toda

hora del día; el inconveniente se da en épocas de estiaje en donde las represas de las centrales hidráulicas que se alimentan por pequeños ríos, a causa de las precipitaciones ocasionan una baja la producción de generación eléctrica, ese es un problema al que el uso del diseño de esta investigación logró dar una solución.



Figura N° 10: Hidrotor (Generación en canales de regadio)

Fuente: <https://www.renovablesverdes.com>

El futuro de la producción de energía eléctrica en nuestro país deberá tomar en cuenta este tipo de centrales, que se desarrolló en esta investigación.



Figura N° 11: Generación eléctrica en ríos

Fuente: <https://www.ecoticias.com>

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A) Problema General

¿Cómo configurar mediante un modelo virtual el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?

B) Problemas Específicos

¿Cuáles son los factores de un modelo virtual en el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?

¿Cómo influye la modificación de los factores de un modelo virtual de diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?

¿Cómo combinar los factores de un modelo virtual del diseño de una turbina hidráulica de tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Configurar mediante un modelo virtual el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los factores de un modelo virtual en el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.
- Determinar la influencia en la modificación de los factores de un modelo virtual de diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.
- Determinar una combinación adecuada de los factores de un modelo virtual del diseño de una turbina hidráulica de tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.

1.3. JUSTIFICACIÓN

- Justificación Tecnológica

El desarrollo de este sistema de generación eléctrica incrementa el horizonte de tecnologías que permiten generar electricidad con energías renovables, demostrando que un diseño adecuado, que configura las variables necesarias, en tamaño, forma y cualidades, puede generar energía eléctrica para consumos energéticos básicos; se conoce que en la actualidad el sector energético impulsa la generación con energías renovables, pero las tecnologías que han bajado su costo para producir energía eléctrica, es la tecnología fotovoltaica y en este trabajo se impulsó la generación hidráulica a baja escala con tecnología desarrollada.

- Justificación Social

Las generaciones con energías renovables permiten incrementar el coeficiente de electrificación nacional, en los que, las zonas rurales son las que se encuentran con

un nivel de electrificación rural menor del 80,1 aproximadamente, por lo cual se espera incrementar la cantidad de usuarios con acceso a la energía eléctrica en un valor cercano al 90% Esta tecnología nos permitirá electrificar lugares de esas zonas que cuentan con viviendas unifamiliares, casas de campo, recreos, que tengan un caudal de bajo de recurso hídrico con el cual se puede generar energía eléctrica suficiente para los usos básicos de consumo energético.

- Justificación Teórica

A través de esta investigación se demostró, que se puede abstraer funciones que tratan de explicar el orden y la composición de la naturaleza, de esta manera se pudo desarrollar el sistema necesario para poder construir un objeto, que se asemeje a algunos seres vivos necesarios en el proceso del diseño, por ello se incrementará las bases teóricas de nuevas formas de diseño.

- Justificación Legal

En los artículos N°82 y N°85 de la Ley de Concesiones Eléctricas, expresa detalladamente que en las zonas que se encuentren en la capacidad de habitabilidad necesaria para ser electrificadas, las Empresas Eléctricas prestadoras de servicio eléctrico deberán suministrar energía a estos predios de manera obligatoria; debido a que estos lugares no cuentan con planes de electrificación y el presupuesto necesario y aprobado para poder electrificar dichas zonas. Por lo que se demuestra la importancia esta investigación, debido a que a través de esta tecnología se puede llegar a electrificar las zonas que se encuentran en lugares que la ley impone para la prestación del servicio público de electricidad a usuarios que no cuentan con redes primarias y/o secundarias para que usen este servicio.

Según el Decreto Legislativo que N°1002, en los artículos N°1 y N°2, que promueve a través de sus organismos reguladores la promoción y el uso de energías renovables, cuyos sistemas entren en operación comercial al sistema; y en el artículo N°3 del presente reglamento, establece que con respecto a la generación hidroeléctrica no debe superar 20MW de la potencia instalada. Finalmente, el artículo N° 10 indica que, a través de la CONCYTEC, en coordinación con el MINEM y los gobiernos regionales tendrán que adecuar las formas y procesos para desarrollar proyectos de investigación sobre energías renovables, promoviendo la participación de las instituciones especializadas en la materia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Horta en 2009, realizó la tesis de pregrado: Estudio Fluidodinámico en el Interior de un Inyector de una Turbina Pelton Mediante la Aplicación del Software CFD, en la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui (12). La investigación llegó a las principales conclusiones: Debido a que en esta investigación se propuso un diseño, se evaluó el sistema a través de un análisis computacional fluido dinámico CFD en donde se encontró características básicas para un diseño adecuado, en muchas de las conclusiones que el autor explica, lograr un mallado adecuado determinará un análisis óptimo. Desarrollar un modelo matemático de modelamiento de la turbina muestra la relación de los valores de entradas y salida. Para entender el funcionamiento de la turbina se consideró la modificación de los factores de la turbina. Esta investigación se

enfoca en el diseño de inyector de la turbina mediante la modificación de valores del inyector con la finalidad de evaluar características de funcionamiento de la turbina ocasionada por el impulso del inyector, es así que evalúa el comportamiento de la turbina Pelton, para valores de entrada como el caudal y la velocidad de movimiento que experimenta el fluido. En esta investigación no se evaluó el inyector del fluido, se evaluó las turbinas comparando la cantidad de presión que llegó a presentar las paredes de los diseños propuestos, por lo tanto, a través de datos iniciales en el fluido como velocidad y presión como condiciones de frontera, se obtuvo datos como fuerza y torque que van a sufrir los diseños evaluados. En su enfoque sustenta que la solución del problema se logrará resolviendo la ecuación de Navier- Stokes, aunque evaluar y solucionar el problema mediante estas ecuaciones es muy tedioso, por lo que se eligió para evaluar el diseño mediante el software CFD, debido a que la investigación se presentó en el año 2009 en aquellos años los softwares no eran importantes para evaluar diseños, solo servían para evaluar los resultados obtenidos por las ecuaciones. Actualmente los softwares de diseño y análisis, se usan en gran medida para desarrollar elementos electromecánicos de una manera rápida y eficiente, debido a su alta capacidad de procesamiento. Los resultados a los que llega: está la evaluación mediante gráficos de comportamiento de caudales, con respecto a la variación del porcentaje de apertura de los inyectores, los coeficientes de apertura ayudan a evaluar en qué circunstancias es mejor el inyector, de esta manera el Ingeniero determina que en el inyector tiene mayor velocidad en la salida, debido a que el área de salida es mucho menor. La metodología que el autor planteó fue el diseño virtual mediante el software Solidworks 2008, desarrollando cada parte del inyector de manera independiente, ensamblando las piezas adecuadas, después cambia la apertura del inyector, en

porcentajes crecientes de 25% esta metodología es muy similar al que se plantea en la presente investigación, con la diferencia que se evaluará la turbina como unidad básica de estudio modificando las condiciones iniciales del diseño como grados de la primera hélice, corte adecuado para asemejar al diseño biomimético. Según Horta argumenta que sería preferible evaluar el comportamiento del inyector, manteniendo velocidad constante, además de evaluar su diseño con modelos de turbulencia. Debido a estos alcances que dejó el autor de la investigación citada, no se evaluará el diseño de la turbina en aspectos de turbulencia debido a que el diseño que se está realizando es para bajos caudales, sin embargo, se considerará la distancia mínima entre turbinas para su instalación.

Alberto en 2011, realizó la tesis de pregrado: Diseño de una Turbina Hidráulica Basada en el Tornillo de Arquímedes, en la Universidad de El Salvador (13). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: En el diseño y la construcción de la turbina el autor define dos variables para la realización de su proyecto: el eje es el elemento de la máquina que sirve para sostener otros elementos de máquinas que son giratorios (13), de esta manera se puede obtener datos suficientes para elaborar un eje adecuado para un trabajo similar, sin embargo en la investigación desarrollada, no se está evaluando las características del eje, por lo que se expondrá los cálculos del eje de manera superficial; Alberto describe un elemento definido por los especialistas en ingeniería mecánica con el nombre de “árboles” o “árbol” que es un elemento mecánico que gira en compañía con los elementos de la máquina, este elemento es diferente al eje debido a que esta pieza se monta en el volante de inercia, engranajes y poleas y es el responsable de transmitir energía mecánica de movimiento al generador, por

consiguiente no se evaluará este sistema debido a que en esta investigación no es objeto de estudio; entretanto no se dejará de analizar los otros elementos, aunque son parte de esta investigación. Cuando se analizó la investigación del Ingeniero Alberto Mejía, se encontraron metodologías necesarias para obtener datos que puedan profundizar en esta investigación, además, se sustenta que el tornillo de Arquímedes es un diseño muy adecuado de prototipo de máquina para generación en bajos caudales, por lo tanto, el diseño del eje de la turbina, y demás piezas se realizará utilizando como idea básica el tornillo de Arquímedes. Según Alberto en su investigación, analiza los esfuerzos mecánicos de la turbina y sus elementos, sin llegar a profundizar la generación eléctrica que lograría, es así que explica los detalles del uso, evaluando la solución de generación y sus efectos en comparación del costo de fabricación, analizando el aspecto económico de la instalación y del uso del dispositivo desarrollado, en lugares que posean características similares a lo planteado, sin embargo, no debemos aprobar la solución sin evitar comprometer y comparar con sistemas actuales de distribución eléctrica en zonas de baja densidad de carga. El autor tras realizar el análisis de los elementos de investigación encuentra datos necesarios para desarrollar un diseño virtual adecuado, el primer elemento en discusión es el eje el cual llega a ser evaluado mediante análisis de rigidez, deformaciones, y cargas, muchos de estos datos son hallados en los rodamientos, de la misma manera hace un hallazgo de datos para el diseño del árbol, luego realiza la evaluación del diseño constructivo, finalmente realiza el análisis económico para evaluar el gasto inicial y discutir la factibilidad de la construcción en base a esta variable. El instrumento de estudio que utilizó el investigador, fue el uso del Software “Beam Diagrams Module” el cual ayuda a supervisar las fuerzas y momentos de los cuerpos mecánicos de estudio, este instrumento de investigación ayuda evaluar

los efectos de los elementos, mas no ayudan a diseñar un modelo eficiente, por lo que tomando en cuenta este trabajo, se realizó una metodología de investigación adecuada para condiciones mecánicas, el método nos permite obtener un análisis del torque para cada turbina. Gracias a la pesquisa que realizó el autor, se demuestra que el análisis de los elementos mecánicos tanto como el eje y el árbol, necesitan de un desarrollo adecuado, además que el análisis económico es fundamental; con relación con el análisis del costo del desarrollo de producto, se argumenta como viable, se considera que se debe expresar alguna conclusión de la viabilidad económica con factores que no sean únicamente el costo de fabricación; finalmente debo enfatizar de manera especial que el modelo matemático de análisis de capacidad de trasmisión mecánica, se puede usar para analizar la capacidad de generación eléctrica, como una forma de análisis rápida.

Orozco en 2011 realizó la tesis de Maestría: Diseño y Construcción de un Prototipo de una Turbina para Generación de Energía Eléctrica en una Microplanta, en el Instituto Politécnico nacional escuela Zacatenco (14). La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: Según Orozco , al realizar la investigación de Maestría, argumenta que este tipo de turbina se puede utilizar como modelo basado en una turbina tipo hélice que es el sistema que desarrolló teniendo una mejor eficiencia, se debe tener en cuenta que el diseño analizado intenta mejorar el diseño del inyector de la turbina Pelton, la modificación que hizo fue en base a sus conocimientos adquiridos por el trabajo que realiza, sin embargo, el diseño no mejora la eficiencia de la turbina, aunque se puede usar como una fuente de generación alterna para zonas que posean un nivel de altura y un caudal bajo. En su investigación logró mejorar la

eficiencia de generación a través de la modificación de los elementos de diseño, así como también, modificar los materiales de la turbina que son importantes. El ingeniero desarrolló su investigación a través de un análisis experimental de campo, llevando el producto a la fabricación y evaluando los valores eléctricos obtenidos por una máquina acoplada a la turbina. El autor sustenta que el diseño de turbina con hélices es la más adecuada para la realidad que él ha simulado, obteniendo una eficiencia de producción del 33% del sistema desarrollado, con una potencia generada de 6.6w; el material que ha utilizado para las cucharas de la turbina es de madera, explica que es debido a que son más adecuadas al trabajo experimental que el desarrolló. La metodología que realizó fue el experimental con dos diseños de prueba, por lo que después de calcular la mejor opción, como lo realizó el Ingeniero, es construirlo y experimentarlo con datos reales. Después de analizar la metodología de solución del sistema que propuso este autor, se puede extraer una metodología de solución que profundice la realidad, y que contraste los datos obtenidos por el análisis de solución, por lo que desarrollar un prototipo real, es lo más adecuado después de terminar la evaluación virtual del sistema desarrollado; en tanto con las conclusiones, resalta que el uso de un generador de imanes permanentes podría ser una de las maneras más adecuadas para mejorar estos tipos de generación. En la presente investigación se utilizó el diseño de soluciones, evaluando el desarrollo de una hélice de la turbina, fundamentando su eficiencia con modelos matemáticos y metodologías de diseño biomimético o de biosimbiosis.

Maglic en 2012 realizó la tesis de Maestría: Biomimicry: Using Nature as a Model for Design, en la University of Massachusetts Amherst (15). La investigación llegó a las principales conclusiones: Actualmente no existe una metodología de diseño

basado en análisis biomimético o de biosimbiosis, por lo que las bases teóricas de esta tecnología es muy limitada, el autor de la investigación explica un factor de esta tecnología para un adecuado proceso, “El análisis comienza a remodelar y eliminar el material que es innecesario para formular un sistema estructural completamente optimizado” (15), el diseño de nuevos sistemas aerodinámicos, que estén a la altura de los elementos desarrollados y mejorados por los últimos avances tecnológicos, es un gran problema, debido a que la mayoría de investigadores, en el afán de mejorar la eficiencia, tratan de solucionar estas pequeñas deficiencias modificándolos de su forma original, a través de estos medios se ha conseguido un gran avance, pero cada dispositivo que tratan de mejorar llega a un límite en el cual ya no es posible mejorarlos. La investigación mencionada de Maglic, tiene muchas ventajas de diseñar nuevos modelos mediante este método. Cuando se encontró la idea de esta investigación, se trató de encontrar una forma de generar energía eléctrica que fuese un diseño innovador el cual no trate de diseñar un prototipo de turbina enfocado en la modificación de alguna característica de las turbinas hidroeléctricas conocidas, fundamentando en que existe para cada diseño un límite en el cual ya no se puede mejorar la eficiencia de manera significativa, por lo que invertir tiempo en ese tipo de investigación no sería la manera más adecuada de solucionar algunos de los problemas de generación hidráulica. El lugar en donde se desea implantar el diseño, debe poseer las características adecuadas para que el prototipo sea el más adecuado para generar energía, puesto que se trata de un diseño de adaptación de la naturaleza, en este caso una flor, que tiene características acuáticas relativamente únicas para este trabajo. El autor de la investigación explica algunos ejemplos del desarrollo de esta tecnología, en el caso de esta investigación considero que es una de las formas más adecuadas para generar un diseño óptimo.

Después de analizar y demostrar que el diseño mediante la adaptación a la naturaleza, es beneficioso para los humanos y para el medio ambiente, puesto que el fin que se propone esta investigación se enfoca en solucionar un problema, pero trata de evitar que esta solución se convierta en un problema más adelante. Debido a la estructura de optimización de la naturaleza, este método ayuda a reducir el tiempo de esquematización del diseño necesario para la investigación, ya que ayuda a mejorar la forma de diseño de forma sostenible. El instrumento de estudio que el autor utiliza es el análisis cualitativo de los proyectos realizados por diferentes investigadores, y estudiar cuáles son las ventajas de desarrollar un producto con estas características, estimando el impacto ambiental que estos proyectos han generado, además de completar esta investigación considerando la optimización como resultado eficiente del proyecto. En esta investigación se pretende elaborar un diseño óptimo, que tenga un impacto negativo muy bajo, es lo que muchos investigadores enfocados en propuestas de nuevas tecnologías desearían.

Rodríguez en 2016 realizó la tesis de pregrado: Análisis CFD de un Álabo del Último paso de una Turbina de Vapor, en la Universidad Politécnica de Madrid (16), La investigación llegó a las siguientes conclusiones: Muchos de los trabajos de evaluación de componentes hidráulicos mediante software de simulación computacional de fluidos, se orientan a evaluar el comportamiento de esfuerzos que soportan los componentes, el cual solo es una interpretación de lo que están observando, en el caso del autor de la investigación menciona que el paquete informático sirve para resolver modelos matemáticos del comportamiento que sufren las hélices, el cual ayuda a resolver problemas multifísicos (16), añadiendo características especiales del uso para

el cual está destinados estos tipos de rotores. La metodología de análisis es importante para determinar valores de comportamiento real, por lo que obtener datos, llevarlos a modelos matemáticos para determinar la energía eléctrica obtenida, es esencial para determinar la fiabilidad del desarrollo del proyecto. Que existan investigaciones que demuestran que los datos obtenidos por las simulaciones de software especializados, tengan una gran semejanza de resultados con las ecuaciones fundamentales, nos entrega fiabilidad para usar este software como instrumento de estudio. El autor de la investigación resalta que para realizar un trabajo mediante este software es esencial el planteamiento físico, con el fin de obtener la distribución de velocidades a los que está sometido el rotor por el paso del vapor, el cual, para una simulación con semejanza a esta investigación, es menester obtener la distribución de velocidades a los que está sometida el hélice como unidad básica de estudio inicial. El resultado fundamental que logra el software que analiza los valores de velocidad del rotor, se asemeja al razonamiento físico, que realizó como metodología de la investigación, demostrando que ha funcionado también para los problemas planteados en su investigación. El autor utiliza la metodología para el diseño que es el planteamiento físico, el cual se enfoca en analizar la geometría del modelo analizando una dimensión en 3D del álabe, de esta manera, después de simular el esquema del diseño obtiene valores finales de tensión, el método en como el autor trata de resolver las condiciones finales del rotor es diferente a como otros lo han realizado, en parte ayuda a reducir procedimientos de trabajos, pero cuando realiza esto, se pasa por alto pasos que podrían ser fundamentales. Según Rodríguez explica que las tensiones mecánicas son mayores en la base del álabe, por lo que en su diseño proyectarlo con una capacidad más ancha justifica el propósito, el desplazamiento sufrido en la punta del álabe, anticipa que se deba construir con un

material que soporte esfuerzos a la deformación en las partes más alejadas de la base de la turbina, debido a las altas velocidades que alcanza estos tipos de turbinas, es muy común encontrar a través del tiempo de funcionamiento que la punta del álabe se deforme a causa de la densidad del fluido u del sonido producido por la velocidad.

Gaitán en 2017 realizó la tesis de Maestría: Validación del comportamiento de un Rotor Eólico Biomimético Mediante un Modelo Supervisado en CFD, en la Universidad Nacional de Colombia (17). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: El autor explica que su diseño llegó a funcionar a una cierta velocidad del viento, esto implicaría que, de todas maneras, en el diseño de esta investigación se debería evaluar entre que cantidades de caudales va poder funcionar el prototipo y en qué valor del caudal se logró tener una cantidad de potencia adecuada para el funcionamiento de la turbina diseñada. En muchas investigaciones de generación eléctrica con energía eólica, los generadores por lo general tienen un C_p . (Coeficiente de Potencia), que es la generación que podría alcanzar un sistema, esta constante depende de los elementos mecánicos del aerogenerador, en nuestra investigación se debe evaluar con cuidado el uso de estas variables y su operacionalización, porque tienen una relación en casi todas las formas de generación eléctrica que usan la energía cinética de algún fluido, ya que se evalúa de diferente manera esta generación eléctrica para un sistema hidráulico ,que implica el caudal, la densidad del agua, altura, gravedad. Según el autor realiza el análisis computacional del fluido de la turbina eólica de eje horizontal que ya fue diseñada, en esta etapa de la investigación de la Turbina UN-V1, para predecir las características de operación del rotor, para determinar parámetros eléctricos como a potencia y el toque que pude llegar a generar, en este caso

el autor describe que el elemento natural que tomó como referencia para su diseño fue la flor *Petrea Volubilis*, para poder analizar realiza el diseño en un software CAD y evaluarlo con el software Open Foam. En el momento de la simulación el investigador considera turbulencias para su diseño, en los cuales los llega a simular y fundamenta que esta simulación con los datos experimentales que se llegarán a tener, podrían tener un error del 5% por que se ha tenido en cuenta la mayor cantidad de variables en su diseño, de esta manera al momento de ejecutar estos proyectos, no sean tan amplios los resultados. El instrumento de estudio que utiliza el autor es el software OpenFoam, describe que este software es de uso libre, mientras que el Software ANSYS es con una suscripción que requiere de pago, aunque resalta que la diferencia en los resultados tiene un margen del 2%. El software evaluando de manera objetiva, demuestra que es un instrumento muy útil, que tiene una fiabilidad considerable, puede ser uno de los softwares que se puede usar para desarrollar esta investigación. Los datos obtenidos por medios experimentales y teóricos no llegan a ser tan amplios, los softwares de simulación que utilizó para su ejecución virtual fue el OpenFoam, y señala que también podría a ser simulado con el software ANSYS, pero el inconveniente es que el primero es libre y el segundo tiene un costo, por ello, se decidió por usar el que no tiene costo, en nuestro trabajo se debe evaluar cuál de estos paquetes podrían ser los adecuados para mi necesidad.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Maldonado en 2005 realizó la tesis de Pregrado: Diseño de una Turbina de Río para la Generación de Electricidad en el Distrito de Mazán-Región Loreto, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (18). La investigación llegó a las

siguientes conclusiones: El trabajo de investigación desarrolla un proyecto en el que después de diseñar construye el producto y analiza el bienestar de la población alcanzada, el proceso que utilizó el autor fue que después de instalar el prototipo, se usa la turbina para recargar las baterías que usan los pobladores de la localidad, según (18) desarrolla su diseño a través de modelos matemáticos similares a los usados para determinar la potencia generada por turbinas eólicas. La manera en que el autor soluciona el problema, comienza con determinar la demanda energética de la zona, el estado hidrológico del río (Napo), analizar la ubicación del proyecto, y evaluar la cantidad de nivel de agua. Para ello utiliza el análisis experimental después de la construcción del diseño, para estos tipos de investigaciones realizar el diagnóstico de la zona del proyecto es la parte fundamental del diseño. La investigación se desarrolla en una localidad que posee recurso hídrico de forma continua, esto es una gran ventaja, y una gran utilidad de este diseño, que permite generar energía eléctrica de manera constante. Después de desarrollar el proyecto e instalarlo en la localidad mencionada, el autor menciona que la mejor manera de distribuir energía eléctrica, es a través del servicio de carga de batería, argumenta que su proyecto es usado por lo menos por una empresa, considera que existen varios lugares de la selva peruana que pueden beneficiarse de esta tecnología, ya que las características hidrográficas se adaptan al sistema de generación. Utilizó el diseño modelado por cálculos para determinar la potencia obtenida en características de turbinas eólicas, y adaptadas para generación hidráulica, en el cual tuvo que realizar modificaciones, para que los datos obtenidos sean los más acertados a la realidad. La turbina que plantea es adecuada para ríos que tengan un bajo caudal de recurso hídrico, y de baja pendiente, considera que el prototipo puede funcionar desde los 1.5 m/s de velocidad de agua. Esta investigación es una de

las primeras formas de invertir en tecnología para generar energía eléctrica en zonas que cuenten con recurso hídrico, ya que después aparecieron ONG que apoyaban este tipo de proyectos, y consideran que es lo más adecuado para la situación de estas poblaciones.

Vidal en 2010 realizó la investigación de Maestría: Análisis del Dimensionamiento de una Turbina Hidráulica por redes Neuronales para una Minicentral en la Universidad Nacional de Ingeniería (19). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: El autor demuestra una metodología que permite determinar el mejor dimensionamiento para una turbina Pelton, gracias a que los datos obtenidos por proyectos reales, el cual abastece en una base de datos llamados MERNA, y realiza estimaciones ajustadas para realizar la mejor opción de turbinas, En muy pocas investigaciones te entregan datos reales para determinar la eficacia del instrumento de investigación, ya que solo se corrobora las hipótesis de acuerdo a datos estadísticos hallados. El tema de investigación citado trata de solucionar mediante una metodología diferente y cuyo diseño adecuado es evaluado mediante un análisis de simulación con redes neuronales abastecidos con datos reales de empresas y que se acerca a condiciones verdaderas de funcionamiento. La manera en que llega a determinar la turbina adecuada, es mediante el ingreso de diferentes datos al cual va estar sometido la turbina, generalmente el relacionamiento de turbina se desarrolla a través de gráficas de caudal y la altura de caída del agua. Los resultados que obtiene con el método tradicional de seleccionamiento de turbina se acerca en gran medida al método que realiza el software MERNA, demostrando que esta metodología para selección de turbina, es la más rápida y fácil. El instrumento de investigación para el estudio es a través de datos recolectados

de empresas de generación hidráulica, y mediante estos cálculos determina las turbinas adecuadas, la manera tradicional en que se seleccionaba una turbina era muy lenta y trabajosa, debido a que se tenía que contar con la experiencia del ingeniero especialista en turbinas. Este tipo de trabajo ayuda a disminuir el tiempo y el trabajo de selección de turbina adecuada, ya que en comparación con el método tradicional y el método del autor propuestos es la más recomendable en casos en que el proceso de selección sea complejo, siendo también una alternativa viable para la generación enfocadas en energías renovables.

Peña en 2013 realizó la investigación de pregrado: Diseño de una Turbina Hidro-Cinética para Aprovechamiento Energético de Ríos no Caudalosos, en la Universidad de Piura (20). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: Es una de las investigaciones más completas que se llega a tener, en cuanto es diseño y construcción de todo el sistema que incluye además de las turbinas, el generador. El tema de investigación es muy importante porque se incluye todos los parámetros de diseño que deseo realizar, este tema de investigación tiene una relación muy estrecha con la investigación que estoy realizando, me muestra más variables de las cuales no se estaba considerando en el diseño. El tema investigado por el ingeniero Peña tiene peculiaridades en la metodología de diseño que el utilizó en el apartado anterior, se consideró algunos temas, un marco teórico y una referencia de ayuda para los cálculos que se desarrollaron con el fin de obtener los resultados esperados del diseño. Los principales inconvenientes para el diseño fue evaluar las dimensiones y las características que debía tener el diseño a ejecutar. El tema de investigación se ha desarrollado para ser utilizado en ríos no caudalosos, esto es la principal relación que

tiene esta investigación con el mío; yo he considerado oportuno el uso para zonas rurales en donde posean recursos hídricos como ríos, riachuelos, canales de regados, estos son sistemas hídricos no caudalosos en los cuales se puede investigar con más a detalle este tema de investigación, esto debido a que una buena parte de la población en zonas rurales poseen estos tipos de recursos, es por eso que he considerado desarrollar estos sistemas de producción de energía. La investigación citada ha desarrollado en gran medida una investigación en su totalidad, ya que desarrolló el sistema de generación desde las turbinas, el sistema de soporte para tener a las turbinas, el generador hasta el aspecto económico. El autor de la investigación ha utilizado como instrumento de estudio el software INVENTOR para realizar los análisis de los esfuerzos mecánicos de los elementos que constituyen el generador hidráulico y en el aspecto metodológico él ha utilizado los diseños basados en cálculos, los cuales sirvieron para analizar las turbinas, el ángulo de los álabes, La rugosidad de los álabes y los esfuerzos mecánicos. El autor de la investigación citada considera que la producción de tecnología basada en el aprovechamientos de recursos naturales de bajas cantidades, son desarrollos tecnológicos que tienen una alteración muy baja con respecto al entorno ambiental en donde se implementan estos trabajos, de esta manera son los más aptos y adecuados para generar energía eléctrica en localidades en donde consideran muy importante el tema ambiental, él enfatiza que estos sistemas no tendrán la capacidad de corregir la necesidad de consumo energético actual y el desabastecimiento en que se encuentra algunas localidades, pero es una de las mejores formas de corregir estos problemas; a mi punto de vista sé que estos sistemas de potencia tiene una baja cantidad de captación , pero si se desarrolla de una manera adecuada, con la capacidad de instalar muchos de estos sistemas de generación en un espacio más reducido, no se tendría que dejar de

lado el desarrollo de estas tecnologías, por lo que encontrarían un público adecuado en el cual tener una base de investigación adecuada.

Zegarra en 2015 realizó la investigación de pregrado: Análisis y Simulación Fluidodinámica del Fenómeno de Cavitación en una Turbina Francis, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (21). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: Verificar la operación de la turbina de la central de generación de Cahua a través del software ANSYS, y analizar el fenómeno de cavitación a través del instrumento de estudio mencionado, puesto que, es uno de los fenómenos que ha traído mayores inconvenientes a las turbinas Francis. Debido a que el autor usa como método de estudio un software de análisis CFD, mejora la capacidad de desarrollo para evaluar la respuesta al funcionamiento de la turbina, en muchos casos de estudio los problemas que se tratan de solucionar, son efectos de un diseño que no ha sido desarrollado de una manera adecuada. El autor de la investigación analiza el comportamiento y funcionamiento de la turbina Francis, para alcanzar la eficiencia correcta trata de modificar los parámetros del rodete, analizando la columna de agua en la salida frente a la eficiencia que produce. Para determinar que la variación de la cavitación está en concordancia con los datos obtenidos por la simulación al comparar el coeficiente de Thoma obtenido por modelos matemáticos, y el obtenido por el software, compara también los datos de altura de descarga, potencia, eficiencia y convergencia. El instrumento de investigación que utilizó el autor fue el análisis experimental de diseño simulado por el software ANSYS 14.2 a través de fórmulas para determinar la eficiencia, potencia y convergencia: con ello se entrega los datos necesarios para validar la simulación como un efecto real de lo que sucede con la turbina de la central de

generación de Cahua. El comportamiento verificado de la convergencia, analizado frente a la metodología de “Cavitation Pitting Mitigation in Hydraulic Turbines Volume 2: Cavitation Review and Assessment” se asemeja con el obtenido por el software, demostrando que el software ANSYS es uno de los más adecuados para verificar los fenómenos producidos por fluidos.

2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES

Carhuamaca en 2014 realizó la tesis de Maestría: Configuración del Rodete para Mejorar la Producción de Energía Eléctrica con Turbinas Michell – Banki, en la Universidad Nacional del Perú (22). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: El uso de la metodología está bien sustentada, y en la misma consideración las herramientas y técnicas de recolección de datos para evaluar la parte experimental del prototipo; a mi punto de vista considero que la metodología y las herramientas de recolección de datos son de las partes más apreciadas de esta investigación, ya que se apreció en los detalles que se considera para la configuración de una turbina para generación eléctrica hidráulica, de esa manera se podrá comparar 2 tipos de turbinas en las que el diseño de la configuración determina la captación energética. Aunque el trabajo haya sido destinado para su uso en centrales de Hidráulicas, siendo lo más importantes solo evaluar la producción de energía eléctrica mediante la configuración del rodete. El trabajo del investigador fue desarrollado para micro o pequeñas centrales hidráulicas con la finalidad de abastecer de energía a localidades alejadas del sistema de suministro de las empresas concesionarias, con respecto al tema de investigación se llega a reconocer, que las zonas alejadas del suministro eléctrico, son las poblaciones más adecuadas para el desarrollo de sistemas

de generación con energías renovables para sistemas de consumo de baja potencia, esto debido a que la mayor parte de la población que se encuentran sin electrificación pertenecen a las zonas rurales. Según la investigación de Ingeniero Carhuamaca, se puede evidenciar que se ha conseguido los resultados esperados en un principio, los cuales fueron mejorar la potencia mecánica del rodete, esto se debe a que su propuesta de configurar de otra manera el ángulo del álabe de la directriz mejora el movimiento del sistema de transmisión para el eje, evitando las recirculaciones de los fluidos al momento de que el agua llegue a los álabes, así se pudo mejorar el sistema de captación de energía. El investigador utilizó la técnica empírica, con el cual pudo obtener el sistema de información y sistematizarlo, además de usar el método de la observación para recolectar los datos de los procesos experimentales que se llegaría a constatar. Los instrumentos para recolectar los datos fueron instrumentos de medición empírica: Cinta métrica, tacómetro digital, multímetro y software de desarrollo ANSYS. Puesto que, se ha desarrollado en forma de simulación la parte preliminar que debe poseer la turbina, se ha llegado a la conclusión de que la configuración del rodete para mejorar la captación de energía, si cumple con su objetivo planteado en el cual se agrega que se debe realizar para su construcción los planos a detalle de la turbina mediante la investigación que él desarrollo. Las turbinas Michell-Banky son libres de mantenimiento, pero los rodajes por el uso constante al que es expuesto debe considerar el cambio de los rodamientos.

Mayco en 2014 realizó la investigación de Maestría: Optimización de los Factores de Operación para Mejorar el Rendimiento de la Pico Turbina Michell-Banki, en la Universidad Nacional del Perú (23). La investigación llegó a las siguientes

conclusiones: De acuerdo al autor, la aplicación de la metodología de superficies de respuestas en la investigación experimental, es un importante método en la optimización para el análisis de turbinas, verificando las respuestas de funcionamiento virtual a los que son sometidos los diseños en esquemas CAD. Se deben desarrollar esquemas basados en teorías de operación que son las más adecuadas, puesto que, en gran parte, estos cálculos fueron obtenidos a través de métodos de experimentación y error, muchos de los cuales tienen bases científicas de funcionamiento real de turbinas. También debe desarrollar sistemas a través de diseños simulados, es la manera más adecuada de evaluar el modelo de observación experimental, que permite obtener los datos sin construir modelos físicamente, reduciendo costos innecesarios de fabricación. Debe usar simulaciones para evaluar sistemas, pues, es la forma más óptima de desarrollar nuevas tecnologías. El autor desarrolla este sistema de generación eléctrica, para zonas rurales en las que la distribución de energía a través del sistema interconectado no es posible, enfatiza que desarrollar sistemas de generación aislada es la forma más adecuada de electrificación rural. El autor describe que después de desarrollar el sistema el tratamiento número 14 (acd: +--+) es el que obtiene mayor rendimiento, obteniendo 65% de eficiencia, el modelo matemático que describe el funcionamiento de la turbina, la calidad en el proceso de simulación no muestra comportamientos atípicos, los cálculos analíticos de la turbina, generan parámetros para la entrada en la simulación. Para analizar el experimento se desarrolló el diseño factorial 2^4 analizando cuatro factores que pueden mejorar la eficiencia de la turbina. En el diseño del tratamiento se realizó el diseño de prueba, se modeló el diseño en formato CAD, después se realizó la experimentación, finalmente se obtuvieron los datos y se realizó el análisis y la discusión de estos. Realizó 16 tratamientos en los

cuales generó 3 réplicas, obteniendo 48 observaciones, las pruebas estadísticas como análisis son el análisis de varianza, el análisis de regresión para determinar el sistema estadístico, para validar la hipótesis se utilizó la distribución F. En el proceso del análisis computacional dinámica de fluidos, realiza una aproximación discreta a una variable continua, demuestra que el uso de software para analizar los procesos experimentales, es un método de estudio muy confiable, demostrando que los resultados obtenidos experimentalmente, se asemejarán a la realidad, obteniendo datos de las observaciones necesarias para demostrar la funcionabilidad de un modelo virtual diseñado.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ENERGÍA ELÉCTRICA

2.2.1.1. ENERGÍA

Según Carta y otros (2012), en el campo de la física, se define la energía como una «propiedad» de los cuerpos o sistemas materiales en virtud de la cual estos pueden transformarse (a sí mismos), modificando su estado o situación, así como actuar sobre otros cuerpos, originando transformaciones. La energía indica la capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no (24).

La energía expresada matemáticamente se expresa como la capacidad de realizar cierta cantidad de trabajo en un espacio de tiempo, podemos inferir que la energía es la fuente que necesita cualquier ser biótico para vivir, y maquinaria para funcionar, debido a la capacidad

limitada de las personas de conseguir energía y transportarla para realizar trabajos, en el libro de Aguet y Morf Energía Eléctrica 1988 la energía eléctrica es un vector de energía que se destina a cualquier uso térmico, mecánico, electroquímico, luminoso (25).

Para Castelfranchi en su libro de centrales eléctricas del año 1982, define energía como elemento esencial para aumentar la producción de bienes y que la productividad guarda una relación directa con la energía incorporada en ella (26). Como podría apreciarse se examina el consumo comercial de energía y de electricidad por cada habitante en los diferentes países del mundo; BP- Statistical Review en 2008 citado en el libro de centrales eléctricas con energías renovables de Carta y otros declara que el consumo de energía en el mundo ascendió a 110993 millones de Tep. Un 36.5% correspondió a petróleo, un 23.8% a gas natural, un 28.6% a carbón, un 5.6% a nuclear y un 6.4% a energías renovables (24)

A través del tiempo el hombre ha necesitado de energía basándose en su alimentación, pero ha modificado su estilo de vida consumiendo más energía de lo que necesita, para determinar la capacidad de consumo de una población se tiene que analizar el consumo actual por habitante, diferenciándose entre el consumo de energía primaria y el consumo de energía útil, siendo esta menor al consumo de energía primaria.

Las sociedades o centros de consumos tienen una forma en que se controla su consumo de energía, y es a través del uso de la energía eléctrica. Actualmente la sociedad con los avances tecnológicos, apunta a consumir más energía eléctrica, dejando de lado vectores de energía que son y lo consideran como fuentes de energía contaminantes.



Figura N° 12: Consumo Eléctrico en el Perú 2017

Fuente: <https://elcomercio.pe>

Su forma de consumo fuera de la energía primaria y energía útil (térmico, mecánico, electroquímico, luminoso) es el consumo de kWh que es la energía producida a través de una central generadora, transportada a largas distancias por líneas de transmisión, donde subestaciones de potencia dirigen la energía a centros de consumo industrial o lo destinan a los centros de consumo de baja tensión.

Para hallar el consumo per cápita de energía eléctrica estimada para un determinado momento, se calcula de la siguiente fórmula:

$$CEH_{jt} = \frac{CEC_{jt}}{P_{jt}}$$

Donde:

- CEH_{jt} , es la tasa cantidad de energía eléctrica que en promedio ha sido consumida por habitante (expresada en kWh/hab.), en el país j (Perú), en el momento t (2017).
- CEC_{jt} , es la cantidad de energía eléctrica consumida en el país j (Perú), en el momento t (2017).
- P_{jt} , es la población del País j (Perú), en el momento t (27)
- $CEC_{jt} = 52\,643\,000$ kWh per cápita MEM citado en (28)
- $P_{jt} = 31\,237\,385$ Habitantes
- $CEH_{jt} = 1.685$ kWh/Hab

Al desarrollar la siguiente ecuación con los datos del MEM, y del INEI se puede observar que se tiene un consumo promedio de 1.685 kWh por habitante en el año 2017, tenemos que este consumo eléctrico es un promedio de consumo eléctrico de los habitantes existentes despreciando la edad, el género, número o sector social, esto quiere decir que cada persona del Perú consumió la cantidad de 1.685 kWh de energía eléctrica en el año 2017. La curva que describe el consumo se aprecia en una ecuación exponencial, se puede argumentar que el consumo eléctrico en el Perú viene creciendo

de una forma rápida, es por eso que se debe plantear nuevas formas de generar energía eléctrica a baja y alta capacidad de generación eléctrica.

2.2.1.2. MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA

Energía Gravitacional: Es la energía que se manifiesta por la atracción de dos masas entre sí, sean dos cuerpos celestes (la Tierra y la Luna, por ejemplo), dos masas cualesquiera o dos neutrones (24).

La realidad es que cada masa crea a su alrededor un **campo gravitatorio**, que atrae a cualquier otra masa que caiga en su campo de acción.

La fuerza con la que se atraen es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

$$F = k \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

- Energía Cinética: Es la energía implícita en una masa en movimiento. Para una masa m , que se desplaza a la velocidad v , la energía cinética vale la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad.

$$W = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

- Energía Electroestática: Es la energía que se manifiesta por la atracción o repulsión de dos cargas eléctricas entre sí. Si son de diferente signo se atraen y si son del mismo signo se repelen.

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

- Energía Electromagnética: Una carga eléctrica en movimiento (o un conjunto de éstas formando una corriente eléctrica, por ejemplo), crean a su alrededor un campo electromagnético, que actúa no sólo sobre cargas eléctricas, sino también sobre imanes (cuerpos magnetizados).

Teniendo en cuenta que la materia está compuesta de electrones y estos están en movimiento, todos los cuerpos irradian energía electromagnética en más o menos cantidad (al tiempo que también la reciben, si se encuentran en equilibrio).

- Energía Nuclear o Energía Atómica: Es la energía almacenada en los núcleos de los átomos, en el momento de su formación, y la que mantiene unidos a los protones y los neutrones (fuerzas nucleares fuertes y débiles).

A través de estas definiciones de la energía, el trabajo, la potencia y las formas de energía, se puede inferencia que la energía eléctrica no es una energía natural (aquella energía que nace de las leyes fundamentales de la naturaleza), es una energía indirecta o secundaria, producida por el cambio de una de las manifestaciones de la energía. La energía eléctrica como se viene sustentando en el presente trabajo de sustentación, la energía eléctrica es producida, por lo que la variable dependiente de investigación, sustenta su definición física-matemática, que no es solo la energía eléctrica, sino la producción de energía eléctrica.

Muchas de estas definiciones con respecto a energía, trabajo o potencia, son muy importantes, porque cuando queremos desarrollar una investigación las definiciones correctas, nos llevarán por el camino correcto, para determinar qué es lo que se está buscando, por ejemplo, si en este proyecto se hubiera sustentado buscar cuanto es la capacidad de potencia que genera la turbina, hubiese sido un trabajo en vano, evaluar generadores, analizar el los elementos eléctricos, entonces esta investigación estaría orientada para una facultad de ingeniería mecánica, industrial, o de diseño simplemente, y no de ingeniería eléctrica. Es por eso que se debe conocer bien de que se está hablando en la presente investigación.

2.2.1.3. LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DE LA TIERRA

La energía de la tierra es un concepto relativo, debido a que la energía en sus múltiples manifestaciones, realiza un cambio constante entre la tierra y el sistema solar, en donde la energía del planeta fluye hacia el exterior, y las energías del exterior fluyen hacia la tierra, entonces el planeta se encuentra en un constante proceso de emisión y recepción de energía. Las manifestaciones de energía, que describimos en su gran mayoría se encuentran en la forma de energía nuclear, contenido en los núcleos de la materia, seguida de la energía electromagnética este tipo de energía provienen del sol, finalmente la energía gravitacional producida por la fuerza de atracción gravitacional del Sol-Tierra-Luna, debido a la capacidad tecnológica de captación del ser humano, solo una pequeña está disponible para su utilización.

2.2.1.4. ENERGÍA HIDRÁULICA

Se puede observar en el gráfico anterior que existen muchas formas de energía, pero en esta investigación se va a tratar de profundizar la forma de energía hidráulica, debido que es el recurso energético fundamental, para generación hidráulica.

En teoría, la energía hidráulica es la contenida en una masa de agua elevada respecto de un nivel de referencia (de utilización).

En la práctica, la energía hidráulica se obtiene a partir de cualquier masa de agua en movimiento. Tal puede ser el caso de la corriente de un río, como la corriente que discurre por un tubo originada por una diferencia de altura entre dos pantanos. En ambos casos, la energía potencial del agua se transforma en energía cinética, y ésta es la aprovechable.

Su origen es la evaporación del agua (en el mar, tierra, pantanos, etc.) por la acción de la energía solar y que cae en forma de lluvia o nieve en cotas altas de la superficie terrestre. Es, por tanto, un pequeño porcentaje de la energía solar que llega a la Tierra.

La energía hidráulica constituye una de las energías renovables más importantes del planeta. La energía potencial del agua se transforma en energía cinética y ésta a su vez en energía mecánica, por medio de las

turbinas hidráulicas, colocadas en la base de los correspondientes embalses reguladores.

El empleo de la energía captada es, casi exclusivamente, para la producción de electricidad, acoplando a la turbina hidráulica un generador eléctrico.

2.2.1.5. ENERGÍA PRIMARIA

Energía primaria, es la que se encuentra lista para ser usada en una central, tales como el carbón, petróleo, gas, nuclear, renovables (en origen). En gran cantidad estas fuentes de energías primarias se usan para generación de energía eléctrica, del cual ya comentamos que la mayor cantidad de consumo corresponde al petróleo 35.6%, y la que no tiene un gran consumo es la energía hidráulica y otras energías renovables con 6.4%. Es apreciable la diferencia que existe entre la cantidad de consumo de estas fuentes primarias, la población mundial esperaría que el consumo de energía provenga de fuentes que no sean contaminantes como característica principal, aunque la principal debilidad de las fuentes energéticas primarias que más se están usando en la actualidad, es que se agotan y no pueden ser remplazadas, el problema de generación energética por estas fuentes actualmente, sería un inconveniente, pero debido a que el crecimiento poblacional sigue en aumento, se debería buscar otras alternativas de generación teniendo como principal característica su relativa forma inagotable, este es el caso de energías primarias hidráulicas y de energías renovables. Considero que la baja

cantidad de consumo de parte de estas energías se debe al poco desarrollo tecnológico de captación de estas fuentes, y es muy apreciable en los sistemas de generación eléctrica con energía hidráulica, que es muy común encontrar, estableciendo algo específico, el uso de turbinas que se usan desde hace mucho tiempo por las centrales generados, y no se ha desarrollado con gran capacidad innovación en los diseños de captación hidráulica, esto provoca que el consumo de estos tipos de energía, no mejore en sus niveles de consumo.

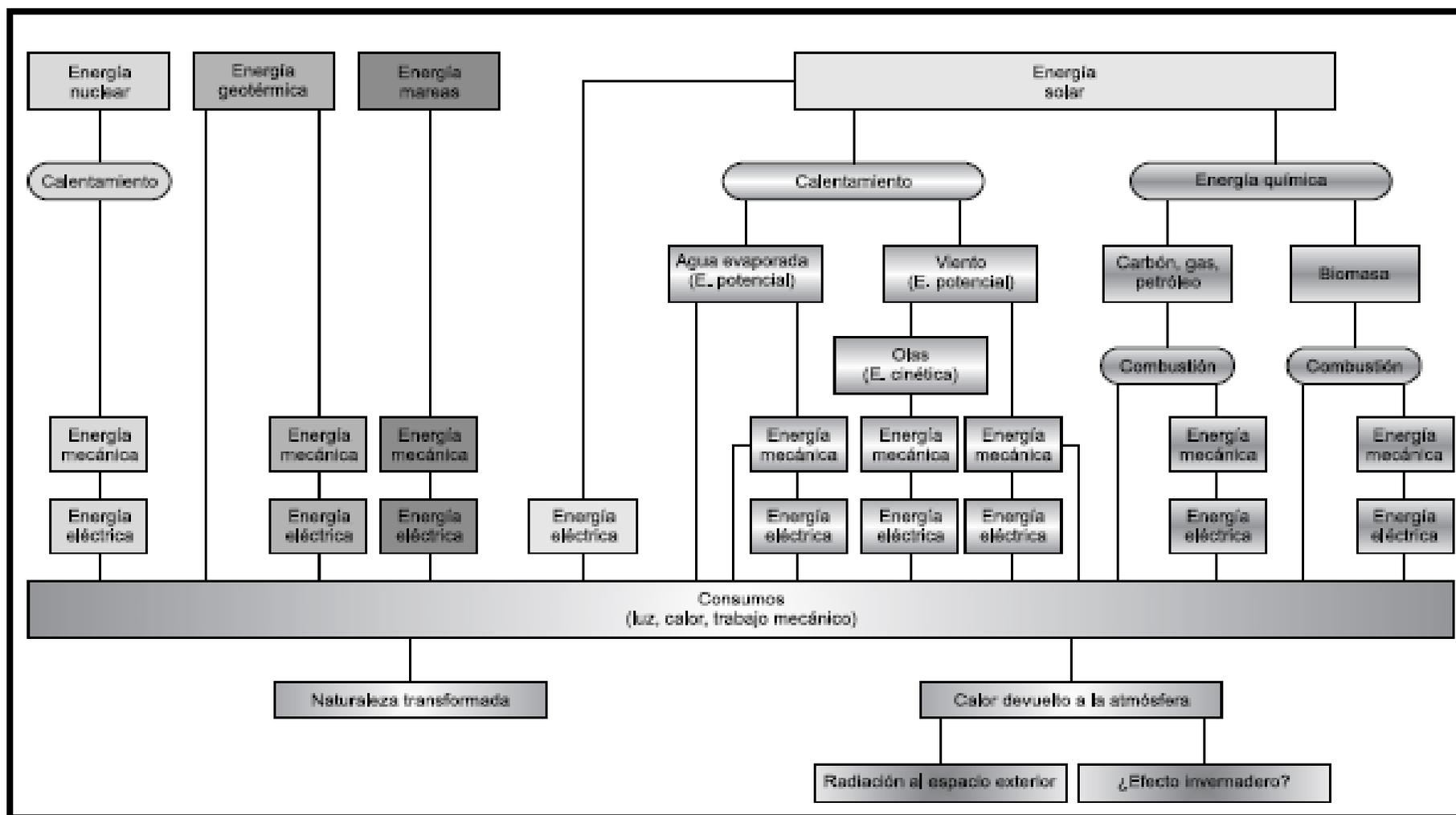


Figura N° 14: Transformaciones energéticas más usuales

Fuente: Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables

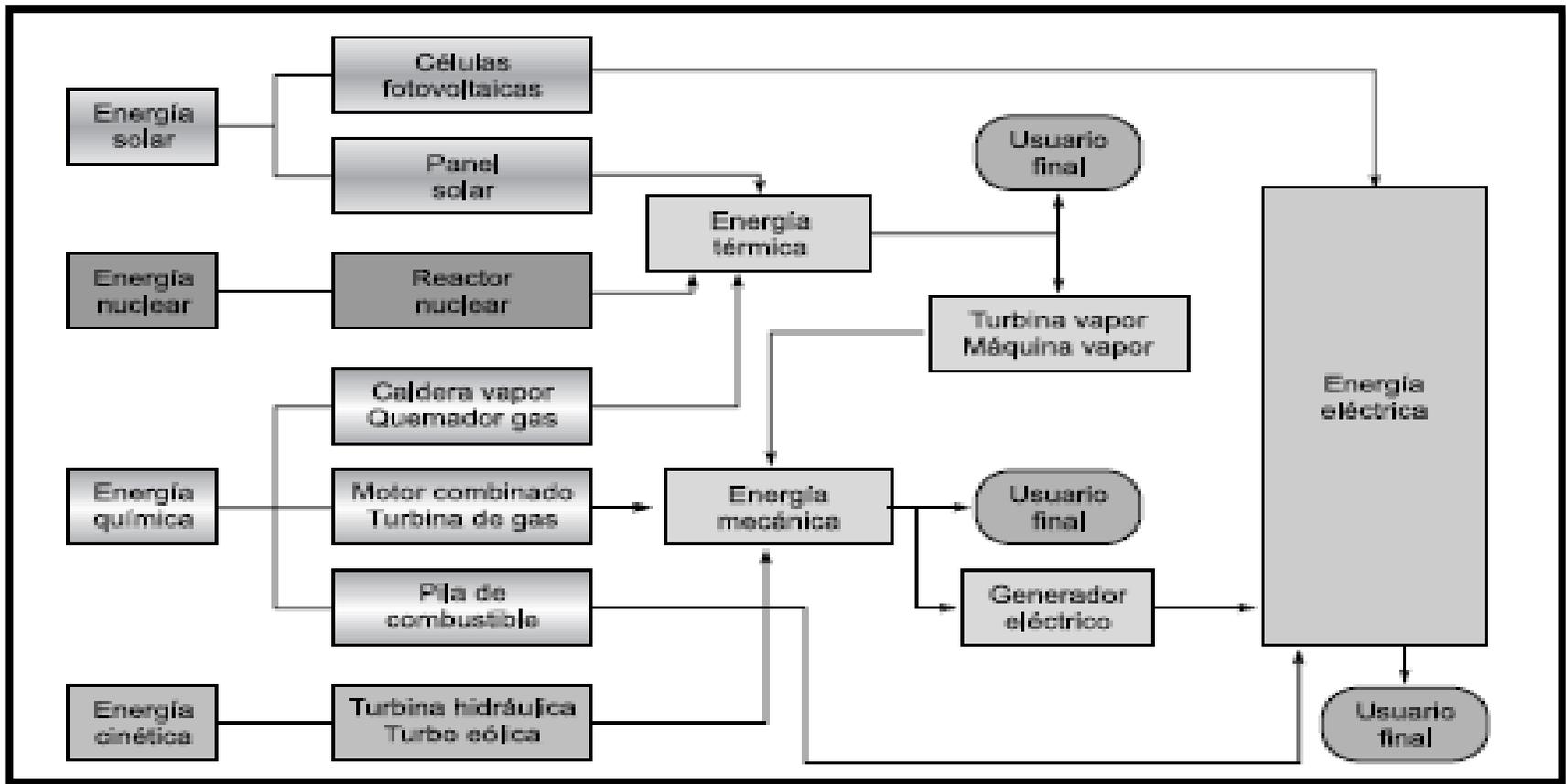


Figura N° 15: Equipos empleados en transformaciones energéticas

Fuente: Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables

2.2.2. DISEÑO BIOMIMÉTICO

- **Biomimética**

Según Benyus (2011), declara que la biomimética o biosimbiosis (Biomimicry) es innovación inspirada en la naturaleza, es el proceso de mirar un elemento natural y tratar de diseñar la mejor adaptación de este elemento.(29)

Biomimicry Institute en 2015, citado en el artículo de Sánchez del 2017 Biomimética: una metodología de diseño sostenible. Declara que biomimética es la práctica de aplicar las lecciones provenientes de la naturaleza y se enfoca en el entendimiento, la aprehensión y la emulación de estrategias utilizadas por seres vivos con la intención de generar soluciones sostenibles (30). Dichas soluciones se pueden materializar a través de tres niveles que van desde lo más superficial hasta lo más profundo de la disciplina.

- **Niveles de la Biomimética**

A) **Forma:** Es la imitación de los rasgos formales de los seres vivos. Estos rasgos están supeditados a una o varias funciones específicas. Por ejemplo, generar formas que se asemejen a los dientes del tiburón para cortar objetos con el menor esfuerzo posible. Este nivel de materialización es inicial porque puede o no conllevar sostenibilidad.

B) **Proceso:** Este nivel involucra todo lo relativo a procesos naturales y cómo se pueden reproducir en un diseño o tecnología. Por ejemplo, los dientes de tiburón se restituyen de manera sistemática y sincrónica, sin derroche

de ningún tipo de elemento o energía. En este nivel, la sostenibilidad es parte integrar el resultado.

- C) **Sistema:** Esta fase implica la integración de las partes en el todo, representa el cómo nuestros productos son ingredientes de un sistema amplio y complejo, donde se interrelacionan de manera orgánica. El tiburón forma parte de una cadena alimenticia que a su vez se integra en un ecosistema que forma parte de un ambiente, donde se alimenta, respira, reproduce, muere, descompone y da paso a otros procesos dentro de esa misma dinámica. Esto es precisamente lo que define si un producto es parte o no de un sistema. Si un producto en su ciclo de vida interrumpe algún proceso dentro del sistema, no se puede considerar sostenible.

- **Biónica**

Etimológicamente, proviene de la unión de las palabras “biología” y “electrónica”. Su finalidad es la creación de diseños mecánicos que imiten organismos vivos o partes de estos. Es importante señalar que la biónica no implica un diseño de tipo sostenible (30).

- **Biomorfismo**

Benyus (1997) citado en el artículo de Sánchez 2017, son tecnologías o diseños que lucen como algo natural, pero que no imitan realmente la forma, proceso o sistema. Estos productos explotan el elemento estético formal y semiótico, pero no implican sostenibilidad (30).

- **Ecodiseño:**

no es más que la metodología de diseño que se enfoca en una o varias de las etapas del ciclo de vida del producto, como indica Jones (2011) citado en Biomimética: una metodología de diseño sostenible, las cuales son: producción (desarrollo, aprovisionamiento, manufactura, transporte, etc.), uso y reciclaje. Se basa en la premisa de que si el producto o servicio respeta al menos un punto dentro del ciclo completo se está generando desarrollo sostenible. Esta metodología, aunque encierra buenas intenciones, no se puede considerar como solución a la problemática moderna, pues no provee una solución holística. Por ejemplo, si tenemos una fábrica que produce tejidos ecológicos libres de químicos que afecten el medio ambiente y a su vez es transportada en camiones que expulsan gases tóxicos a la atmósfera, no se puede considerar que sea un proceso que contribuya a un desarrollo sostenible.

2.2.2.1. PRODUCTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

A) Reflectores de Luz

Los ojos de los gatos tienen la capacidad de reflejar cierta cantidad de luz. Tomando en cuenta esa capacidad de los ojos de los gatos, Percy Shaw en 1935 diseñó reflectores de la luz de los automóviles que son usados para marcar los márgenes de la carretera y divisores de carriles (31).



Figura N° 16: Ojos de gato y reflectores de luz

Fuentes: Bio-Innovación

EL invento desarrollado por Percy Shaw es una muestra clara de la facilidad de crear diseños innovadores a través de sistemas vivos, en este caso los ojos de felino, él desarrolla este invento a través fundamentado la función de la característica esencial del ser vivo (la reflejo de la luz cuando se proyecta un poco sobre los ojos de los gatos) y usándolo para sistemas únicos (Carreteras oscuras) desarrollar un proyecto eficiente, a causa de que la instalación de estos sistemas son esenciales en carreteras de tramo largo, y que no tengan una iluminación adecuada.

B) Ropa Termoreguladora

Los conos de pino se abren cuando hace calor y cierran cuando hace frío. Inspirados en el comportamiento de los conos de pino la

industria textil de ropa inteligente creó un producto innovador en textiles llamado ropa termorreguladora (31).



Figura N° 17: Conos de pino y la ropa termorreguladora.

Fuente: Bio-Innovación

El diseño termorregulador fue diseñado a través de la observación de los conos de pino, debido a que cuando estos elementos se encuentran cerca de una fuente de calor, los pétalos se abren permitiendo que el calor incida también en la parte interna del cono, y cuando hay una disminución de la temperatura cerca del ambiente del cono de pino este se cierra, permitiendo que el núcleo del pino no sufra los estragos del ambiente.

C) Tren Bala Japonés

El pájaro Kingfisher o pájaro Martín Pescador común es una especie de ave que habita en lagos y ríos de Europa, África y Asia. (31).

El desarrollo de este producto es uno de los conocidos para proyectos basados en diseño biomimético, este diseño fue adaptado por la capacidad que tiene el pájaro Martin Pescador para entrar en el agua y pescar su comida, esta forma en la parte frontal del tren bala permite viajar a alta velocidad, evitando que la fricción producida por la alta velocidad dañe el tren y que se desplace sin que se reduzca la velocidad.

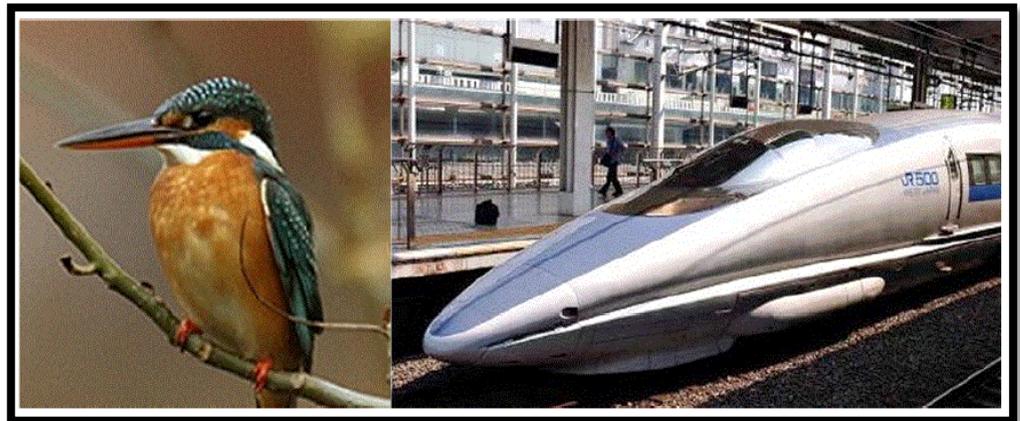


Figura N° 18: Pájaro Kingfisher y el tren bala

Fuente: Bio-Innovación

D) Turbina de Viento

La ballena jorobada (Humpback Whale) es generalmente de color negro con alertas dorsal baja de tipo triangular, pequeña y se encuentra a $2/3$ de la distancia desde la cabeza. (31)

La ballena jorobada tiene un largo aproximado de 13 a 16 metros y se alimentan de krill (crustáceos tipo camarón), con cardúmenes de peces pequeños y plancton. (31).

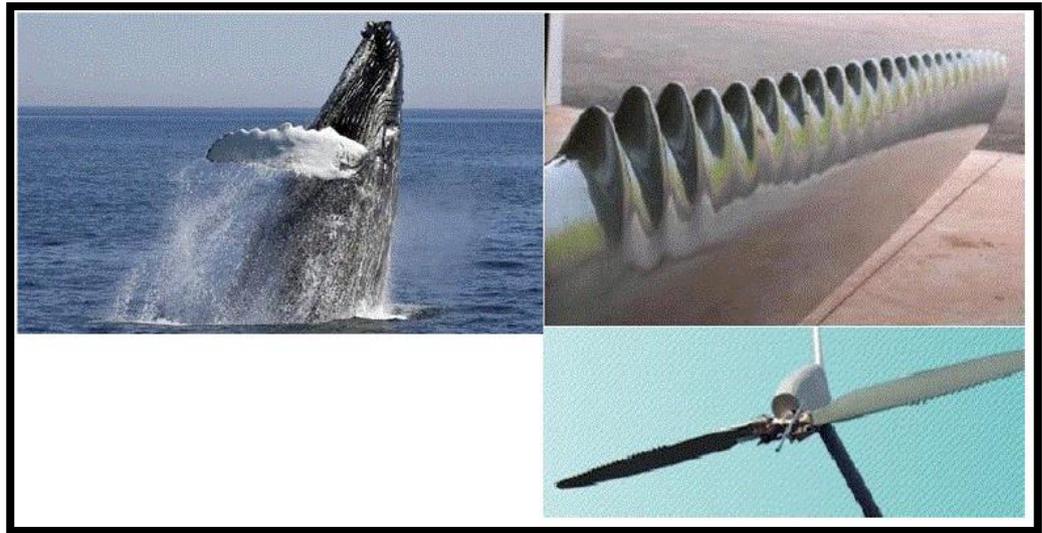


Figura N° 19: Protuberancias de las aletas de la ballena y hélices eólicas

Fuente: Bio-Innovación

Este diseño es la idea básica de diseñar proyectos de basados en la adaptación de la naturaleza, la forma ala de la ballena permite a la ballena a ir a una velocidad mayor, para alimentarse, debido a que cada brazada que da, se desplaza en forma óptima disminuyendo la resistencia y aumentando el flujo dinámico. Adaptando este diseño a tecnología de las hélices de las turbinas eólicas pueden funcionar a bajas velocidades.

2.2.3. TURBINAS HIDRAULICAS

La turbina hidráulica es el dispositivo encargado de convertir la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación de un árbol, el cual se conecta al árbol de baja capacidad de una caja multiplicadora de engranajes con el propósito de elevar las revoluciones hasta la velocidad de rotación de un generador eléctrico acoplado al árbol de alta capacidad de dicha caja.(24)

En cuanto al modo de funcionamiento, las turbinas se pueden clasificar en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

Las **turbinas de acción** aprovechan la presión dinámica debida a la velocidad del agua en el momento del funcionamiento en la turbina. Las **turbinas de reacción** aprovechan además la presión estática al trabajar en el interior de compartimentos cerrados a presión superior a la atmosférica.

2.2.3.1. TURBINA PELTON

Es la turbina de acción más utilizada, en el rodete se encuentra un sistema similar a cucharas, no presenta una característica resaltante de su sistema de admisión de agua, sino que, su admisión del fluido lo realiza mediante una tubería forzada; la fuerza cinética del fluido golpea a las cucharas en dirección tangencial al rodete y perpendicular a su eje de giro. La turbina Pelton es de admisión parcial por que la turbina se encuentra en contacto con el fluido solo en los lugares donde impulsa el agua por los inyectores, el resto no tiene contacto con el agua

2.2.3.2. TURBINA FRANCIS

Son del tipo de admisión total por que se encuentran sumergidos en su totalidad para que mejore la eficiencia de generación, estos tipos de turbina se componen de una cámara de alimentación, pre-distribución, distribución, rodete y tubo de aspiración, esta turbina tiene la característica de ser radial-axial, debido a que cambia de dirección

cuando el agua pasa por la turbina; cuando ingresa lo hace de manera radial y cuando sale lo hace de manera axial.

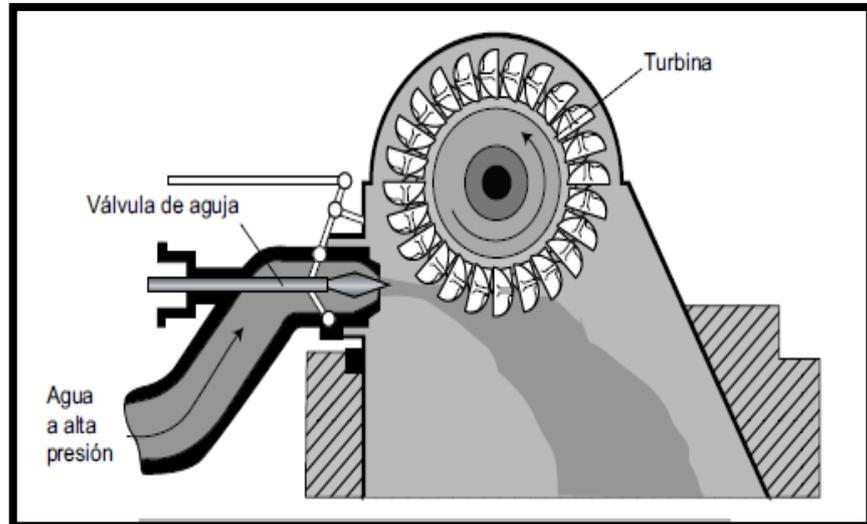


Figura N° 21: Esquema conceptual de una turbina Pelton

Fuente: Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables



Figura N° 20: Esquema conceptual de la turbina Francis

Fuente: Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables

2.2.3.3. TURBINA KAPLAN Y SEMI-KAPLAN

Cuenta básicamente con los mismos componentes de la turbina Francis, sin embargo, el rodete de la turbina a diferencia de la turbina Francis, está compuesta por una hélice cuyas palas son ajustables, lo que proporciona un mayor rango de operación con más alto rendimiento.

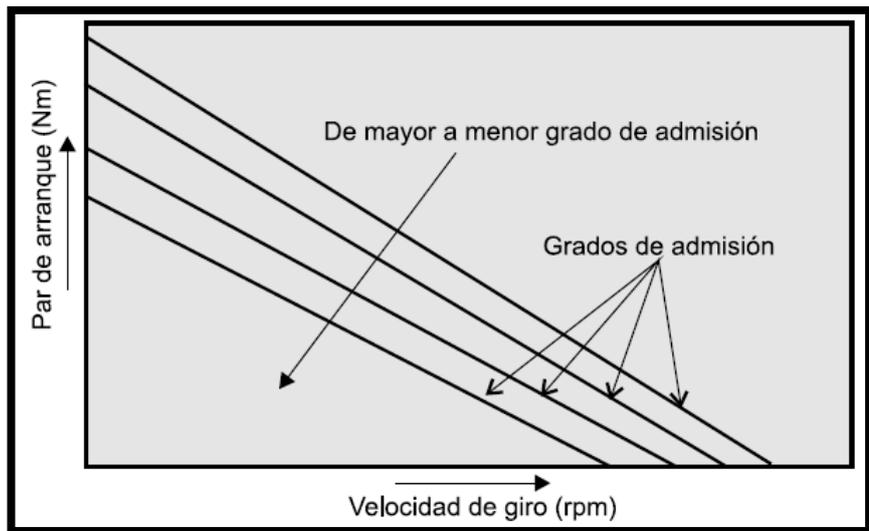
2.2.3.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TURBINAS

Las turbinas hidráulicas no funcionan siempre en el denominado **punto nominal** o **punto de diseño**, es decir, no siempre mantienen constantes la altura neta H , el caudal Q o las revoluciones n . Si alguna de estas variables se modifica se producirá una variación en al menos una de las otras variables.

Los fabricantes de turbinas hidráulicas confeccionan, a partir de ensayos experimentales en un banco de pruebas o *in situ*, las curvas que relacionan diversas características de operación de sus máquinas. Estas curvas que relacionan entre sí estas variables tienen en cuenta el rendimiento y se denominan **curvas características**.

C) Curva Par-Velocidad de Giro

Para diferentes grados de admisión figura N° 22 Cuando la velocidad de giro aumenta el par disminuye, denominándose **velocidad de embalamiento** a aquella velocidad a la que la curva corta al eje de abscisas (par nulo).



D) Curva potencia-velocidad de giro

Para diferentes grados de admisión. Estas curvas tienen forma de parábola y cortan al eje de abscisa en dos puntos que corresponden con la velocidad nula (turbina frenada) y la velocidad de embalamiento.

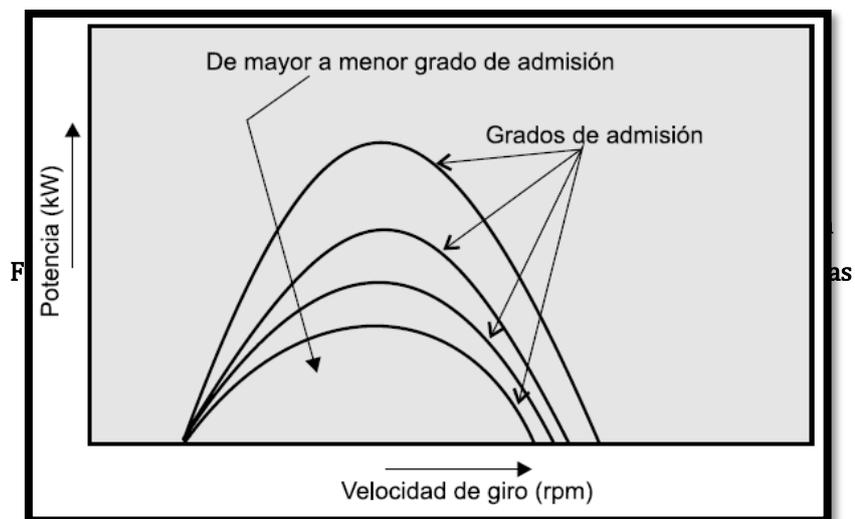


Figura N° 23: Curva de Potencia-Velocidad para diferentes grados de admisión.

Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

E) Curva caudal-velocidad de giro

Para una altura neta y un grado de admisión dados. Estas curvas (prácticamente rectas) tienen distinta pendiente dependiendo del tipo de turbina. Así, las turbinas Pelton presentan gradiente nulo, las de reacción lenta, gradiente negativo y las de reacción rápida, gradiente positivo.

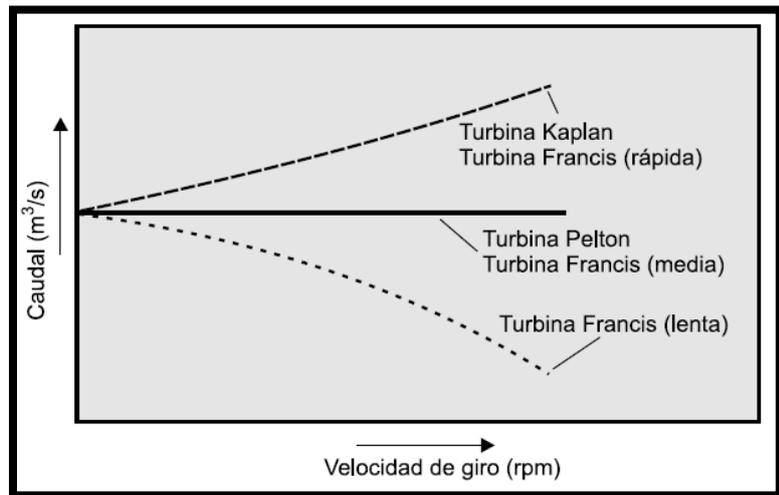


Figura N° 24: Curva Caudal-Velocidad para diferentes tipos de turbinas

Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

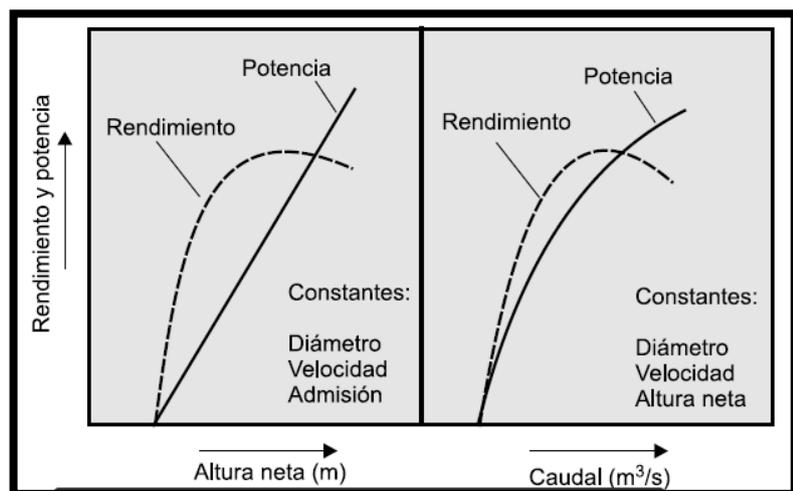


Figura N° 25: Curvas características elementales.

Fuente: Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables

De la misma manera es posible representar otras relaciones de variables. En la figura N° 26 se muestra, a título de ejemplo, el rendimiento η_t y la potencia P , en función de la altura neta H y el caudal Q , manteniendo constantes los demás parámetros.

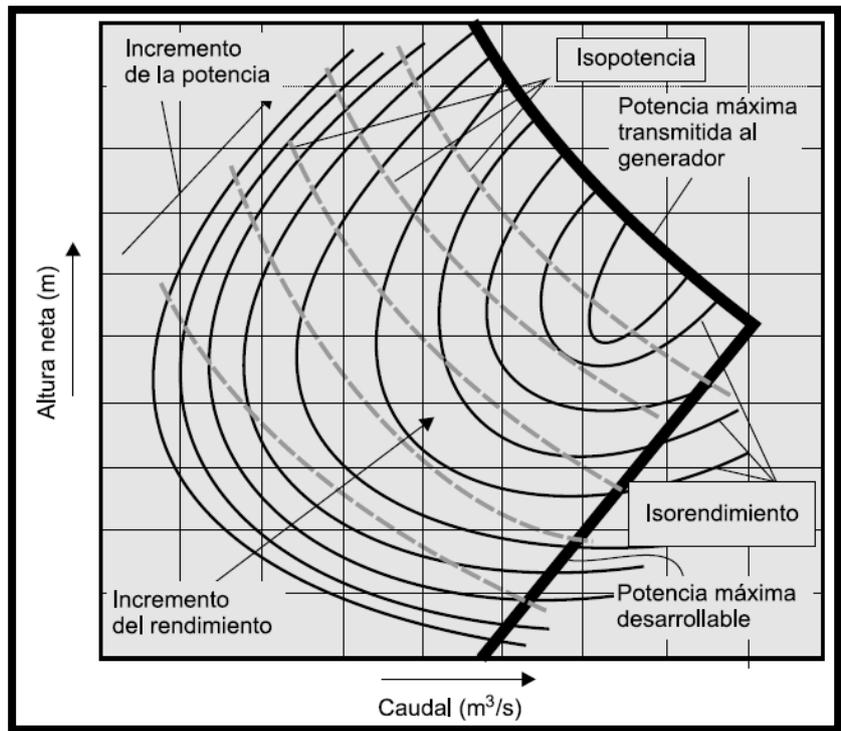


Figura N° 26: Diagrama de explotación $H=f(Q)$ con líneas de isotencia.
Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

En las leyes de semejanza de las turbinas hidráulicas, si no se tiene en cuenta la variación del rendimiento ni de la densidad y se considera que se trata de una misma máquina, es decir, el diámetro es constante, pueden utilizarse para estimar como varía, aproximadamente en una misma máquina el número de revoluciones n , el caudal Q , el par M y la potencia útil P cuando se varía la altura neta H .

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{1/2} ; \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{1/2} ; \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{3/2} ; \frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)$$

2.2.4. TRANSMISIONES MECÁNICAS

Si una turbina gira a la velocidad de operación del generador eléctrico los árboles de ambos se pueden conectar directamente mediante el empleo de un acoplamiento, generalmente de tipo flexible. Sin embargo, las turbinas de baja altura de carga suelen girar a velocidades (125-400 rpm) inferiores a las que precisan los generadores estándar para funcionar (1.000-1.500 rpm), por tanto, se precisa instalar un multiplicador de velocidad entre los árboles de ambas máquinas para poder operar. El uso de un multiplicador de velocidad implica disminuir el rendimiento global entre un 2% y un 5%.(24)

Una solución alternativa al empleo de un multiplicador de velocidad consiste en utilizar un generador eléctrico de elevado número de pares de polos, con lo cual su velocidad de sincronismo disminuye. Esta alternativa tiene como ventaja que se evitan las pérdidas del multiplicador y como inconveniente las mayores dimensiones y coste que supone dicho generador no estándar.

Generalmente, el multiplicador de velocidad está constituido por una caja de engranajes, aunque también se han utilizado transmisiones de correas para realizar este cometido.

Las cajas de engranajes utilizadas pueden ser de árboles paralelos o de árboles cuyos ejes se cortan. Para transmitir la potencia y el movimiento angular entre árboles paralelos se suelen emplear engranajes cilíndricos de dientes

helicoidales externos. Aunque también se emplean trenes de engranajes epicicloidales.

Cuando se desea transmitir potencia y movimiento angular entre árboles que se cortan (normalmente forman entre si 90°) se suelen emplear engranajes cónicos de dientes helicoidales.

2.2.5. GENERADOR

Para transformar la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica se utilizan generadores eléctricos. El generador puede ser de corriente continua (dínamo) o de corriente alterna (alternador). Estos últimos son los únicos que se utilizan actualmente. El alternador está compuesto de dos partes fundamentales: el rotor o inductor móvil, encargado de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina y el estator o inducido fijo, en el que se genera la corriente eléctrica.(24)

Respecto a la posición de su árbol de giro, los generadores se clasifican en generadores de eje vertical y generadores de eje horizontal.

La máquina eléctrica de corriente alterna típicamente utilizadas se clasifican en máquinas síncronas y máquinas asíncronas o de inducción.

La mayor desventaja de los generadores asíncronos es que necesitan de una batería de condensadores conectada a la salida, la cual compense la energía reactiva generada. Para la creación del campo magnético el generador asíncrono debe estar conectado a la red y tomar de ella la corriente reactiva necesaria.

Cuando la turbina hidráulica incrementa la potencia se produce un incremento en el deslizamiento. Ya que la red eléctrica es la que fija la frecuencia no se precisa que la turbina disponga de un regulador de velocidad.

Para llevar a cabo el arranque del generador asíncrono se actúa sobre la admisión de agua en la turbina, de tal manera que ésta se vaya acelerando hasta que el generador se aproxime a su velocidad de sincronismo, instante en el que se cierra el interruptor automático de línea.

En los generadores síncronos es necesario alimentar el devanado del rotor con corriente continua, la cual origina un campo magnético giratorio en el interior del generador que, a su vez, produce un sistema trifásico de voltajes en los arrollamientos del estator. Debido a que el rotor del generador gira, es necesario utilizar mecanismos especiales para llevar a cabo el suministro de la corriente continua de excitación. Básicamente, la corriente continua puede ser suministrada por tres mecanismos de excitación: autoexcitación, excitación auxiliar y excitación sin escobillas.

La **excitación auxiliar** consiste en alimentar el devanado inductor mediante la corriente continua generada por una dinamo auxiliar regulada por un reostato y montada sobre el árbol del generador sincrónico.

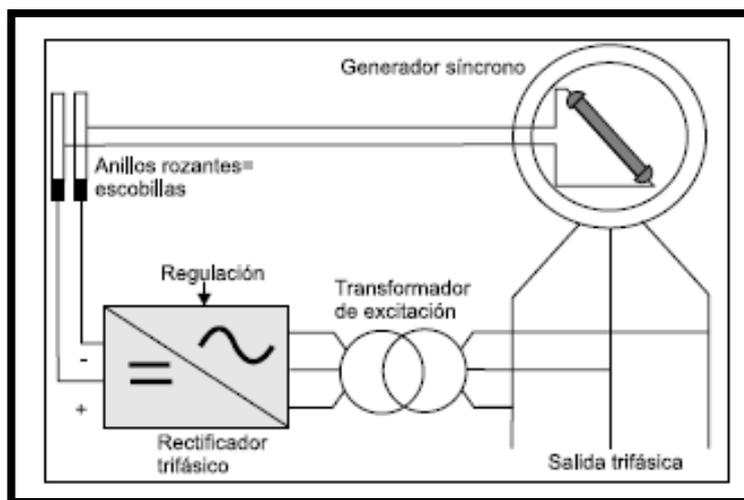


Figura N° 27: Esquema de sistema de autoexcitación de un generador síncrono.

Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

La **autoexcitación** consiste en tomar la corriente desde los terminales del generador, cambiarla mediante un transformador de excitación, rectificarla mediante un sistema electrónico estático e inyectarla en el devanado inductor

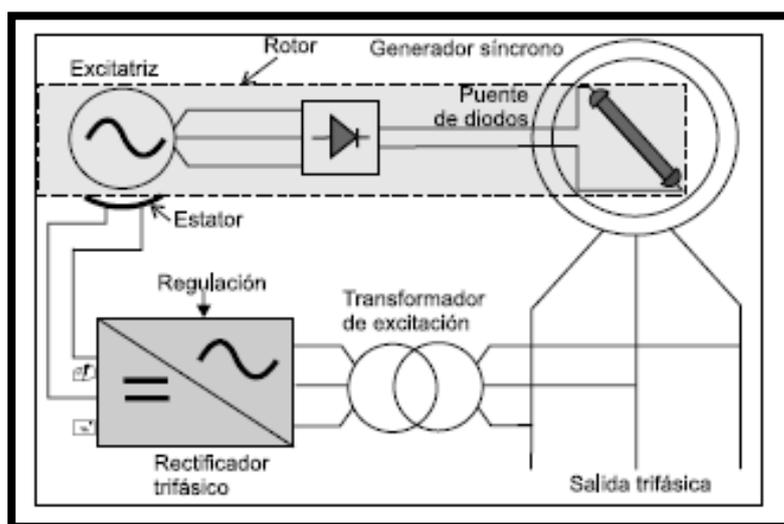


Figura N° 28: Esquema de circuito excitatriz sin escobillas.

Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

mediante un dispositivo de escobillas y anillos rozantes que rodean al árbol de la máquina, pero aislados del mismo árbol.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. FUERZA

Capacidad física para realizar un trabajo o un movimiento.

2.3.2. PRESIÓN

Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

2.3.3. TORQUE

Es la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna pieza.

2.3.4. VELOCIDAD TANGENCIAL

La **velocidad tangencial** es la **velocidad** del móvil (distancia que recorre en el tiempo).

2.3.5. VELOCIDAD ANGULAR

Es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

2.3.6. CAMPO MAGNÉTICO

Es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. El campo magnético en cualquier punto está especificado por dos valores, la dirección y la magnitud.

2.3.7. ENERGÍA

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, surgir, transformar o poner en movimiento. En física, energía se define como la capacidad para realizar un trabajo.

2.3.8. POTENCIA

En física, potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

2.3.9. FLUIDO

Se le denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas partículas solo hay una fuerza de atracción débil.

2.3.10. CONDICIONES DE FRONTERA

Se lo denomina al conjunto de una ecuación diferencial y a las condiciones de frontera o contorno. Una solución de un problema de condiciones de frontera es una solución de una ecuación diferencial que también satisface condiciones de frontera.

2.3.11. MALLADO

Crear el mallado más adecuado es la base de la simulación en ingeniería. La fidelidad y la precisión son dos puntos fundamentales para la simulación.

2.3.12. EFICIENCIA

Se define como la proporción del trabajo **mecánico** realizado respecto de la energía global invertida.

Tabla N° 1: Descripción de términos nuevos para la investigación

Nombre	Género	Diferencia específica	Definición Conceptual
AUTODESK INVENTOR	Instrumento de diseño de solución	Software que permite desarrollar la unidad básica de estudio y las turbinas de solución.	Software de diseño, que permite a través de su plataforma desarrollar las características de la unidad básica de estudio y de las turbinas.
ANSYS CFD	Software para análisis de solución	Software que permite el desarrollo experimental de las réplicas.	Software que obtener datos simulados cuando un sistema o elemento es sometido a flujos dinámicos.
AUTODESK CFD	Software para análisis de solución	Software que permite el desarrollo experimental de las réplicas.	Software que obtener datos simulados cuando un sistema o elemento es sometido a flujos dinámicos.
Alabes	Son las aletas que se encuentran sujetadas al eje que reciben la fuerza del fluido, y que permiten el giro de la turbina.	Reciben la energía cinética del fluido axial al eje, son del tipo hélice, pero diseñado en base a una flor de lirio de agua.	Parte de la turbina de diseño, que permite captar la energía cinética del río, con mayor precisión con una mejor eficiencia.
Campanas	Son todos los álabes más el eje, en un mismo eje, se puede poner muchas campanas.	Es conocido como el rodete, pero, se encuentran conectadas una tras otras.	Son las que nos permiten multiplicar la velocidad angular del eje, porque se encuentran sobre un mismo eje.
Eje Biomimético	Es el que permite giro, y se encuentra conectada con la transmisión mecánica.	Es un eje diseñado en base a la biomimética para adaptarse a las pequeñas olas que produce el río.	Parte de la turbina que realiza la energía mecánica a través de su velocidad angular producidas por los álabes, unidos a la transmisión mecánica

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO BIOMIMÉTICO

Se usó la metodología Biomimética de diseño en espiral, porque tiene los tres conceptos básicos como guía operacional para un diseño biomimético y debido a que la unidad básica para su estudio del diseño no se encuentra como parte de una turbina hidráulica, se desarrolló un nuevo diseño. El proceso de diseño, que involucra la Biomimética como camino fundamental en la solución de necesidades humanas, parte de un proceso de investigación que ha permitido identificar las aplicaciones en la esfera del diseño de forma general. El sistema metodológico para desarrollar el diseño básico de unidad de estudio para la turbina será mediante la metodología planteada por Espinoza (2014) y esto debido a que el diseño biomimético como metodología no se ha

desarrollada en gran medida, porque no existen indicadores de diseño que nos permita evaluar que el diseño que desarrollamos es el más óptimo.

3.1.1. SECUENCIA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO BIOMIMÉTICO

Mediante esta secuencia se pretende establecer una guía operacional para enfrentar necesidades susceptibles de ser resueltas a través de la actividad de diseño. Para ello se tienen en cuenta tres conceptos básicos establecidos por Benyus citado en Sánchez y que están vinculados con la vida natural; ellos son: Desafío Funcional, Estrategia y Función.

El Desafío Funcional no es más que el problema que el organismo o sistema vivo debe enfrentar para sobrevivir en una situación específica. Por ejemplo, la ballena azul necesita recolectar alimento de su hábitat para sobrevivir.

La Estrategia es la manera en que los organismos o sistemas vivos se han adaptado para responder ante el Desafío Funcional, en otras palabras, una estrategia es una característica, mecanismo o proceso que hace algo (una función) para un sistema natural; una adaptación que dicho sistema desarrolla con el fin de sobrevivir. Por ejemplo, la ballena azul tiene barbas, que son enormes placas que sirven como filtros en su boca; toma enormes cantidades de agua del océano y la presiona en la parte posterior de su boca a través de dichas barbas. Al hacerlo, se capturan grandes volúmenes de alimento.

La Función es lo que la estrategia hace por el organismo o sistema viviente. Esta también se puede considerar como "lo que necesita su solución de diseño para hacer".

3.1.1.1. METODOLOGÍA DEL DISEÑO BIOMIMÉTICO

La metodología como diseño biomimético aborda etapas en las cuales se puede diferenciar las características esenciales de cada factor para un diseño adecuado, debido a que este tipo de metodología como proceso científico trata de emular a la naturaleza, con la finalidad de tener un diseño en el que se evita, un exceso en el desarrollo de información, disminuir cantidad innecesaria de material y evitar generar residuos, es por eso que se logró diseñar una turbina emulando la flor *zantedeschia aethiopica*, que fue el recurso natural que poseían los patrones y características adecuadas para el diseño inicial.

Esta metodología no trae sabiduría de la naturaleza sólo para el diseño físico, sino también al proceso de fabricación, envasado, y todo el camino hasta el envío, distribución y las decisiones de recuperación del producto. Se utiliza una espiral para subrayar el carácter reiterativo del proceso, es decir, después de resolver un desafío, entonces evaluar qué tan bien cumple con los principios de la vida, y si no resulta a menudo se plantea otro desafío, y el proceso de diseño comienza de nuevo. Por ejemplo, un innovador puede diseñar una turbina de viento que imita la racionalización de los principios de la vida, pero luego se

puede preguntar, ¿cómo se fabrica? ¿El uso de energía y procesos químicos se pueden imitar de la naturaleza también? Todo esto se puede hacer con otro ciclo a través del método de diseño (32).

A) Identificar

- Desarrollar y perfeccionar diseños basados en las lecciones aprendidas de la evaluación de los principios de la vida.
- La naturaleza trabaja con pequeños bancos de retroalimentación, en constante aprendizaje, adaptación y evolución.

En la presente investigación se observó diferentes elementos naturales, cuyas capacidades funcionales se adapten mejor a un ambiente acuático, de los cuales se obtuvo datos como el área de contacto de sus elementos, la forma que poseía, la composición y cantidad de sus partes.

B) Interpretar

- Biologizar las preguntas; hacer un diseño desde una perspectiva natural.
- Trasladar las funciones de diseño en situaciones que se desarrollan en la naturaleza. Preguntar, ¿cómo la naturaleza hace esta función?, ¿cómo la naturaleza no haría esta función?

Se analizó las partes de los elementos naturales, en las que estaban en contacto con el agua, y muchas de estas formas se debía, a que estos elementos se diseñaron con el fin de conseguir el líquido vital, tratando de conseguir la cantidad necesaria de agua, para su

crecimiento, pero evitando un exceso de esta, por lo que su característica resaltante era que su hoja se extendía muy ancha al comienzo, y cónica en media a la distancia de su eje a su rama, teniendo menor área en la parte más baja del pétalo.

C) Descubrir

- Encontrar los mejores modelos naturales para responder a nuestras preguntas.
- Encontrar a quienes mejor se adaptan mediante preguntas como: ¿Qué ser vivo depende de esto?

Los elementos que poseían estas características eran la rosa y el lirio de agua, se encontró algunas diferencias entre estos elementos, la primera era que el lirio de agua, tenía la forma de sus pétalos más abierta al principio, en cambio la rosa tiene sus pétalos más cerca a sus pistilos, por lo que comparando en una turbina no era adecuado usar como emulación esta forma descrita; la rosa tiene una gran cantidad de pétalos, además que la forma en que se va desarrollando esta, no permite el paso de agua, en cambio en el lirio de agua es todo lo contrario.

D) Resumir

- Encontrar los procesos y patrones repetitivos con los que la naturaleza logra el éxito.
- Crear taxonomías de estrategias de la vida.

- Seleccionar las estrategias más relevantes que cumplan con su diseño particular.

Las partes de los elementos que se identificaron para adaptar, poseen disposiciones geométricas resaltantes, como por ejemplo, la disposición de sus pétalos, observada desde planta está determinado por una progresión geométrica descrita como la sucesión de Fibonacci, se considera que esta característica es una forma interesante de diseño natural, debido a que muchos elementos tienen esta forma de crecimiento, tales como: los caparazones de los caracoles, los pétalos de las rosas, la geometría del sistema solar, etc.

E) Emular

- Desarrollar ideas y soluciones basadas en modelos naturales.
- Desarrollar conceptos e ideas que apliquen las lecciones dadas por los maestros naturales.
- Observar las aplicaciones de estas lecciones tanto como sea posible (forma de imitar, función imitada, ecosistemas imitados).

En esta parte de la metodología de diseño, se entendió que diferenciar los factores para el diseño era necesario para desarrollar una turbina adecuada, es por eso que se describió que la turbina estaría diseñada en base a la variación de la cantidad de álabes, la cantidad de campanas y el tipo de eje.

F) Evaluar

- Cómo tus ideas se comparan a los principios naturales exitosos de la vida.
- Evalúa tus soluciones de diseño comparándolas contra los principios de la vida.
- Identificar otras formas de mejorar tu diseño

Después de la evaluación de las diferentes turbinas, a través del diseño experimental ²³ se pudo encontrar cualidades funcionales diferentes en cada tipo de turbina, en los cuales los más resaltantes fueron el tipo de eje y la cantidad de álabes, en comparación a la naturaleza del elemento, se adaptó a la capacidad de sus pétalos a recibir la mayor cantidad de fluido. Se considera que este tipo de turbina es adecuada para bajos caudales, debido a los resultados obtenidos en la simulación, aunque también se encontró indicios de que este tipo de turbina también es adecuada para altas velocidades de afluentes hídricos.

3.2. METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

3.2.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se desarrolló en este tema de investigación fue el tecnológico y el nivel experimental.

3.2.1.1. TIPO INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Se usó el tipo de investigación tecnológica debido a la realización de un prototipo de turbina asistido por computadora, con la finalidad de

realizar un prototipo adaptado a las características de las fuentes de agua que permita generar energía eléctrica eficiente y con un impacto negativo mínimo a los recursos naturales.

La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación.(33)

3.2.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En la presente investigación se desarrolló una innovación en generación hidráulica, puesto que el diseño asistido por computadora para realizar el prototipo virtual es elemento principal para desarrollar una investigación tecnológica, se consideró el nivel de investigación experimental porque se propone un nuevo diseño. Tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación **experimental** para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad.(33)

3.2.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.2.1. EL MÉTODO SISTÉMICO

Los problemas de la sociedad, la naturaleza y el pensamiento, son complejos; esto exige que los objetos de investigación sean sistemas y no subsistemas. (33)

El prototipo de la turbina se desarrolló mediante el método sistémico en el cual se consideraron los factores que intervendrían directamente con la capacidad de generación de la turbina, se usó este método puesto que el sistema de generación contenía elementos del sistema que no se podrían dejar de lado en la investigación. En las cualidades que debería tener la turbina se consideró los 3 elementos siguientes: álabe, campana, eje.

El propósito del método sistémico es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes. (33)

Se consideró que los datos de entrada y salida son relevantes para lograr una adecuada investigación, entonces en la simulación, los datos de entrada a considerar fueron, material, condiciones de frontera, velocidad del fluido, presión en las fronteras, forma del fluido y tipo de mallado, como datos de salida se consideró la fuerza y presión en la turbina.

Al identificar un objeto de investigación, no se debe perder de vista las entradas y salidas del sistema ya que estos le relacionan con su súper sistema.(33)

3.2.2.2. DISEÑO DE SOLUCIONES

Este diseño sirve para evaluar la conversión de un modelo a objeto. En comparación de otros diseños en los cuales esos diseños evalúan los modelos que representan los objetos de la realidad. Para evaluar el diseño se tomó la decisión de realizar diseños experimentales a las combinaciones de los factores para la posible turbina, en un primer instante se diseñó la hélice que es el elemento principal de cualquier turbina, en base a la metodología biomimética, después con el diseño de las ocho turbinas, se pasó a evaluar mediante el diseño de solución, para decidir el mejor diseño de turbina.

En una investigación aplicada, de diseño o de innovación; se debe evaluar, si la combinación de configuraciones o estructuras del objeto de investigación han permitido mejorar la productividad del flujo (conversión de insumos en productos) o ha permitido mejorar la eficiencia de su funcionamiento, ambos medidos a través de la variable dependiente. (33)

Se usará en este caso para evaluar el diseño de solución, el diseño factorial experimental

A. Diseño Factorial 2^3 (2x2x2)

Se optó por utilizar el diseño factorial 2^3 por la versatilidad y facilidad de comparar un grupo de posibles

soluciones, en cada simulación se obtuvo datos de salidas necesarias para una toma de decisiones adecuada.

En este diseño factorial se manipulan tres variables, cada una con dos niveles. Tiene ocho combinaciones de tratamientos, los mismos que se pueden representar:

Tabla N° 2: Combinación de tratamientos de las variables

Variable Independiente			Variable Dependiente
Configuración de la turbina			Combinación de tratamientos
Cantidad de Alabes	Cantidad de Campanas	Tipo de Eje	Torque generado.
Unidades	Unidades	Característica	Torque
A1(-)	C1(-)	E1(-)	A1-C1-E1
		E2(+)	A1-C1-E2
	C2(+)	E1(-)	A1-C2-E1
		E2(+)	A1-C2-E2
A2(+)	C1(-)	E1(-)	A2-C1-E1
		E2(+)	A2-C1-E2
	C2(+)	E1(-)	A2-C2-E1
		E2(+)	A2-C2-E2

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la tabla N° 2 que se tiene 8 combinaciones, los cuales se tendrán que evaluar a través de este diseño, se podrá determinar el diseño para la generación de energía eléctrica, cuando se desarrolla la simulación con el software CFD AUTODESK se determinará cuál de los niveles es el adecuado para el diseño. Además de utilizar el Software se

puede usar cálculos numéricos para determinar el que posee la mejor eficiencia.

3.2.3. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

El trabajo de investigación desarrollada está compuesto por una variable dependiente que es la generación de energía eléctrica y las variables independientes que son: Cantidad de Alabes, Cantidad de Campanas, Tipo de Eje (Estas variables son las que nos permitirán evaluar el diseño de la investigación); a continuación, se explica la operacionalización de variables con su definición conceptual, dimensiones, indicadores y el instrumento.

Tabla N° 3 : Operacionalización de la variable dependiente

Variable Dependiente : Generación de Energía Eléctrica Carhuamaca (2014)			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Instrumento de Medición
La energía eléctrica será la potencia Wh, que producirá el diseño de turbina, se determinará con la potencia eléctrica y multiplicada por el tiempo de uso en un día (24 horas).	Corriente Eléctrica	Variación de la cantidad de corriente en amperios	Amperímetro
	Voltaje	Variación de la cantidad de voltaje medido en voltios	Voltímetro
	Potencia	Cantidad de potencia eléctrica producida medido en watts	Vatímetro
	Tiempo	Cantidad de horas de funcionamiento de la turbina medido en horas	Reloj

Fuente: Elaboración Propia

Ya que la generación de energía eléctrica es nuestro fin, no debemos olvidar que para determinar esta variable se puede usar las dimensiones mencionadas, esto debido a que la energía eléctrica no es una dimensión directa, como la corriente eléctrica o el voltaje o el tiempo, pero que se puede medir directamente con un contabilizador de energía.

Tabla N° 4: Operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente : Diseño de la Turbina Carhuamaca (2014)			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Tratamiento
La configuración de la turbina permitirá encontrar el diseño adecuado, los cuales serán evaluados mediante la mejor opción con respecto a la eficiencia , esto será modificando la cantidad de álabes, cantidad de campanas y tipo de eje	Cantidad de Alabes	Cantidad de las aletas que reciben la fuerza del agua, pueden ser 3 o 4	A1:3 A2:4
	Cantidad de Campanas	Cada campana es la agrupación de álabes con respecto al eje , son aletas que reciben la fuerza del agua, pueden ser 3 o 4	A1:3 A2:4
	Tipo de Eje	característica el cual deba tener el eje para incrementar la eficiencia, puede ser estático o biomimético	A1: Estático A2: Biomimético

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación es determinar el diseño de una turbina hidráulica, a base de tecnología Biomimética, configurando las dimensiones de la turbina, que nos permitirá determinar cuál es la mejor opción cuando se utiliza este tipo de turbina cuando se quiere generar energía eléctrica. Para evaluar la

mejor opción se evaluará el programa de simulación las dimensiones construyéndolos en el software de diseño INVENTOR y simulando el comportamiento de sus indicadores en el programa CFD AUTODESK; y el otro método para evaluar la configuración será mediante el desarrollo de cálculos numéricos, con relación a aerodinámica e hidráulica

3.2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.2.5.1. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN

Se utilizó la técnica empírica para evaluar la configuración de la turbina, mediante el cual se pudo agrupar la información relevante que nos permitiría obtener el diseño. La *técnica empírica* permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad. (33)

Se tiene las siguientes técnicas empíricas:

- Observación
- Entrevista
- Encuesta
- Cuestionario

Finalmente se utilizó la técnica de observación de los resultados por la simulación, debido a que es la técnica que mejor se adapta al tema de investigación desarrollado por las siguientes características:

- **Observación**

La observación es una técnica de recolección de datos que permite acumular y sistematizar información sobre el objeto de investigación que tiene relación con el problema de investigación. (33)

La observación permite obtener datos próximos a cómo está funcionando el objeto de investigación en el presente.

Los instrumentos utilizados son: fichas de observación, formularios, guías de observación, hojas de cotejo, listas de verificación, hojas de registro, cámaras fotográficas y filmadoras, microscopios, scanner, analizador de gases, opacímetro, micrómetros, etc.

Esta técnica nos permitió obtener datos para la evaluación de la configuración de nuestro diseño; las dimensiones en las que se aplicó esta técnica fueron:

- Cantidad de Alabes: (A1= 3; A2=4)
- Cantidad de Campanas: (C1= 3; C2=4)
- Tipo de Eje: (E1= Estático; E2=Biomimético)
- Réplicas: 1
- Número de observaciones: 8

Tabla N° 5: Técnica utilizada en la investigación

MODELO DE OBSERVACIONES	DATOS DE LOS RESULTADOS CON LA COMBINACIÓN DE LAS DIMENSIONES INCLUYENDO LAS REPLICAS				
	VARIABLE INDEPENDIENTE			VARIABLE DEPENDIENTE	Replicas
	Configuración de la turbina			Combinación de Tratamientos	
	Cantidad de Alabes	Cantidad de Campanas	Tipo de Eje	Generación de Energía Eléctrica	1
	Unidades	Unidades	Característica	Energía	Torque
	A1	C1	E1	A1-C1-E1	TORQUE TOTAL 2
E2			A1-C1-E2	TORQUE TOTAL 3	
C2		E1	A1-C2-E1	TORQUE TOTAL 4	
		E2	A1-C2-E2	TORQUE TOTAL 5	
A2	C1	E1	A2-C1-E1	TORQUE TOTAL 6	
		E2	A2-C1-E2	TORQUE TOTAL 7	
	C2	E1	A2-C2-E1	TORQUE TOTAL 8	
		E2	A2-C2-E2	TORQUE TOTAL 9	
TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	Cantidad de Alabes: 02 niveles (A1= 3; A2=4)				
	Cantidad de Campanas: 02 niveles (C1= 3; C2=4)				
	Tipo de Eje: 02 niveles (E1= Estático; E2=Biomimético)				
	Réplicas: 1				
	Número de observaciones: 8				

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron:

- Tacómetro: Instrumento para medir la velocidad de rotación de un mecanismo de la máquina al que va acoplado; generalmente, indica la velocidad en revoluciones por minuto.

- **Multímetro:** Un multímetro, también denominado polímetro o tester, es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas, como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna y en varios márgenes de medida cada una. Los hay analógicos y posteriormente se han introducido los digitales cuya función es la misma, con alguna variante añadida.
- **Reloj:** Instrumento para medir el tiempo o para indicar la hora del día; puede ser fijo o portátil y el más común para indicar la hora consiste en una maquinaria de movimientos uniformes que hace avanzar unas manecillas sobre una superficie esférica, marcando el paso del tiempo.
- **Programa Autodesk® CFD :** El software Autodesk® CFD proporciona dinámicas de fluidos computacionales y herramientas de simulación térmica para ayudarlo a predecir el rendimiento del producto, optimizar los diseños y validar el comportamiento del producto antes de la fabricación.

3.2.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el desarrollo del diseño se usó la técnica mostrada en la metodología de diseño, basado en el método en espiral, del cual se usó el diseño que mostraba las mejores cualidades Biomimética para el desarrollo de la solución.

Para el estudio como unidad básica de diseño, se usó como medio de diseño la flor del lirio de agua cuyo nombre científico es "*Zantedeschia aethiopica*" que tiene por lo menos los tres conceptos básicos como guía operacional para desarrollar el diseño.

La investigación en el cual el diseño de solución se evaluó, fue mediante el diseño factorial 2^3 se procedió a realizar los 8 tratamientos con 1a réplica. Seguidamente a través de los resultados obtenidos con esta técnica se determinó el tratamiento del sistema obteniendo la capacidad más alta de producción de energía eléctrica, del cual se tomó una decisión.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para desarrollar el diseño de la turbina se usó la metodología de diseño mediante el cual se desarrolló una ficha de cotejo basada en el método del diseño basado en el artículo de (32)

Tabla N° 6: Ficha de cotejo para la metodología de diseño

Metodología de Diseño (Diseño en Espiral)		
Niveles	Requerimientos del Elemento de Diseño	Requerimientos del Elemento Natural para Emular
Identificar	Características	Características
Interpretar	Características	Características
Descubrir	Características	Características

Resumir	Características	Características
Emular	Características	Características
Evaluar	Características	Características

Fuente: Elaboración propia (Basado en Rocha 2012)

4.1.1. EN LA UNIDAD BIOMIMÉTICA BÁSICA DE ESTUDIO

A medida en que se venía desarrollando este tema de investigación, se llegó a establecer los requerimientos necesarios para lograr el desarrollo del diseño, esto se debió a que en los temas de investigación tanto nacionales como internacionales, se pudo encontrar, tanto en las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros, las carencias de diseño que se debían cubrir, es por eso que una gran parte de los requerimientos fueron descritos en la parte de antecedentes, para completar los requerimientos, se describió en orden la metodología con la que se diseña un producto es fundamental para la elaboración de la investigación presente, de esta manera se pudo tener una base de procedimientos y pasos para la elaboración de un modelo funcional, adecuado al problema, y al entorno para la solución en la que se está investigando. Se considera que para el desarrollo del diseño se debe tener una guía o referente para la preparación de la turbina hidráulica, con el fin de evitar progresos innecesarios, que ocasionaría un incremento de tiempo en las etapas en la que la investigación se está ejecutando. Todas las características se desarrollaron según los niveles de la metodología de diseño seleccionada, en referencia del requerimiento del elemento de diseño, y evaluando con el elemento natural optado. Los niveles de Emular y Evaluar, se desarrolló en el capítulo V de la investigación.

4.1.1.1. IDENTIFICAR

Basándose en la metodología de diseño en espiral, identificar requiere el desarrollo y el perfeccionamiento de un diseño natural, que haya sufrido cambios en su estructura, para mejorar alguna actividad fundamental de los seres vivos.

A) Requerimientos del Elemento de Diseño

Debido a que necesitamos que nuestro diseño de unidad básica de estudio necesita, tener la capacidad de captar una gran cantidad de fluido, requiere tener mayor área de interceptación del fluido, debido a que el diseño necesita estar sumergido, se precisa de un diseño en que el álabe básico de estudio permita el paso del agua cuando pasa por la turbina, esta característica es fundamental para la solución del problema, debido a que se ha configurado la metodología de solución y el uso de turbinas , una tras de otra.

B) Requerimientos del elemento Natural para emular

El elemento natural para emular, debe presentar una geometría que permita captar una cantidad de fluido importante, y que permita el paso del agua en su interior.

4.1.1.2. INTERPRETAR



Figura N° 29: *Zantedeschia aethiopica*

Fuente: eo.wikipedia.org

A) Requerimientos del Elemento de Diseño

En el elemento de diseño trataremos de asimilar con las preguntas del funcionamiento de los pétalos. ¿A través de la función de las espatas del lirio de agua como llega a captar una buena cantidad de agua en su interior?, una de las funciones biológicas del cartucho, es que su estructura fisionómica permite, filtrar el agua a través de sus pétalos y filtrarlos para que se filtre las impurezas.

B) Requerimientos del Elemento Natural para Emular

El nivel de interpretar para esta metodología, es a través de preguntas ¿cómo el elemento natural realiza la función de captar el agua a través de sus “espatas”, que vendrían a ser los pétalos de la flor.

4.1.1.3. DESCUBRIR

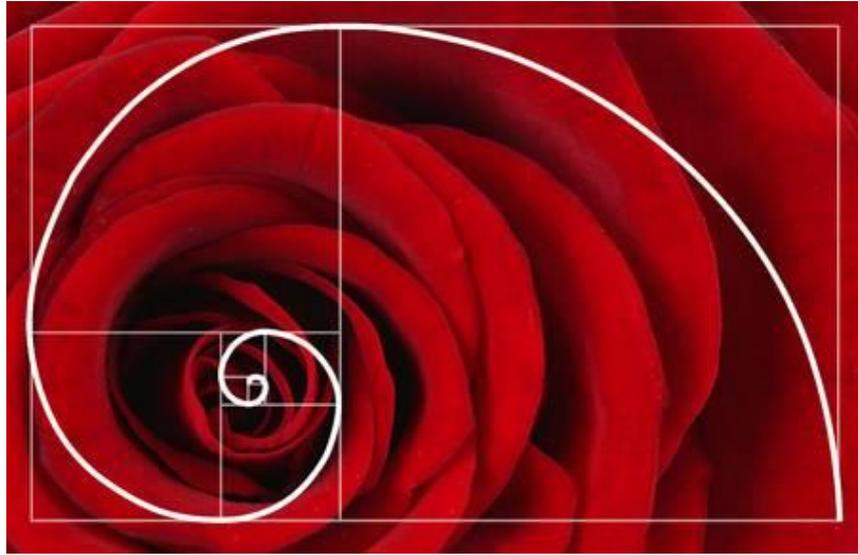


Figura N° 30: Ilustración de la disposición en espiral en la naturaleza. Patrón de Fibonacci

Fuente: 123rf.com

A) Requerimientos del Elemento de Diseño

Muchos de los modelos naturales que permiten a través de sus pétalos la captación de fluido en su interior, describen un modelo matemático, considerado como la sucesión de Fibonacci (34), cuando descubrimos los mejores modelos para el diseño analizando que no es necesario que el pétalo de recepción de agua no se tan pronunciado, como en la figura N°29, con lo que se realizó el diseño de la unidad básica de estudio, sin que el pétalo sea muy grande, ya que la función de ese pétalo es captar toda el agua necesaria y llevarla hacia su núcleo, en este caso, mediante una combinación con la rosa y el lirio de agua, se suprimió las características innecesarias, entonces se recortó la parte innecesaria del lirio, finalmente se asemejó al pétalo de la rosa y se adaptó a la geometría de la punta de esta.

B) Requerimientos del Elemento Natural para Emular

De acuerdo con el diseño necesario, se desarrolló el núcleo del diseño en función de lirio de agua, y la parte inicial hasta el núcleo, se tomó como diseño básico la estructura de la rosa.

4.1.1.4. RESUMIR

A) Requerimientos del Elemento de Diseño

Ya que se está diseñando la turbina a través de un modelo inspirado en la naturaleza se debe tener en cuenta, que al terminar de elegir el mejor modelo natural en el cual se basará el diseño de la turbina, se debe evaluar los aspectos hidráulicos a los que van a estar sometidos las turbinas, con el fin de mejorar aún más el diseño; seguidamente se debe escoger el sistema natural en el cual se va a basar el desarrollo del eje, así pues se va a determinar todos los efectos mecánicos en los cuales va estar sometido el eje de la turbina.

Debido a que la mayoría de los elementos naturales tienen un diseño, basado en modelos matemáticos como la sucesión de Fibonacci, se tomó como diseño el modelo de crecimiento de las semillas de las flores y al número áureo, que expresan la disposición de las hojas en un tallo; estas ecuaciones matemáticas tienen como constante $\sqrt{5}$.

B) Requerimientos del Elemento Natural para Emular

Los elementos naturales seleccionados para la emulación fueron analizados en su funcionalidad aerodinámica, en el capítulo de

construcción, a través de la configuración de las características esenciales que debe tener la unidad básica de estudio.

4.1.2. EN LA TURBINA

4.1.2.1. ALABES

Se sabe que los álabes deben poseer la capacidad de recibir la mayor cantidad de agua, por lo que se debe realizó de manera que fue de admisión total, ya que como se explicó en las bases teóricas, en relación a las turbinas Francis, estas turbinas son de admisión total por lo que su eficiencia es mayor.

Se debe tener la cantidad necesaria de álabes que permitan girar con mayor velocidad la turbina, pero considerando que tengan el peso adecuado para que los álabes no golpeen el lecho del río.

Los álabes deben tener la capacidad de soportar la carga de fuerza de energía cinética de río, con el peso necesario para tener la inercia de giro necesaria para que siga girando la turbina.

Es aquí, que se debe determinar los aspectos técnicos del diseño, la cantidad de álabes o palas, esto debido a que bajo un contexto de aerodinámica, no será posible poner muchas cantidades de palas, esto traería consecuencias que el rodete llegue a tener un efecto de reducción de su velocidad tal como se pudo observar en los resultados obtenidos del diseño de la turbina Michell-Banky; en la rugosidad de los álabes, es muy importante la evaluación de la rugosidad de las turbinas y del eje,

ya que podríamos determinar qué efectos podría ocasionar cuando la turbina tiene una aspereza alta; entonces el espesor del álabe, se podrá encontrar que si es muy ancho, las palas con el peso en su conjunto de todo el sistema, tal vez no llegue a flotar; ya que, los esfuerzos a los cuales va estar sometido todo el sistema desde la turbina, el eje y la transmisión del movimiento del eje al generador eléctrico, podrán determinar las características que debe tener cada elemento en la que se va a construir el generador hidráulico como sistema.

La mayoría del sustento para la formulación del problema que el autor de la investigación cita, son de trabajos en investigaciones tecnológicas en las cuales se considera la configuración de algún elemento eléctrico o mecánico para aumentar la generación eléctrica, estos tipos de trabajos que menciona el autor, solo se centran en alterar una pequeña parte de un producto ya existente y evaluar si mejora el nivel de captación; en el cual esta tesis de investigación no llega a concordar.

Ya que el autor de la investigación solo busca modificar: el ángulo de captación del fluido hídrico de los ríos, considera algunas variables, que en un aspecto general también son aplicables para la presente investigación; e incrementar la longitud del eje que tuvo como consecuencias una mejora en la eficiencia. De esta manera yo considero para el diseño propuesto, que se debe evaluar por lo menos tres variables: La cantidad de álabes que debe tener la turbina, el cual permitirá la

cantidad de aprovechamiento de agua; El ángulo en máximo en la que se debe mover el eje del rodete; la capacidad de soportar esfuerzos producidos por el movimiento del agua.

El diseño de la turbina se debe adaptar a la naturaleza y no al revés; que es uno de las principales problemas que la mayoría de personas que diseñaron los sistemas clásicos de centrales hidráulicas no realizaron, el cual con el fin de obtener grandes cantidades de energía eléctrica, tenían que modificar el contorno en donde se encontraba estos recursos, es por eso que existen las centrales hidroeléctricas en las que las presas es la mejor opción de obtener una mayor cantidad de energía cinética para la producción eléctrica, pero no tuvieron en cuenta la alteración del lugar para desarrollar este método, en el caso de esta investigación se pretende contemplar el tema natural con el tecnológico, con el fin de disminuir la alteración de la naturaleza lo más posible.

4.1.2.2. CAMPANAS

Las campanas deben tener como unidad básica de estudio el álabe desarrollado, además de tener en su totalidad el eje con la cantidad necesaria de álabes, en base a eso, los álabes deben tener la sujeción necesaria para que los álabes no se desprendan del eje.

El espacio entre campanas debe ser lo menor posible, con la finalidad de poner campana tras campana, entre una separación de eje movable, pero observando que la distancia sea necesaria para evitar que

el agua que pasa por la campana siguiente tenga una mínima perturbación, puesto que, si es muy baja cantidad de esta fuerza, no tendrá mucha ventaja en nuestro diseño.

Se debe evaluar la separación necesaria entre turbinas, de esta manera se puede utilizar la mayor cantidad de turbinas en un solo eje, evitando que el fluido llegue a acelerar cuando pasa por la turbina, que provoque un mal funcionamiento de la siguiente turbina, así se podrá usar por lo menos más de 2 turbinas con el fin de incrementar la velocidad de giro de todo el sistema.

La turbina debe tener la configuración para ser utilizado uno tras otro, como se está planteando en este párrafo, en el diseño en que se desarrolló la turbina debe tener la capacidad de ser adaptable uno tras otro como una cadena de turbinas con el fin de aumentar la capacidad de captación, ¿Cómo sería posible el uso de turbina en cadenas, sin que esto ocasione que no se capte más o menor energía? Esto se soluciona de la siguiente manera; como se explicó en el párrafo anterior “la turbina se debe adaptar a la naturaleza y no al revés”, gracias al diseño principal de una turbina, idealizo que, al momento de usar el recurso hidráulico del río o riachuelo, tal como se captó en un inicio se debe devolver en las condiciones más o menos iguales al final, de esta manera al poner una turbina tras de otra no habría impedimento, ya que no se alteró demasiado las características del río.

4.1.2.3. EJE

A medida que se vino desarrollando esta la investigación, se tuvo que analizar la necesidad de desarrollar un eje estático y un eje biomimético, por una parte se tomó en cuenta para mejorar este desarrollo tecnológico, pretendiendo aumentar la eficiencia de la generación, era una buena opción optar por el eje biomimético, del cual me di cuenta de que este eje solo es oportuno para generación en baja cantidad, e inclusive la eficiencia de generación es solo un poco mayor, del que está desarrollando este eje, porque aumenta la eficiencia, ya que la adaptabilidad del eje con respecto a las ondas del fluido, mejora la captación del río, es en otras palabras la veleta de un aerogenerador.

En el eje de transmisión de fuerza de la turbina diseñada debe considerar el número de álabes; considero que los álabes o palas del rodete de la turbina deben estar limitadas a suponer cuanto es la cantidad necesaria para que el sistema tenga una mayor velocidad, idealizando variables como el peso de las álabes, ya que estas van a ser sumergidas y prácticamente tendrían que flotar o considerar un diseño mecánico, en las que todas las turbinas no se hundan y golpeen el suelo y que no sean tal livianas con tal de que no se mantengan en la superficie. Esto era uno de los problemas en las que se tuvo que idealizar cual sería el material adecuado para el producto; y la otra variable a considerar será la cantidad de álabes con tal de que trabaje sin que llegue a detenerse, o genere una

perturbación en el fluido, con tal de que cumpla la función de usar las turbinas en cadena.

El Eje de la turbina debe ser movable, ya que se expuso en los apartados anteriores esta característica, en el desarrollo del diseño se buscó determinar la configuración del eje, las variables que se consideraron fueron las siguientes: el ángulo máximo que debe realizar el eje movable de la turbina no debe ser tanto que lleguen a golpearse entre las turbinas cuando se conecten de manera secuencial, el material con el cual se está construyendo el eje debe ser liviano pero que posea una alta resistencia al esfuerzo mecánico producido por el movimiento de la turbina.

El eje de la turbina debe ser adaptable a las vertientes del río, este es uno de los desafíos más grandes en la que mi investigación tuvo que afrontar, ya que es la primera vez en la que se está tratando de mejorar en su totalidad una turbina, propongo esto ya que al cavilar que si el eje de la turbina es estático, produciría golpes de ariete innecesarios en las palas de la turbina, esto ocasionaría que se desgaste más rápido; realzo esta propuesta en medida en que los sistemas de captación de energía renovables usan métodos similares, como el seguidor solar para paneles fotovoltaicos, el eje rotatorio de las palas de las turbinas eólicas, la veleta de dirección para orientar el generador eólico para captar más energía, estos casos me impulsaron a desarrollar el tema que el eje de captación sea movable adecuándose a las corrientes de los ríos.

4.2. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

Según la Tabla 7, en donde se completarán los resultados obtenidos del torque, realizadas por la simulación, en estos casos, se debe tener en cuenta el orden en donde se ponen debido a que en el software Minitab para evaluar estadísticamente nuestros experimentos de diseño, la configuración cambia.

Tabla N° 7: Forma de relleno de la ficha de observación experimental

MODELO DE OBSERVACIONES	DATOS DE LOS RESULTADOS CON LA COMBINACIÓN DE LAS DIMENSIONES INCLUYENDO LAS REPLICAS				
	VARIABLE INDEPENDIENTE			VARIABLE DEPENDIENTE	Réplicas
	Configuración de la turbina			Combinación de Tratamientos	
	Cantidad de Alabes	Cantidad de Campanas	Tipo de Eje	Generación de Energía Eléctrica	1
	Unidades	Unidades	Característica	Energía	Torque
	A1	C1	E1	A1-C1-E1	T1(150 iteraciones en CFD)
E2			A1-C1-E2	T2(150 iteraciones en CFD)	
A1	C2	E1	A1-C2-E1	T3(150 iteraciones en CFD)	
		E2	A1-C2-E2	T4(150 iteraciones en CFD)	
A2	C1	E1	A2-C1-E1	T5(150 iteraciones en CFD)	
		E2	A2-C1-E2	T6(150 iteraciones en CFD)	
A2	C2	E1	A2-C2-E1	T7(150 iteraciones en CFD)	
		E2	A2-C2-E2	T8(150 iteraciones en CFD)	
TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	Cantidad de Alabes: 02 niveles (A1= 3; A2=4)				
	Cantidad de Campanas: 02 niveles (C1= 3; C2=4)				
	Tipo de Eje: 02 niveles (E1= Estático; E2=Biomimético)				
	Replicas: 1				
	Número de observaciones: 8				

Elaboración Propia

La configuración de la turbina que nos brindó un mejor desempeño fueron para las condiciones iniciales del fluido, se evaluaron 8 tipos de configuraciones siendo cada

una, una observación, determinamos el experimento en un análisis factorial de 2^3 puesto que se desea analizar la influencia de un factor sobre la variable respuesta.

El software CFD Autodesk para desarrollar la simulación del proceso utiliza modelos matemáticos, cuyo objetivo es obtener un resultado aproximado a la realidad, y esto lo realiza a través de iteraciones dentro del software cuyos parámetros son, presión temperatura, velocidad, vórtice, etc.; estos parámetros con el primer análisis que realiza el software en muchas ocasiones no se acerca a un modelo real, es por eso que el programa te permite determinar la cantidad de iteraciones para determinar el comportamiento real, cuanto más iteraciones se desarrolle los valores de los parámetros más cercanos serán a la realidad, por lo que como mínimo dentro de las simulaciones se utilizó 150 iteraciones por cada observación, ya que cuando se analizó el diseño inicial de estudio (unidad básica de estudio o diseño) se necesitó 100 iteraciones para obtener valores que convergen en una solución adecuada, entonces se utilizó como mínimo esa cantidad de iteraciones dentro del software. Cabe mencionar que las réplicas que se menciona en la técnica de recolección de datos de la investigación, se refiere a que se hizo un análisis de cada modelo dentro del software, pero dentro del software se realizó como mínimo 150 iteraciones para determinar el comportamiento adecuado y más acercado a la realidad.

CAPÍTULO V

DISEÑO

5.1. DISEÑO

5.1.1. DE LA UNIDAD BÁSICA DE ESTUDIO

Fundamentado en el diseño en espiral para una construcción Biomimética, el primer paso es identificar, por lo que se encontró que la unidad básica para realizar el diseño fue la estructura fisionómica del lirio de agua, cuyo nombre científico es “*Zantedeschia aethiopica*”. Según el Gobierno Regional de Junín(35), describe las dimensiones que tiene un canal de regadío, cuyas medidas alcanza los 80 cm de ancho por 70 de alto, en algunos sectores alcanza los 80 cm de ancho por 90 cm de alto, entonces para desarrollar el diseño, el diámetro máximo que tendrá la turbina será 70 cm, debido a que debe existir un pequeño espacio para que los álabes no golpeen las paredes del canal.



Figura N° 31: Construcción de canales de regadío

Fuente: WWW.REGIONJUNIN.GOB.PE

Como segundo paso se interpretó el elemento de la flor, en este caso la espata, para determinar el ángulo correcto que tuvo el álabe, tomamos como base de diseño una relación de ángulo, entre la vertical y el inicio del álabe, una función en proporción del número áureo Φ , donde, la presencia de la proporción aurea abarca la disposición de plantas ya árboles, además de ramas de árboles, pétalos de muchas flores e incluso en forma de las hojas (34) ; siendo: $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, y si fuese el caso modificando el ángulo de ataque de la turbina en proporción del número irracional $\sqrt{5}$, cuya cantidad permite una sucesión semejante a la naturaleza. Las dimensiones insertadas en el software se desprenden de los siguientes cálculos:

$$A = \frac{D}{2} - \frac{d}{2}$$

Si;

- $D=70\text{cm}$
- $d=1\text{plg}=2.54\text{cm}$

$$A = 33.73\text{cm}$$

El ángulo " γ " se halla mediante una proporción del número áureo $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, en este caso se usa la ecuación:

$$\gamma = \frac{90^\circ}{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}$$

$$\gamma \cong 55.62306^\circ$$

Para hallar C se necesita del ángulo " γ " que se encuentra entre la vertical y el lado C.

$$C = A \cdot \csc(\gamma)$$

$$C = 40.86797\text{cm}$$

A través de estos cálculos, se insertan las dimensiones halladas en el software, justificando que estas dimensiones cumplen el objetivo de diseño biomimético.

En la etapa de descubrir analizamos que el lirio de agua, de acuerdo con la funcionalidad de su estructura, usa el líquido para alimentarse en su interior, por lo que simular esa idea no sería la correcta, se modifica la espata de la flor, con la premisa de: al instante de ingresar el agua necesitamos que el líquido se distribuya por zonas con más área, de esta manera habrá mayor torque. En la figura 34 se desarrolla lo explicado.

Continuando con la construcción del diseño inicial, resumimos como antepenúltima etapa, que el diseño, se ha desarrollado adecuadamente, teniendo dos diseños los cuales solo usó uno, por lo cual se evaluó en el software de simulación.

En la etapa final que es emular se desarrolló la unidad básica de estudio, de acuerdo con las fórmulas de captación de potencia de una turbina está en función en el área que tiene el álabe, ya que de esta área depende el torque que realizará el giro de la turbina; por lo que se aumenta la cantidad de giros, observe en la figura N° 37 que gracias a la forma de tornillo de Arquímedes, el agua recorre por todo el álabe, aumentando la capacidad de captación, Finalmente el diseño inicial con un álabe que es la unidad básica de estudio o diseño inicial de la turbina, como el tornillo infinito de Arquímedes, pero en este caso, se debe multiplicar sobre el mismo eje de la campana 4 álabes, de esta manera se mejoró la cantidad de captación, porque la mayoría de álabes de las turbinas tienen muchas aletas, en este caso, ya que es para baja potencia, el peso es importante, debido a que la velocidad del riachuelo, debe ser muy baja para su uso.

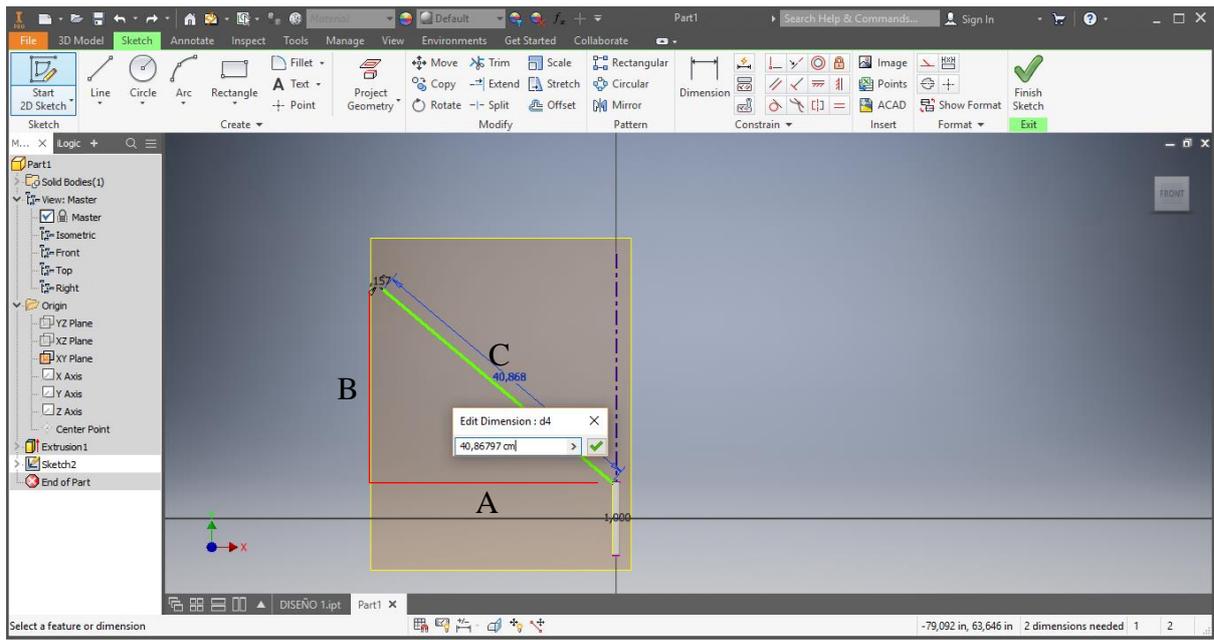


Figura N° 32: Creación de la unidad básica de estudio

Fuente: Elaboración Propia

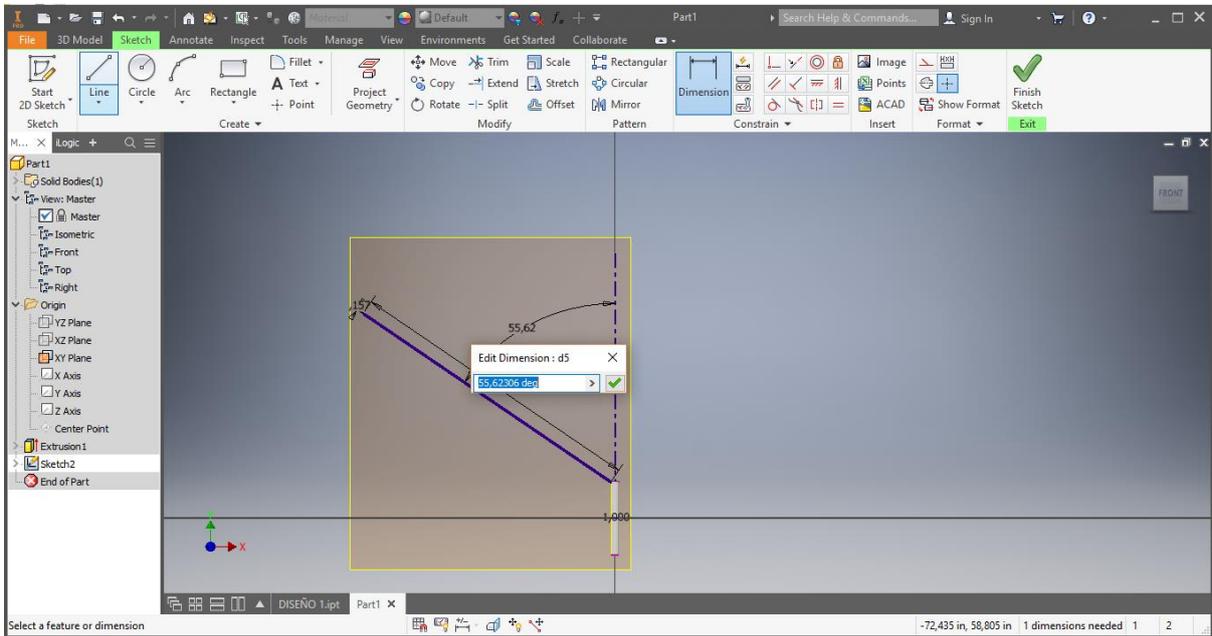


Figura N° 33: Dimensionamiento del ángulo de recepción

Fuente: Elaboración Propia

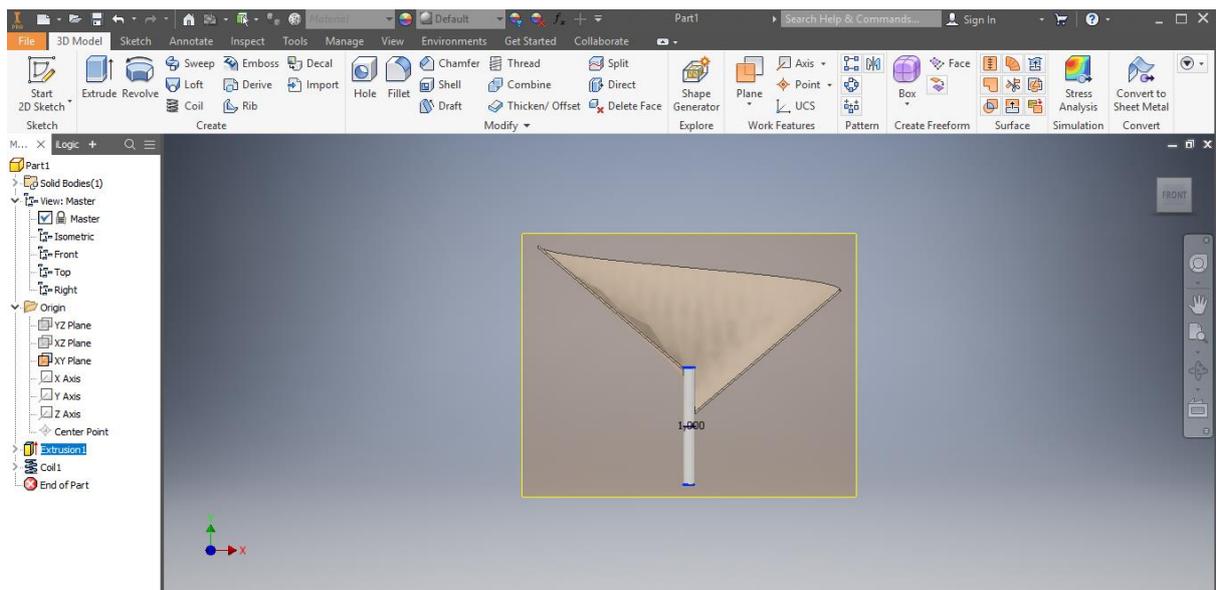


Figura N° 34: Creación del álabe

Fuente: Elaboración Propia

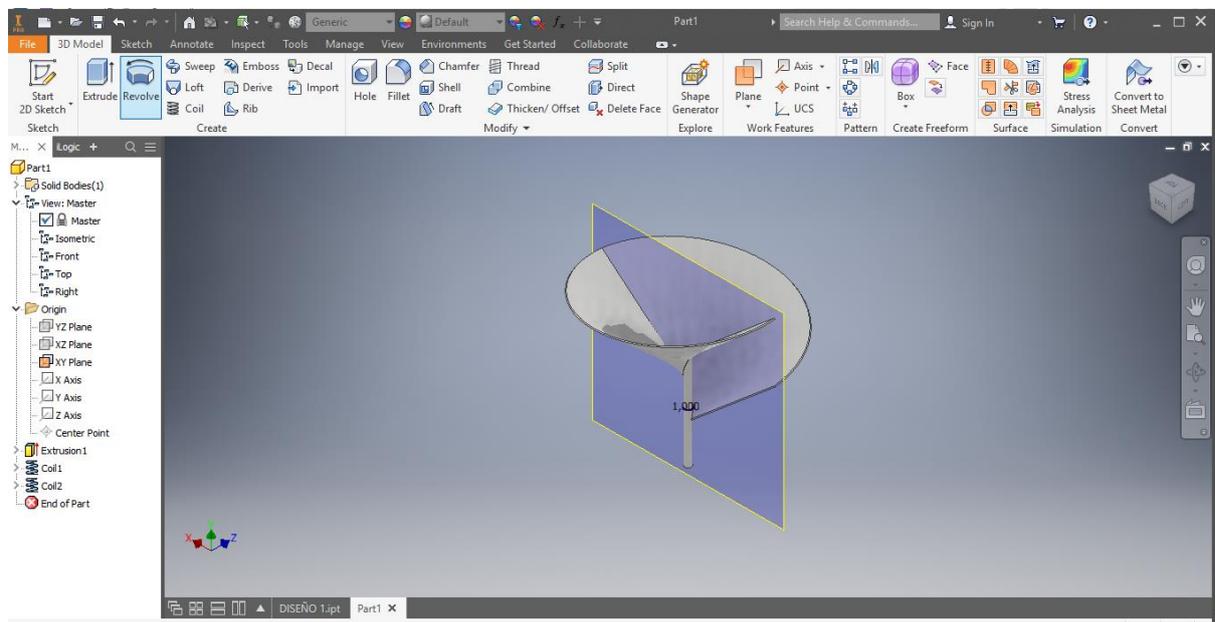


Figura N° 35: Creación de la continuación del álabe

Fuente: Elaboración Propia

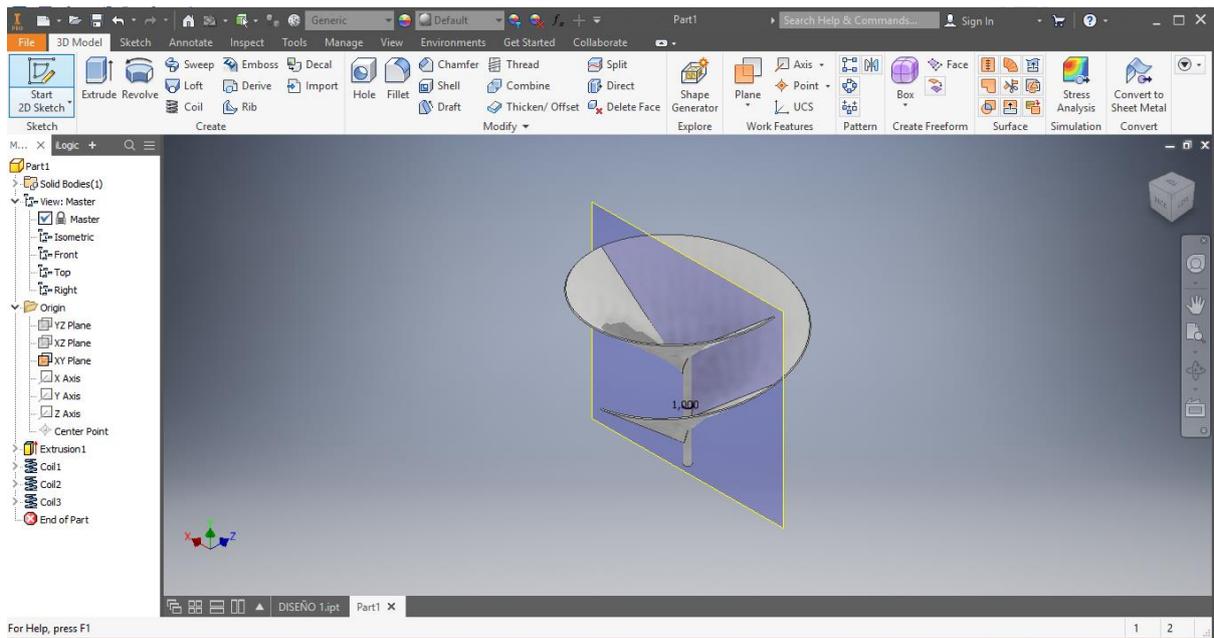


Figura N° 37: Creación del pétalo emulando a la “Flor de Lirio”

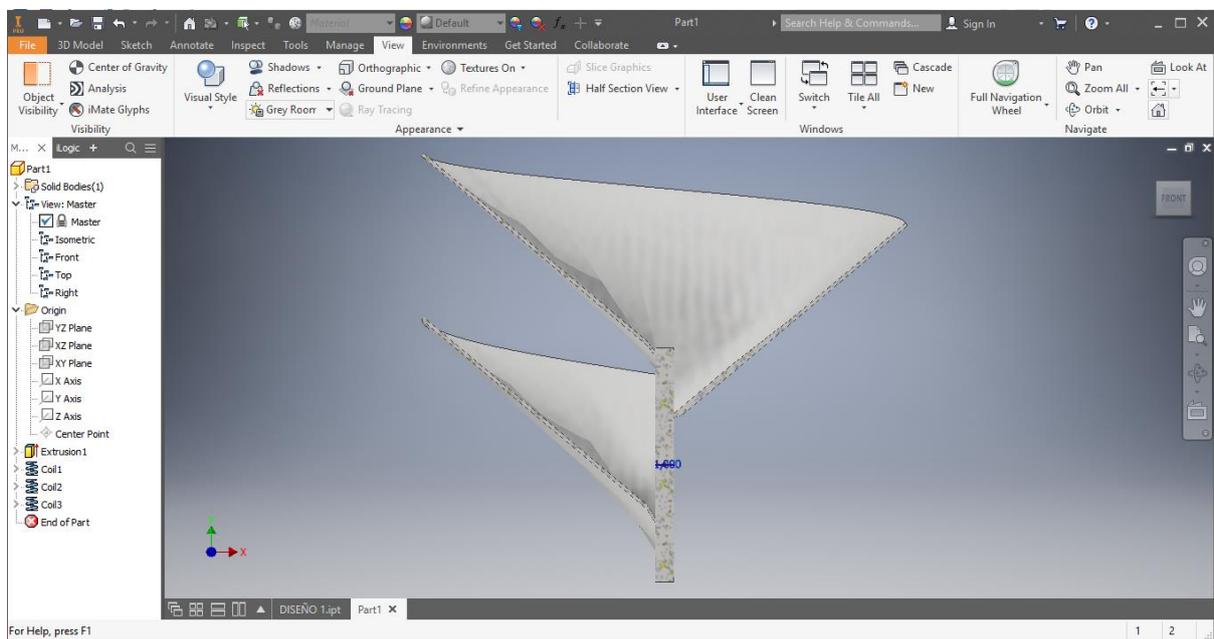


Figura N° 36: Corte 1/2 del diseño

Fuente: Elaboración Propia

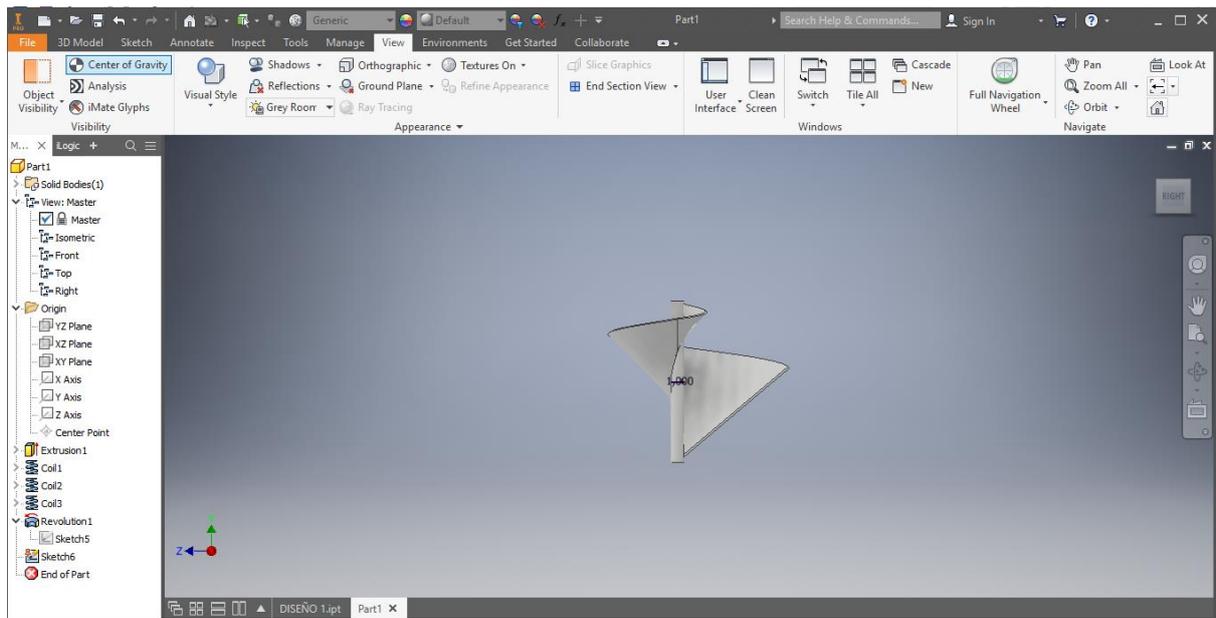


Figura N° 38: Resultado final de la unidad básica de estudio vista frontal

Fuente: Elaboración Propia

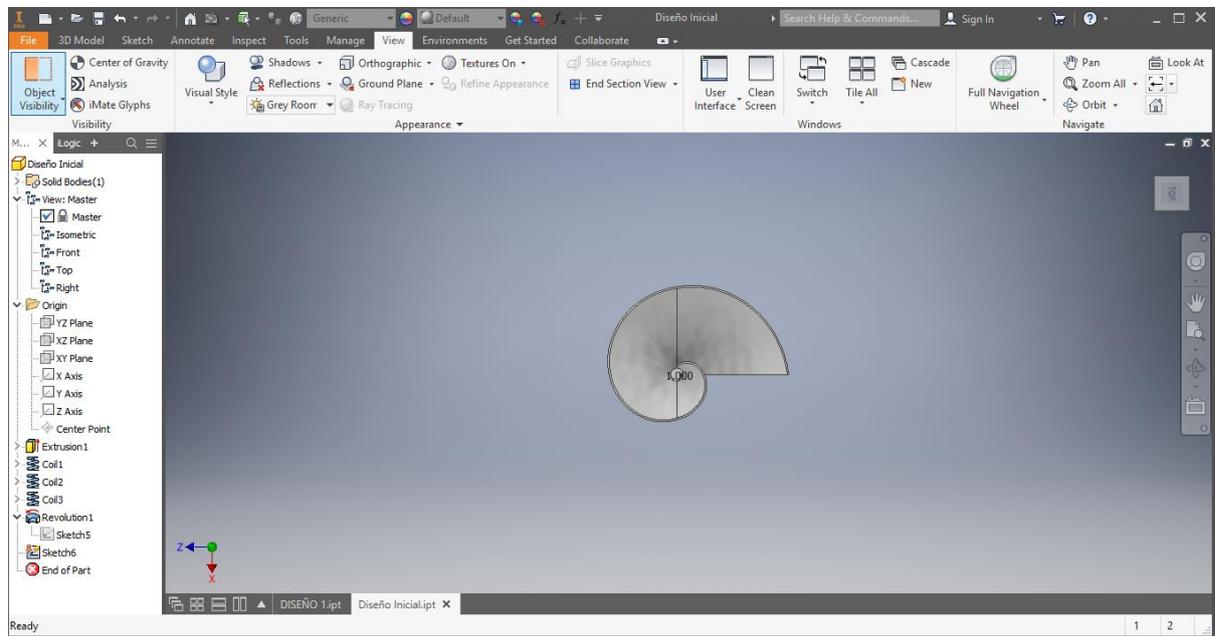


Figura N° 39: Resultado final de la unidad básica de estudio vista planta

Fuente: Elaboración Propia

Después de realizar la investigación de diseño de solución se realizó la construcción con los materiales adecuados, de esta manera se completó la construcción del producto y estuvo lista para unirse campana tras campana, y se puede ver a continuación el proyecto construido.

5.1.2. DISEÑO DE LA TURBINA A1-C1-E1

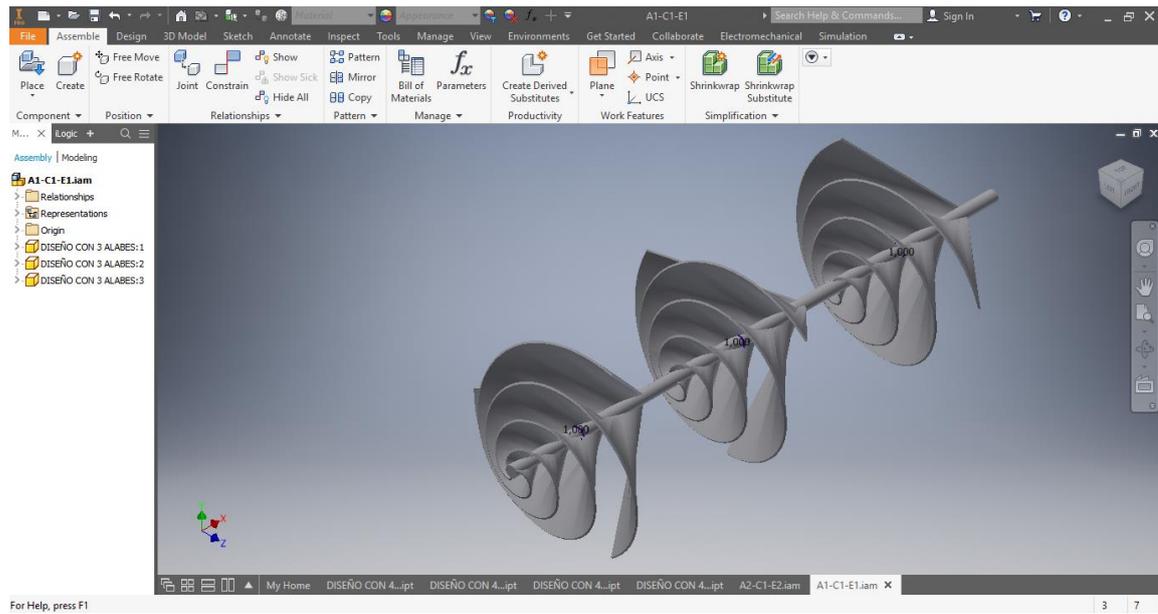


Figura N° 40: Construcción de la turbina A1-C1-E1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8: Características de la turbina A1-C1-E1

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	45	Cm
Longitud Total	1.20	Cm
Campanas	3	Unidades
Alabes	3	Unidades
Tipo de Eje	Estático	-----

Elaboración propia

Se procedió con la construcción de la turbina, gracias al diseño inicial, en el que se realizó la réplica del álabe sobre el eje, proponiendo para este modelo de turbina 3 álabes, con 3 campanas en los que el eje no tendrá movimiento, en la figura 40, se aprecia que la separación de turbina en turbina es de 4 pulgadas, debido a que en el análisis del vector fluido de la unidad básica de estudio se apreció que a partir de 10cm la velocidad del agua vuelve a tener casi la velocidad inicial.

Tabla N° 9: Características de la turbina A1-C1-E2

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	45	Cm
Longitud Total	1.20	Cm
Campanas	3	Unidades
Alabes	3	Unidades
Tipo de Eje	Biomimético	-----

Elaboración propia

5.1.3. DISEÑO DE LA TURBINA A1-C1-E2

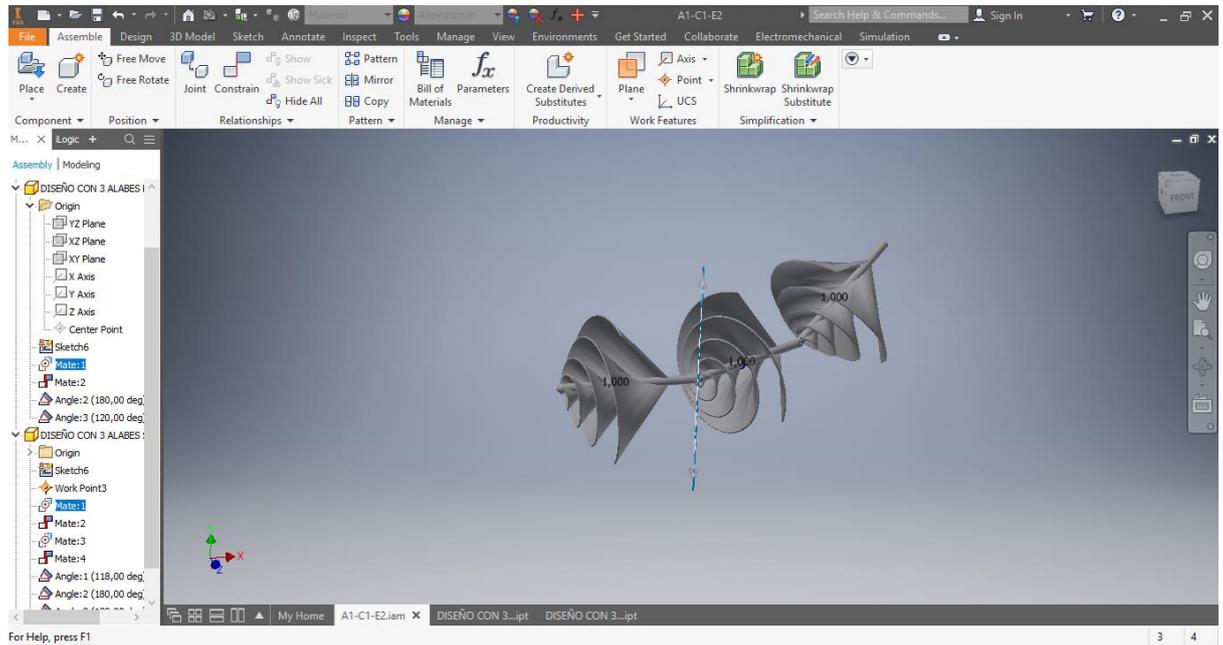


Figura N° 41: Construcción de la turbina A1-C1-E2

Fuente: Elaboración Propia

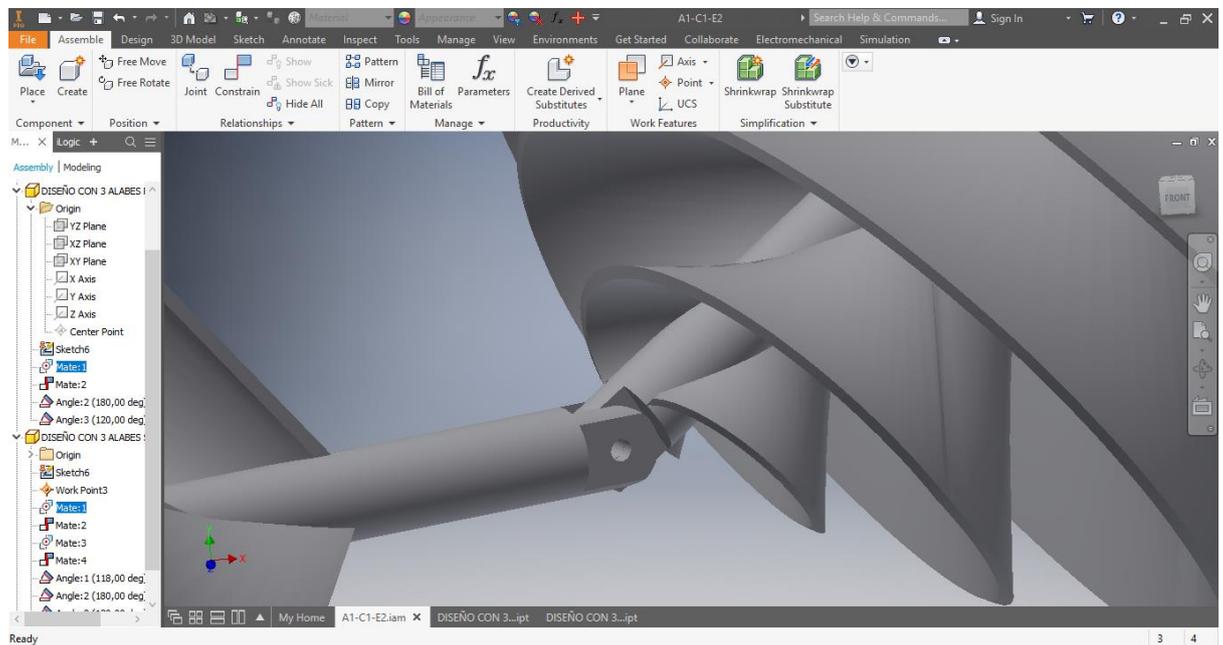


Figura N° 42: Ensamblaje de campanas para ejes biomiméticos.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°42 se aprecia cómo se realiza el ensamblaje de las campanas para los ejes biomiméticos, esta cualidad de la turbina que se realizó, fue en un inicio para aprovechar la forma de onda que pueda llegar a tener el agua.

Se aprecia también que en el menú desplegable del software AUTODESK INVENTOR “Assembly” de las figuras N°41, N°42 y las demás turbinas en donde el eje es biomimético, se establece el ángulo en la que se debe mover la turbina siendo 90° como máximo de grados de libertad que debe tener, antes de que se detecte una colisión, esto se realiza mediante la configuración de movimiento y determinando los ángulos de movimiento en la Pestaña “DRIVE”, después de haber acoplado las dos campanas consecuentes, el ángulo permite que, cuando exista un fluido muy caudaloso las campanas no lleguen a golpearse, con la capacidad de apartarse a la forma de vertiente de los afluentes en donde la turbina va a trabajar. Diseño de la turbina A1-C2-E1

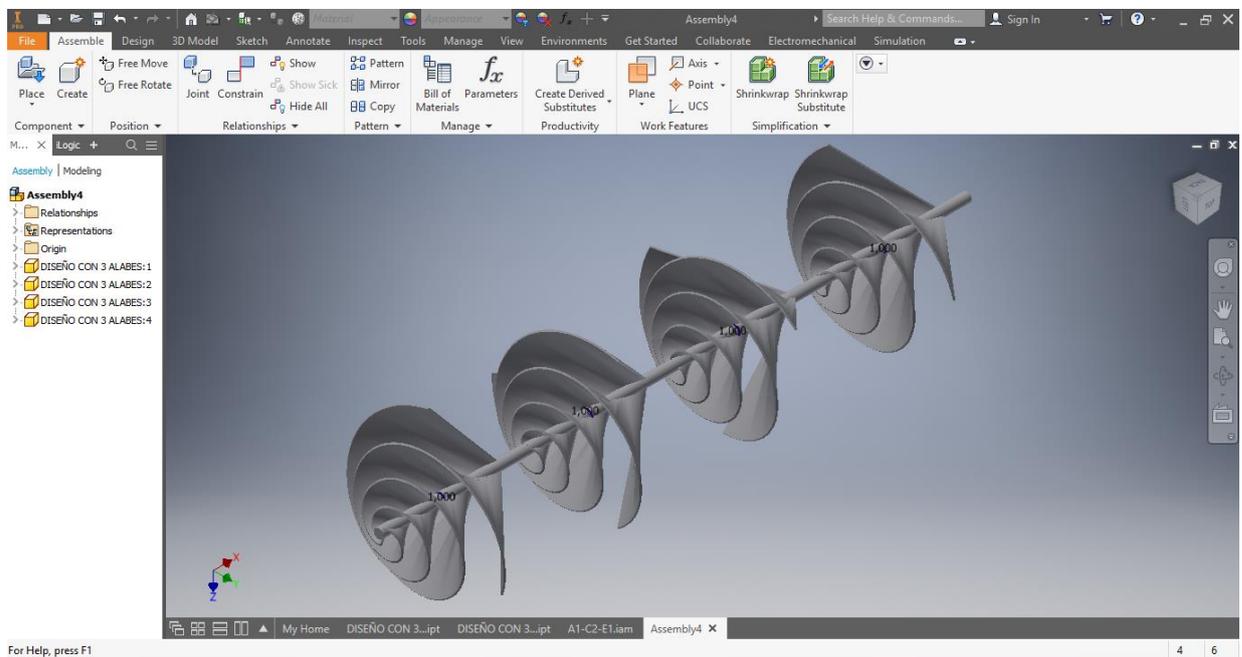


Figura N° 43: Construcción de la turbina A1-C2-E1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 10: Características de la turbina A1-C2-E1

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	45	cm
Longitud Total	1.65	cm
Campanas	4	unidades
Alabes	3	Unidades
Tipo de Eje	Estático	-----

Elaboración propia

En las turbinas de eje estático para 3 campanas se giró en el ensamble 90° para que la siguiente turbina pueda tener un poco de fluido por los álabes que no completan el giro.

5.1.4. DISEÑO DE LA TURBINA A1-C2-E2

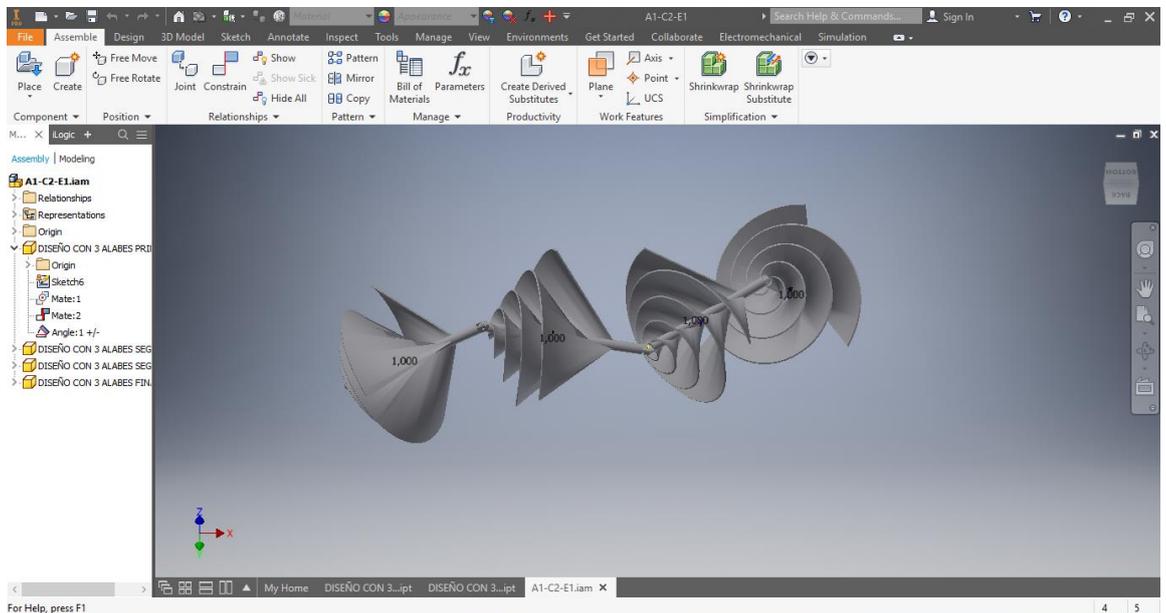


Figura N° 44: Construcción de la turbina A1-C2-E2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11: Características de la turbina A1-C2-E2

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	45	Cm
Longitud Total	1.65	Cm
Campanas	4	unidades
Alabes	3	Unidades
Tipo de Eje	Biomimético	-----

Elaboración propia

Se aprecia en la figura N° 44 que cada campana se mueve en los 2 planos perpendiculares al eje de la turbina, esto permite que tengan una similitud a las algas de ríos, que también es una forma de desarrollar el diseño biomimético más completo.

En la figura N°45 de la investigación se aprecia que para el segundo bloque de diseño experimental 2³ se comienza con poner 4 álabes a las turbinas, esta cantidad de álabes se propuso debido a que en el análisis del elemento básico de estudio se pudo comprobar que cuanto más área tenga las turbina más presión llegará a tener.

En las siguientes 4 turbinas desarrolladas se describen que tuvieron el mismo desarrollo de las 4 primeras, modificando solo la cantidad de álabes como factor, para las restantes, las cuales se aprecian a continuación:

5.1.5. DISEÑO DE LA TURBINA A2-C1-E1

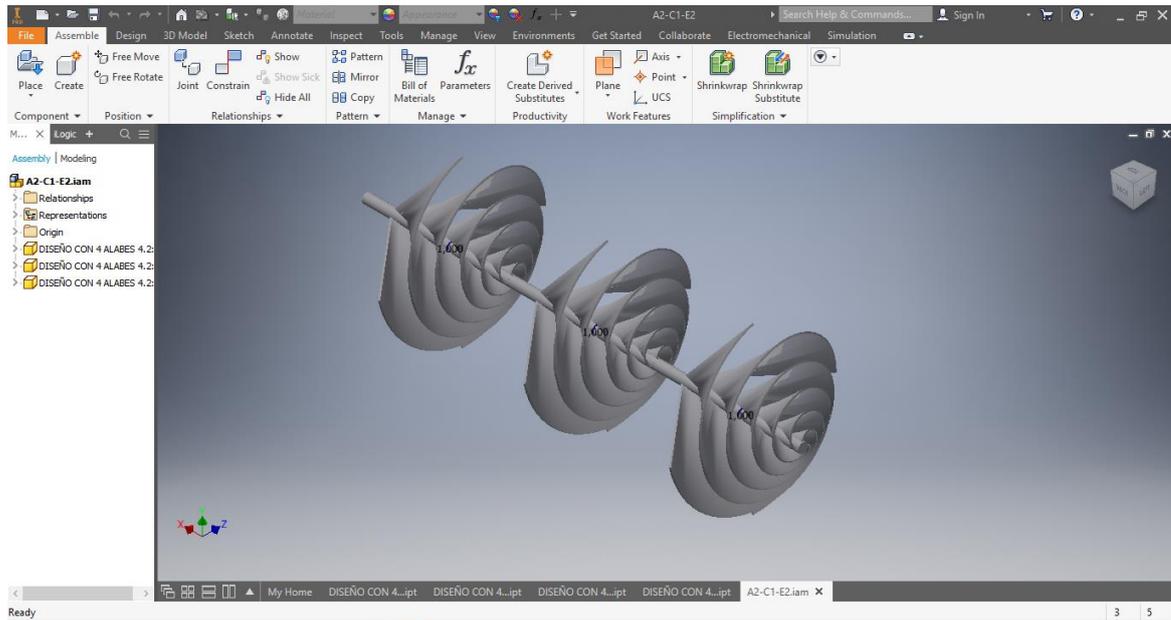


Figura N° 45: Construcción de la turbina A2-C1-E1

Fuente: Elaboración Propia

La turbina A2-C1-E1 se desarrolla a través de la combinación de 3 campanas, en el cual cada campana tiene 4 álabes.

Tabla N° 12: Características de la turbina A2-C1-E1

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	55	cm
Longitud Total	1.20	cm
Campanas	3	unidades
Alabes	4	Unidades
Tipo de Eje	Estático	-----

Elaboración Propia

5.1.6. DISEÑO DE LA TURBINA A2-C1-E2

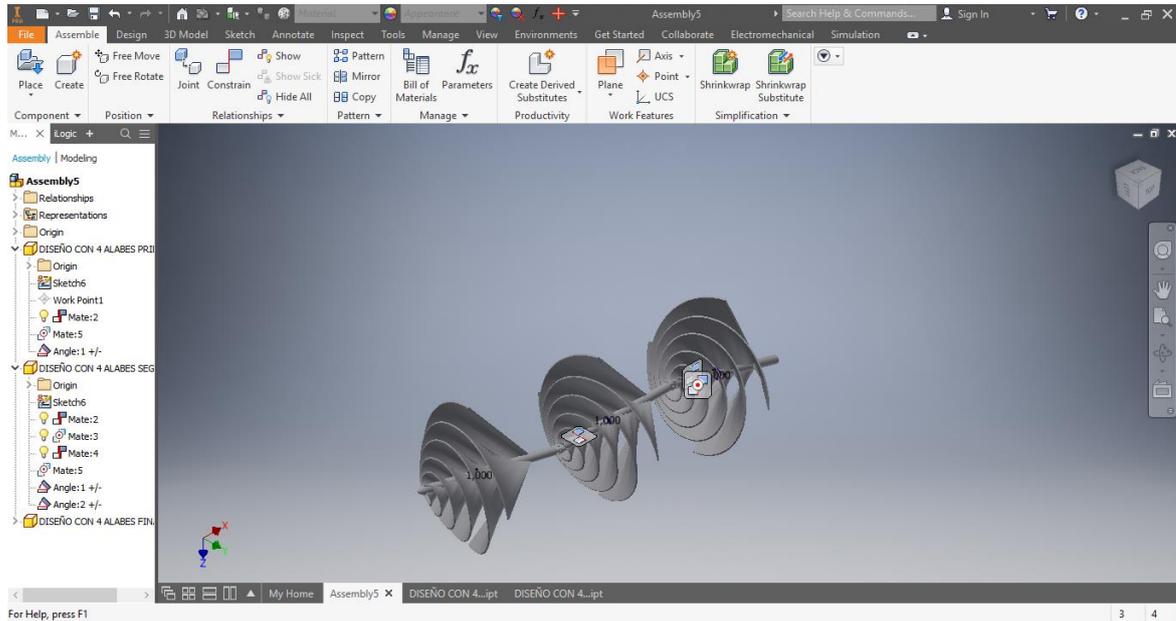


Figura N° 46: Construcción de la turbina A2-C1-E2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 13: Características de la turbina A2-C1-E2

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	55	cm
Longitud Total	1.20	cm
Campanas	3	unidades
Alabes	4	Unidades
Tipo de Eje	Biomimético	-----

Elaboración propia

5.1.7. DISEÑO DE LA TURBINA A2-C2-E1

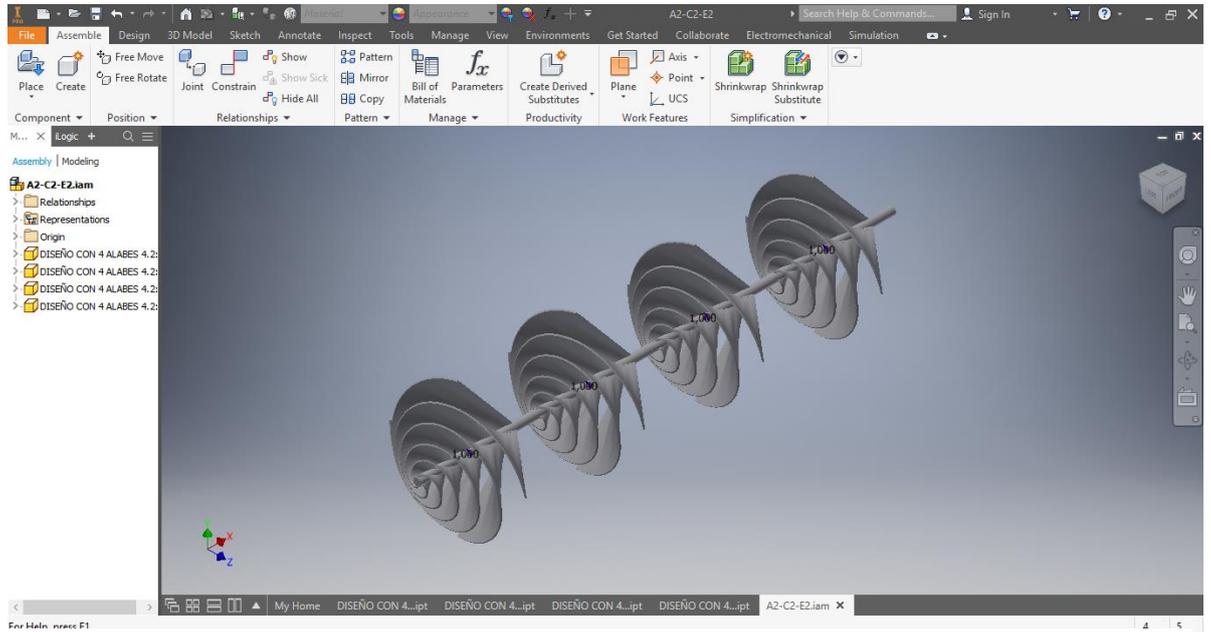


Figura N° 47: Construcción de la turbina A2-C2-E1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 14: Características de la turbina A2-C2-E1

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	55	cm
Longitud Total	1.65	cm
Campanas	4	unidades
Alabes	4	Unidades
Tipo de Eje	Estático	-----

Elaboración propia

5.1.8. DISEÑO DE LA TURBINA A2-C2-E2

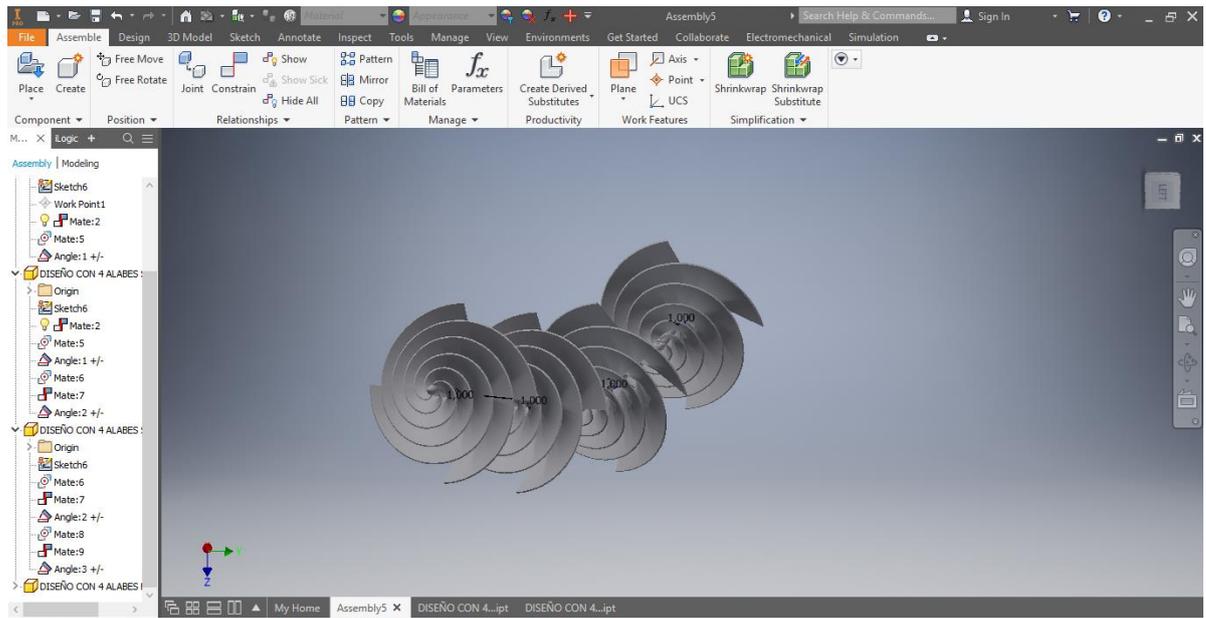


Figura N° 48: Construcción de la turbina A2-C2-E2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15: Características de la turbina A2-C2-E2

Elemento	Magnitud	Unidad
Diámetro	55	cm
Longitud Total	1.65	cm
Campanas	4	unidades
Alabes	4	Unidades
Tipo de Eje	Biomimético	-----

Elaboración propia

CAPÍTULO VI

SIMULACIÓN

En esta etapa se “construyó” virtualmente las turbinas, a través de la combinación de los factores descritos en los antecedentes y los requerimientos del diseño; la construcción se desarrolló mediante el software INVENTOR Autodesk, en el cual se unieron las piezas de cada factor, además de desarrollar características dentro del software como movimiento, para que el eje propuesto se adapte a las ondas de los recursos hídricos como ríos, riachuelos o canales de regadío. Para la simulación se construyó un ambiente virtual basado en las características del canal de regadío con la finalidad de obtener datos, mediante la inserción de las dimensiones métricas del canal, cuyas especificaciones constituyeron el volumen de trabajo del fluido dentro del software CFD Autodesk.

6.1. PRUEBAS Y RESULTADOS

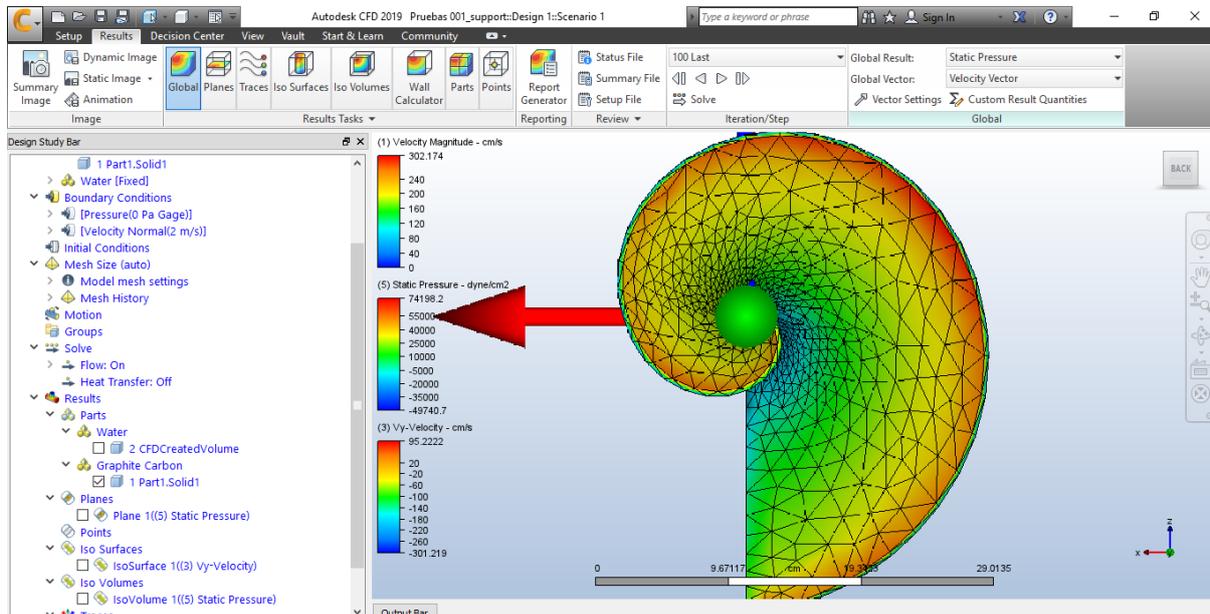


Figura N° 49: Mallado y análisis de presión de la unidad básica de estudio

Fuente: Elaboración Propia

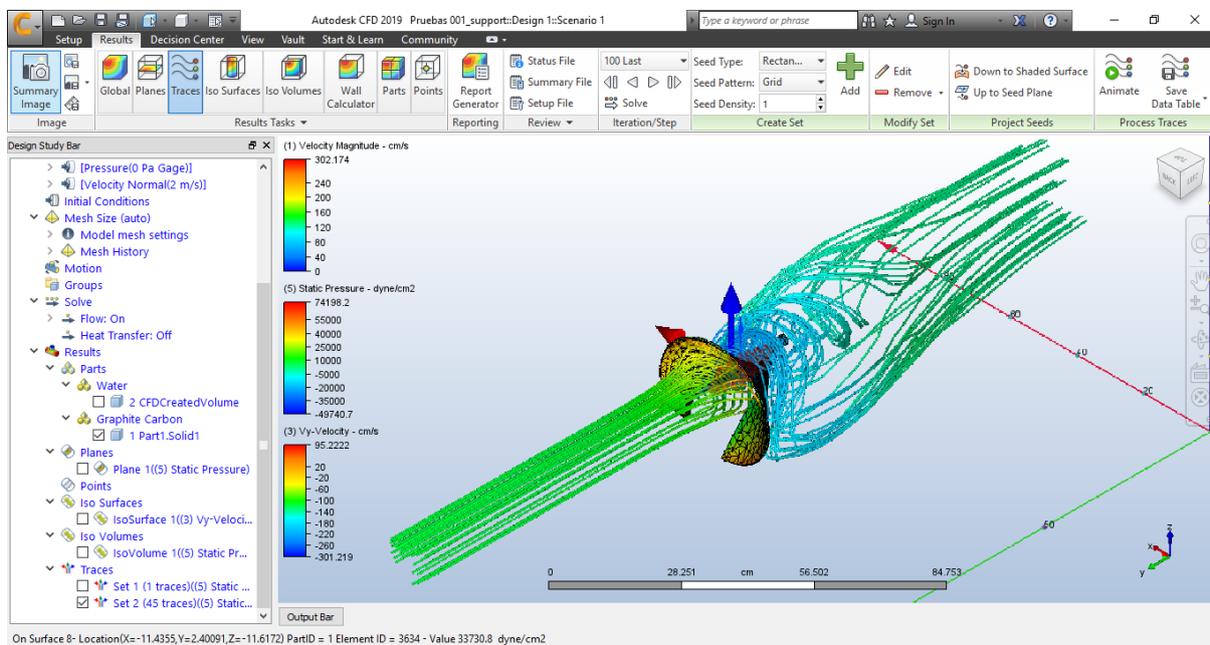


Figura N° 50: Simulación del efecto del fluido sobre la campana

Fuente: Elaboración Propia

Después de construir, ensamblar y analizar el movimiento de las turbinas, se procedió a desarrollar las pruebas en la simulación. En gran medida esta etapa es el eje de esta investigación, debido a que cuando se desarrolló en la metodología el diseño de 2 factores elevado a la potencia 3, los datos que se tuvieron que evaluar como resultado son los que se muestran en la imagen N°49. Se realizó el análisis de presión que tuvo la unidad básica de estudio, en muchas oportunidades se tuvo que revisar el proyecto debido a que se analizó que cuando las iteraciones son menores, pueden tener un efecto de error en la simulación, por lo que se encontró que por lo menos para tener un dato fiable de estas turbinas, la cantidad mínima de iteraciones no debía ser menos de 100.

En la figura N°49 se aprecia que la presión es más en los bordes de la unidad básica de estudio, llegando a los 55000 dina/cm, demostrando que en tales lugares la presión es mejor, como se puede evidenciar en la figura N°49 la presión abarca toda el área de diseño, dejando solo una baja presión en las partes cercanas a las salidas del agua.

En la figura N°50 se aprecia que en la simulación del fluido, la parte que ingresa en la turbina atraviesa todo el sistema, pero disminuye su velocidad, por lo que se entiende que poner una campana tras de otra mejora la capacidad de captación de fluido en menor cantidad de fluido en comparación de la primera campana y la siguiente, en la figura N°50 se llega a visualizar que después de 10cm aproximadamente, el fluido vuelve a tener la velocidad inicial, pero con un poco de turbulencia, esto debido al diseño. Mediante la simulación de distancia mínima se colocó la turbina a 10cm de distancia provocando que el torque que en la pared N°1 de la simulación sea de 46.71N-m para 2m/s de velocidad de agua, mientras que en la pared N°2 se encontró un par de 13.13 N-m. Entonces se consideró en el diseño la distancia de 10cm para las turbinas.

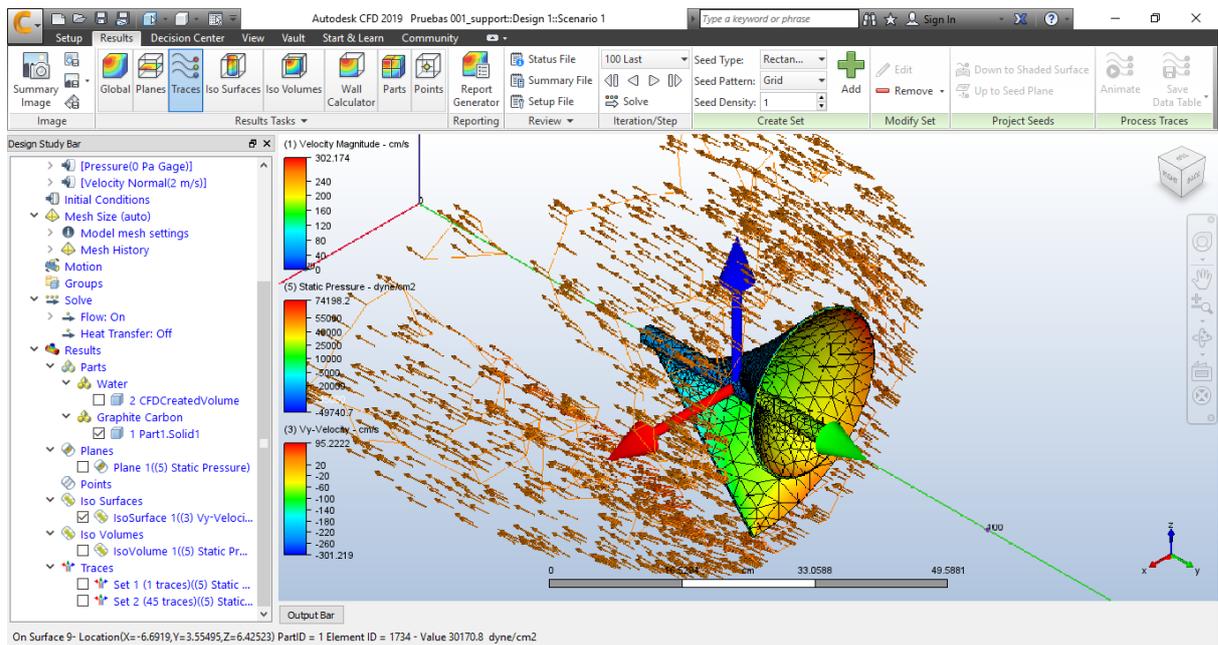


Figura N° 51: Efectos de los vectores de velocidad del agua fuera de la unidad básica de estudio.

Fuente: Elaboración Propia

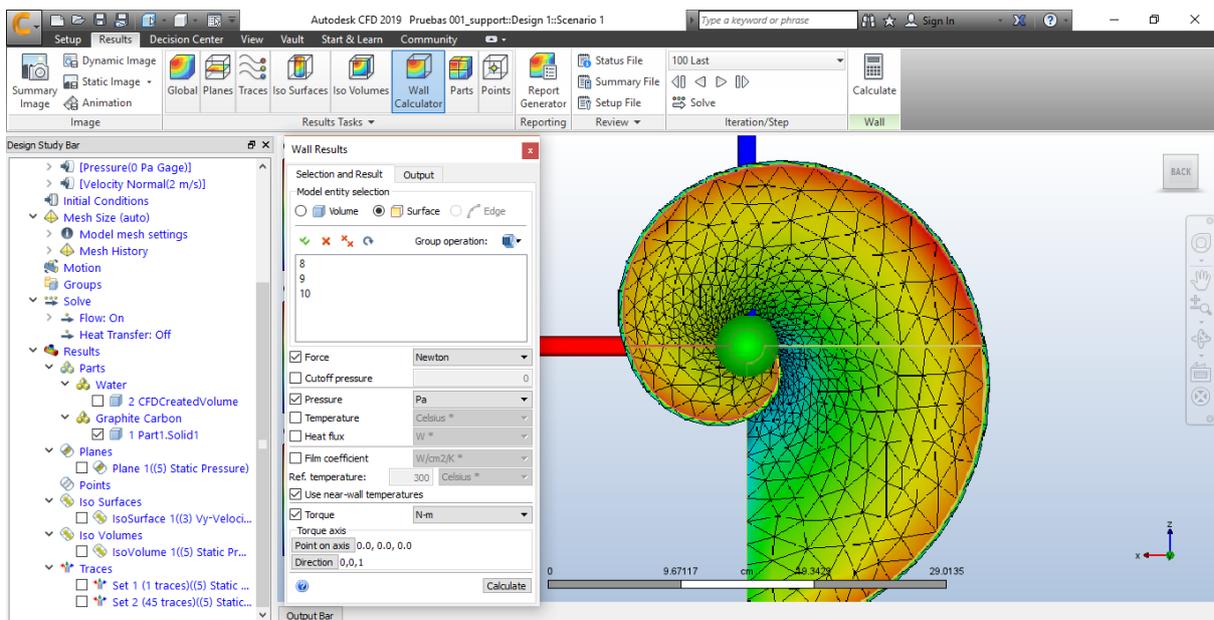


Figura N° 52: Análisis de la presión sobre las paredes de la unidad básica de estudio

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en la figura N°51, que los vectores de velocidad de agua fuera de la unidad básica de estudio alcanzan velocidades de hasta 200 cm/s, esto debido a que el fluido no atraviesa al elemento básico de estudio. En la figura N°52 se aprecia que para evaluar el resultado en paredes se tiene que seleccionar las paredes que se desean analizar, en este caso debido a que en la construcción de la unidad se desarrolló en 3 giros para tener diferentes niveles de área en su estructura, se tiene 3 paredes en un álabe.

En la figura N°53 se aprecia que se ha seleccionado las 3 paredes del álabe, entregando 3 resultados por pares, en las que se seleccionó fuerza, presión y torque, de esta manera la magnitud de torque que tiene en 2m/s de velocidad de agua para la unidad básica de estudio, llegó a 10.385 N-m. En la figura N°54 se aprecia la cantidad de iteraciones que realiza el software de simulación, cuantas más simulaciones realice el sistema más se acercará a la realidad.

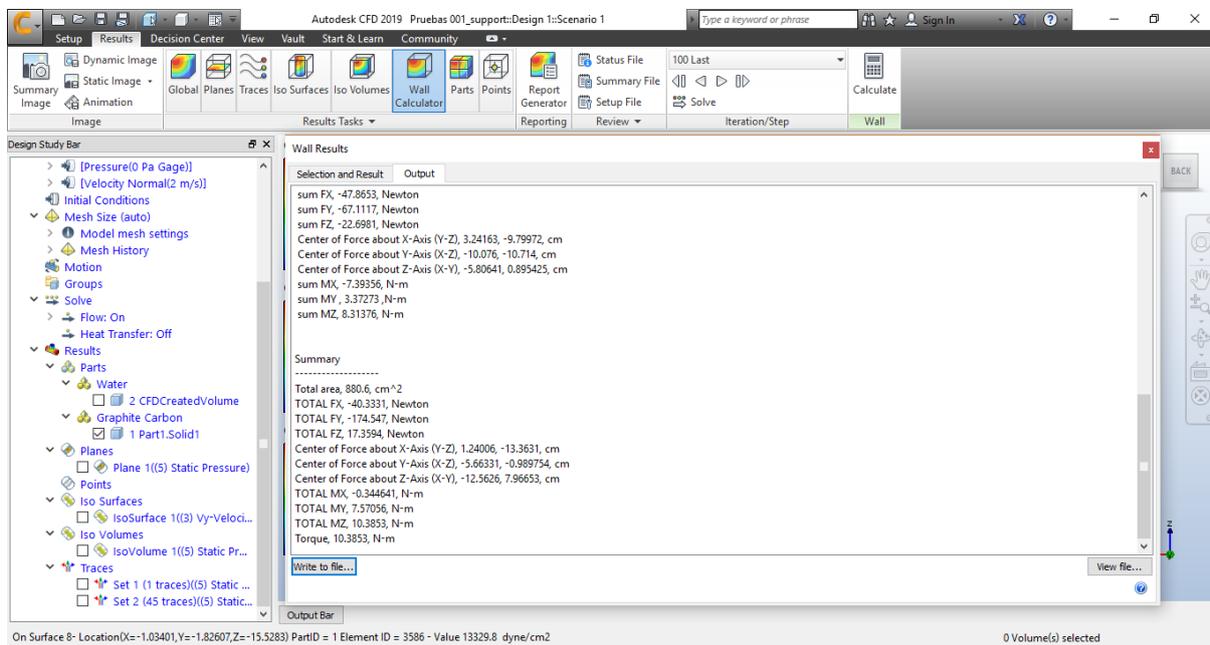


Figura N° 53: Obtención de la cantidad de total de torque de la unidad básica de estudio para 2m/s de velocidad de agua

Fuente: Elaboración Propia

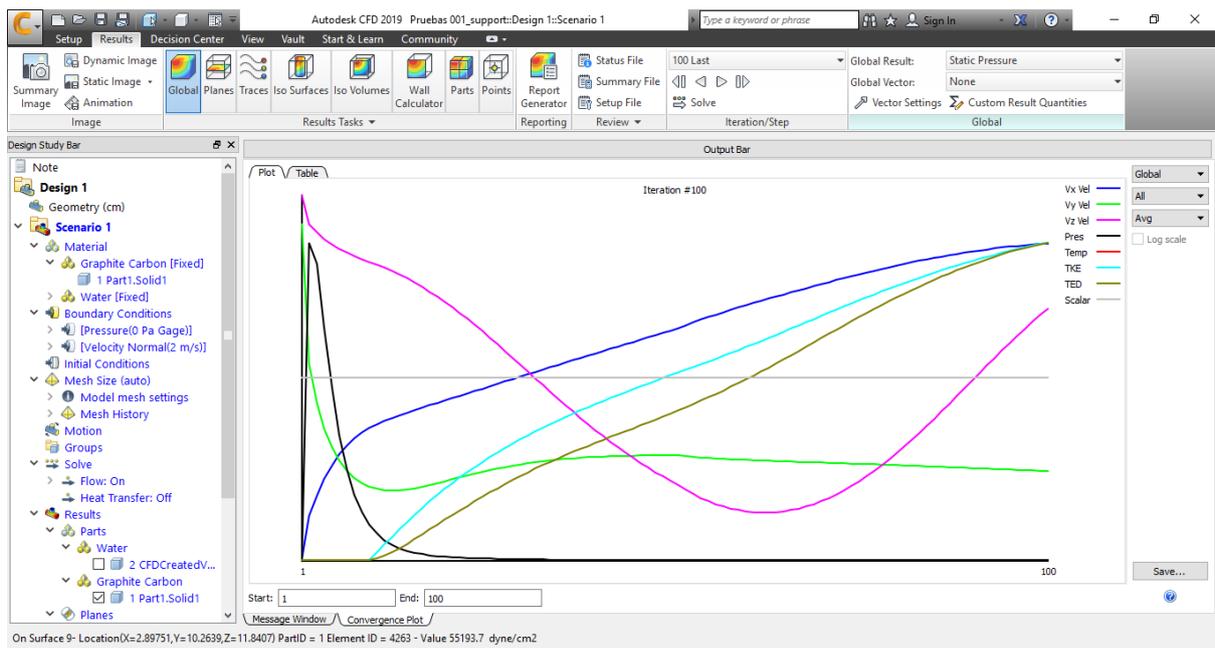


Figura N° 55: Análisis de las 100 iteraciones para la evaluación de la unidad básica de estudio
Fuente: Elaboración Propia

6.1.1. SIMULACIÓN DE LA TURBINA E1-C1-E1

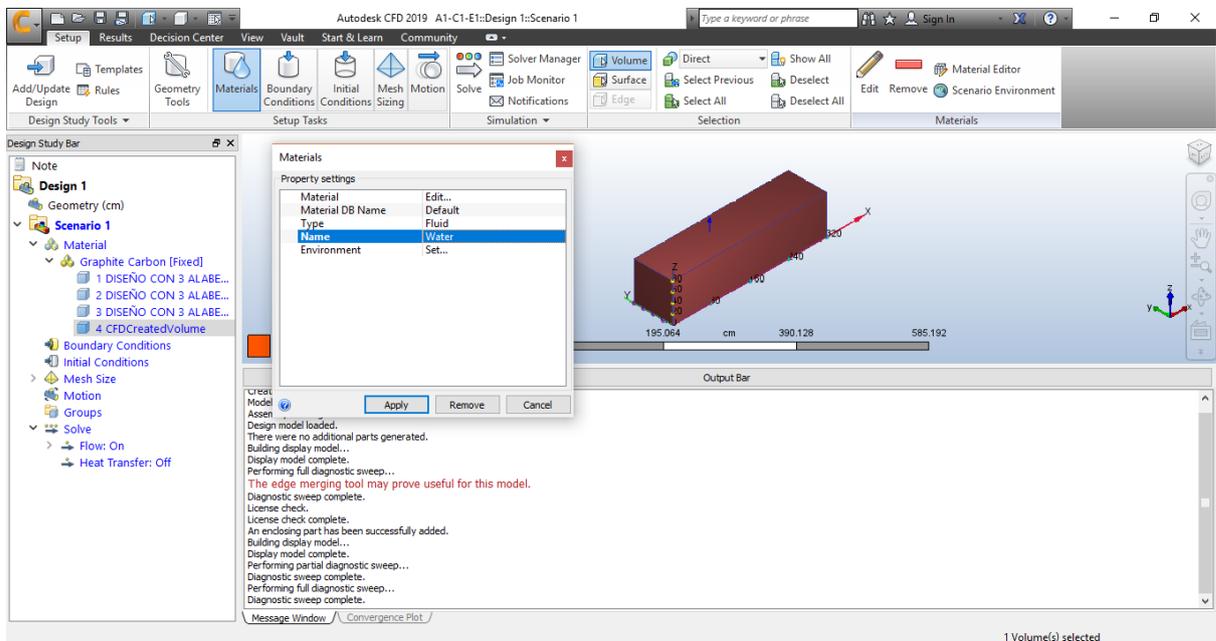


Figura N° 54: Edición del fluido para la simulación A1-C1-E1
Fuente: Elaboración Propia

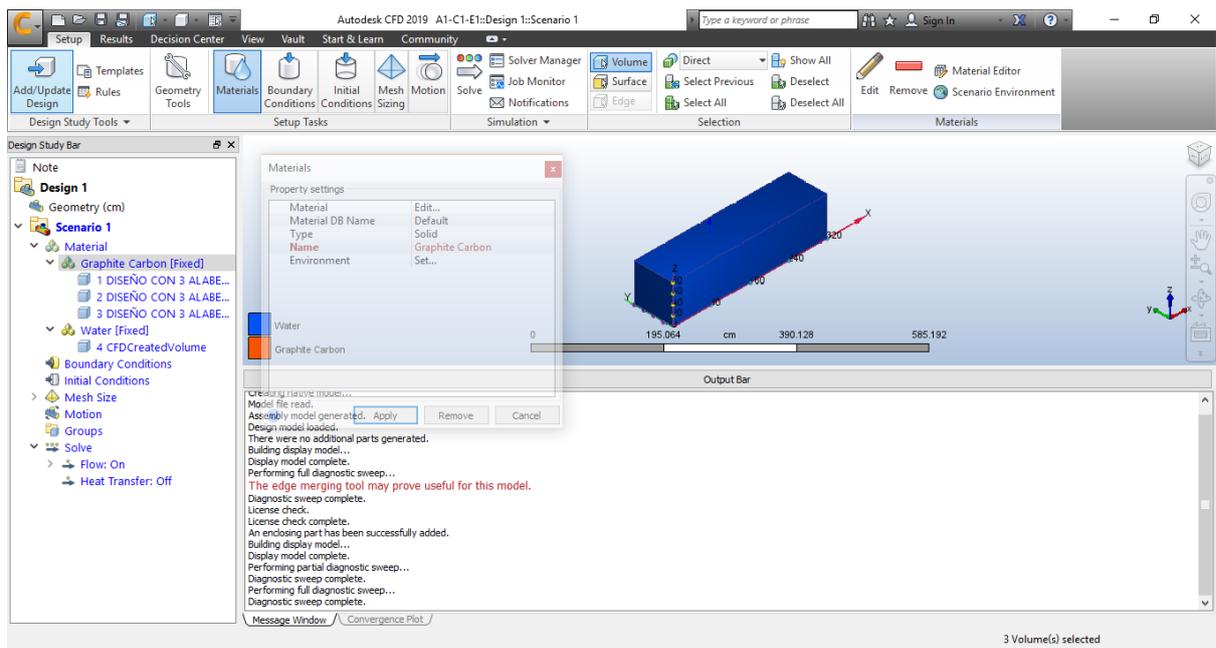


Figura N° 56: Edición de material de la turbina A1-C1-E1

Fuente: Elaboración Propia

En el Software CFD Autodesk, para la evaluación de nuestras turbinas el primer paso fue determinar el fluido en la que estuvieron sometidos las turbinas, por tratarse de una turbina hidráulica el fluido por defecto fue agua, se debe resaltar que el software ofrece diferentes tipos de fluidos para la simulación. Seguidamente se edita el material de la turbina, en este caso se usó como material la fibra de carbono, por sus buenos resultados ante efectos mecánicos de presión. En la parte de condiciones de frontera se puso como parámetro la velocidad en la que va a venir el agua y esa es la parte delantera de la turbina, después se editó la parte trasera del fluido, cambiando la presión estática en la parte posterior de la turbina, con la finalidad de que el fluido al final de la trayectoria tenga una velocidad más realista. En la figura N°59 se realizó

la construcción automática del mallado y finalmente se editaron los parámetros de solución de la turbina.

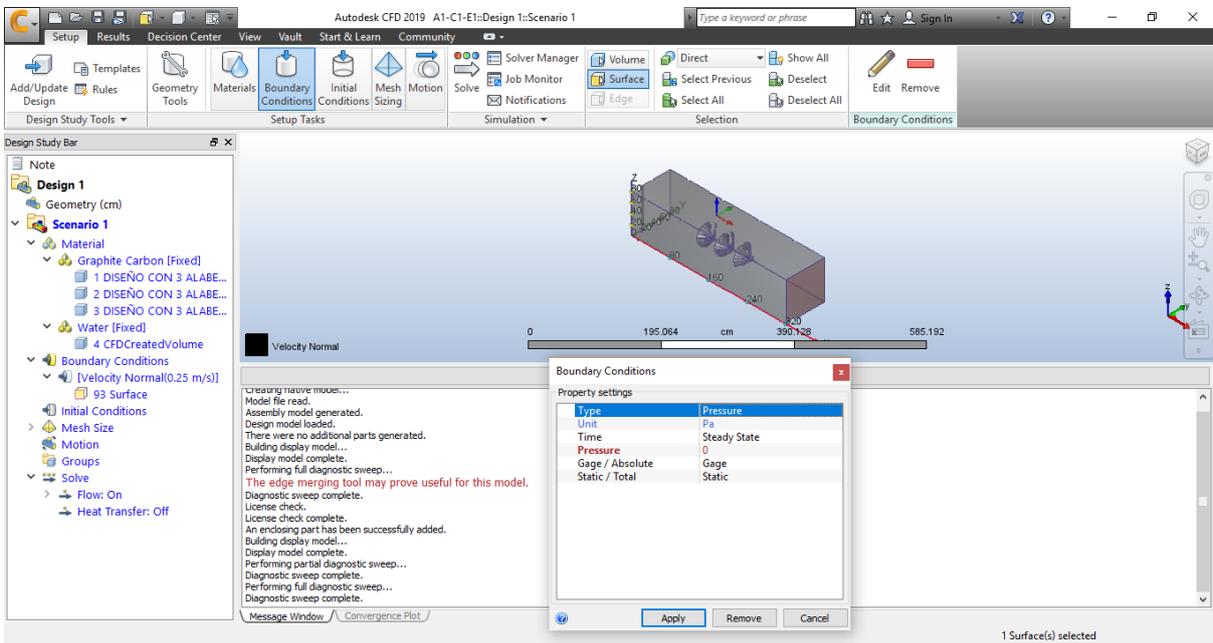


Figura N° 57: Edición de las condiciones de frontera para la presión del fluido

Fuente: Elaboración Propia

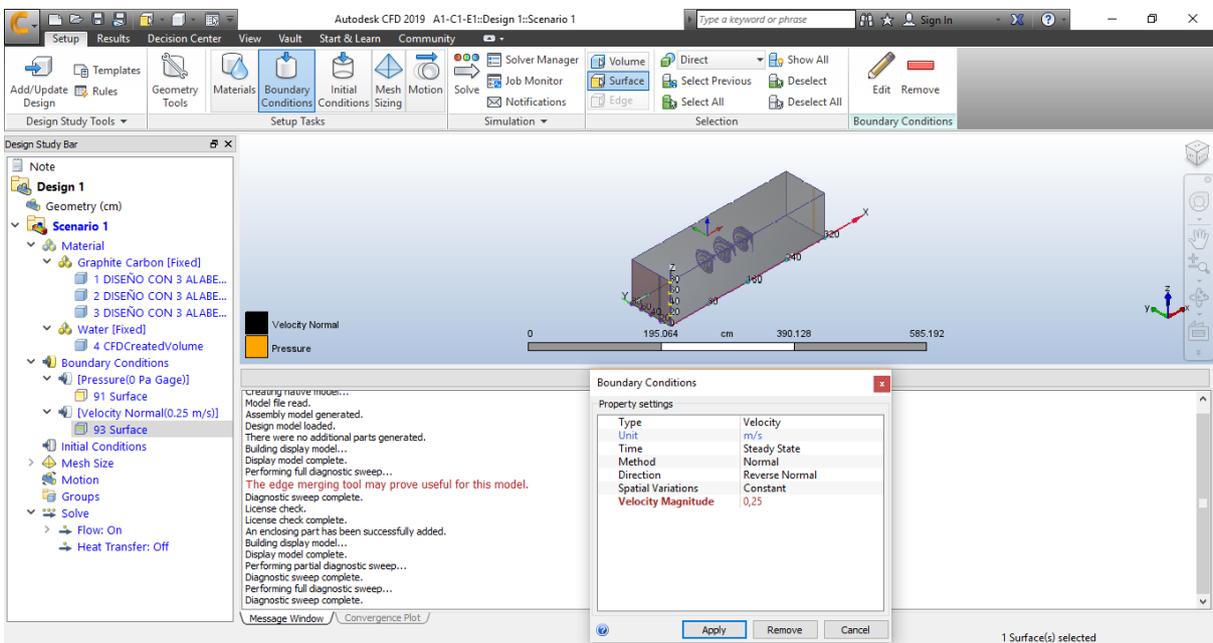


Figura N° 58: Edición de las condiciones de frontera para la velocidad en la entrada del fluido

Fuente: Elaboración

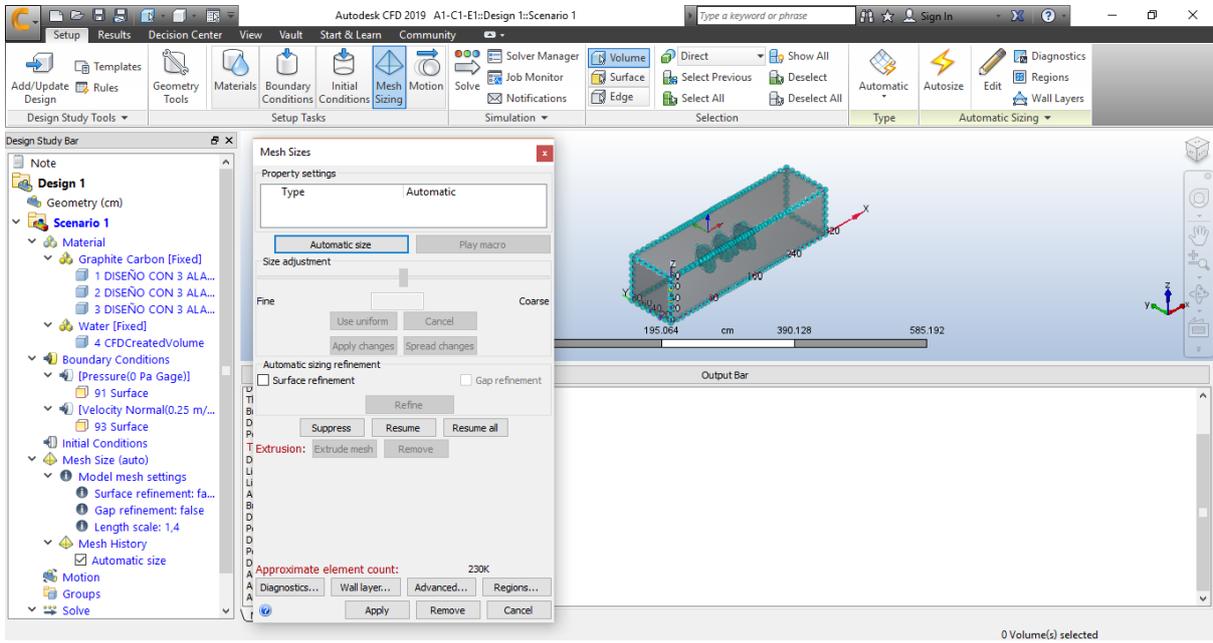


Figura N° 59: Mallado par evaluación del fluido cuando llegue a las intersecciones de los nodos

Fuente: Elaboración Propia

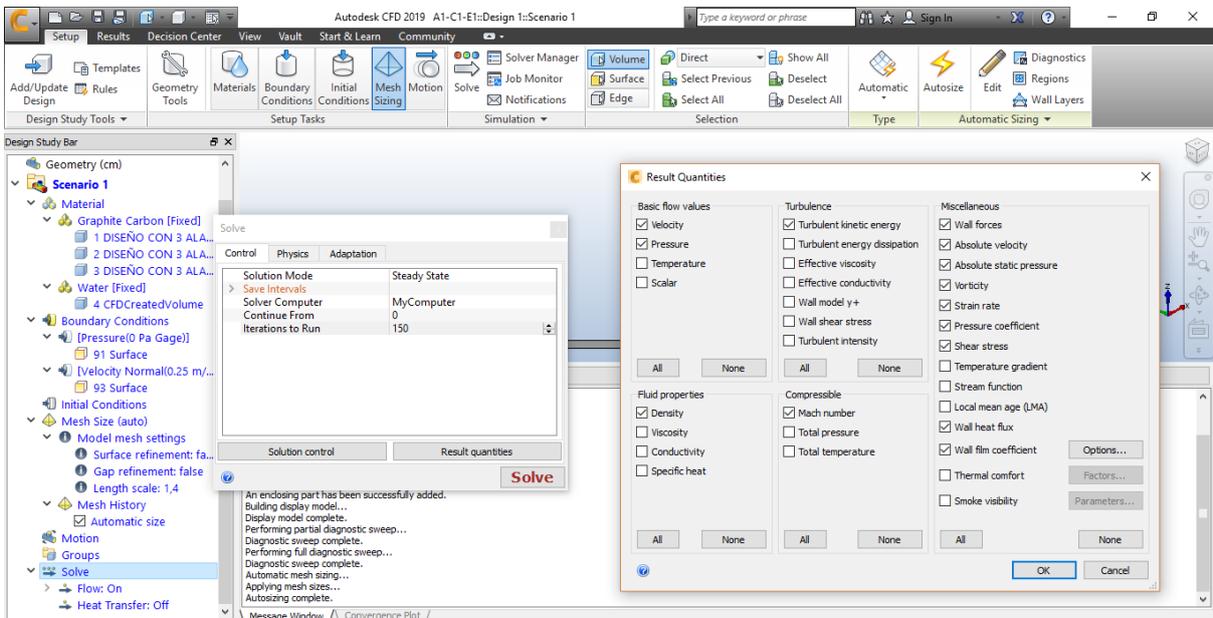


Figura N° 60: Edición de las condiciones de solución

Fuente: Elaboración Propia

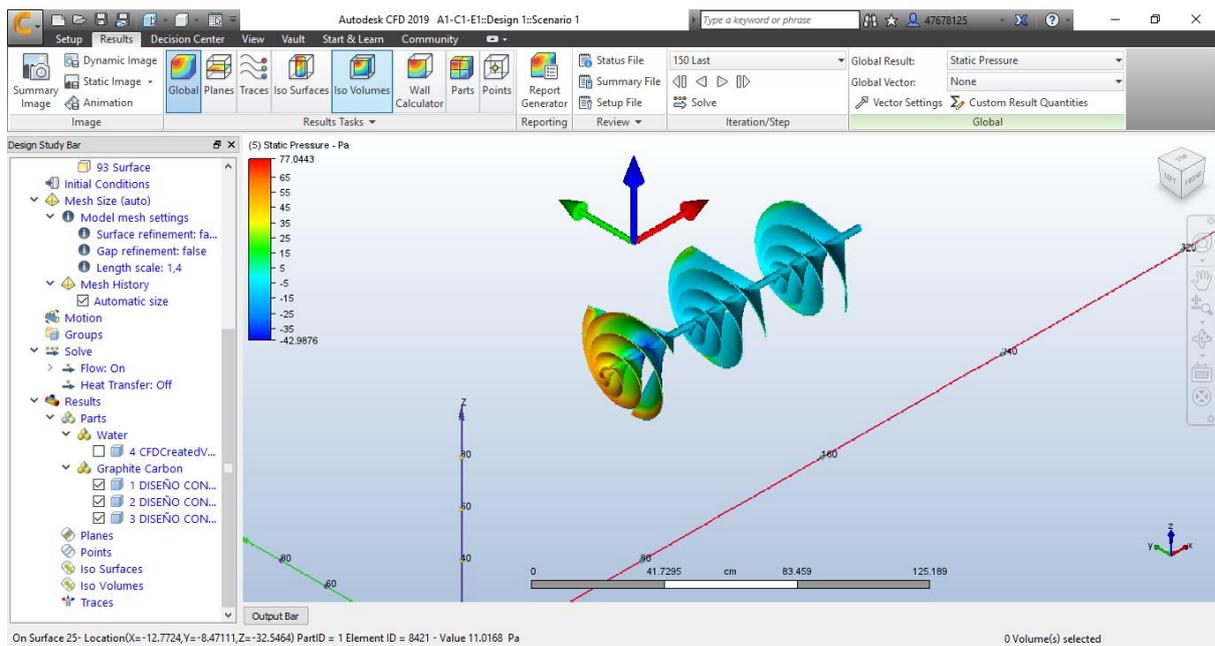


Figura N° 61: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C1-E1

Fuente: Elaboración Propia

Después de realizar las 150 iteraciones para esta turbina se realizó por cada campana la obtención de la presión, fuerza y torque de todas las campanas de la turbina A1-C1-E1, los datos se obtuvieron en el formato CSV que se puede abrir con el software Excel, de esta manera se pudo sacar en una hoja de resumen como se muestra a continuación:

Tabla N° 16: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C1-E1

TORQUE C1	2.33279 N-m
TORQUE C2	-0.529408N-m
TORQUE C3	-0.463792N-m
TOTAL TORQUE	1.3959N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.2. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A1-C1-E2

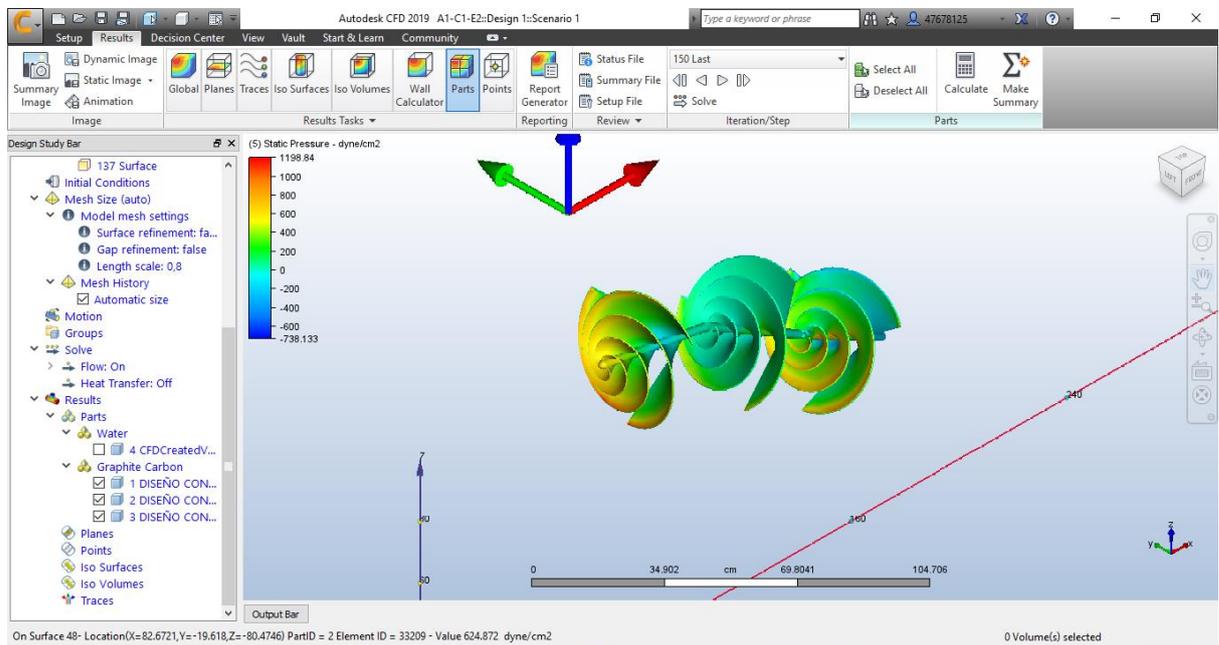


Figura N° 62: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C1-E2

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en los resultados que la turbina con eje biomimético tiene mejor resultado frente a la turbina de eje estático con la misma cantidad de campanas y la misma cantidad de álabes.

Tabla N° 17: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C1-E2

TORQUE C1	6.322141 N-m
TORQUE C2	0.761221 N-m
TORQUE C3	1.98537 N-m
TOTAL TORQUE	6.322141 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.3. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A1-C2-E1

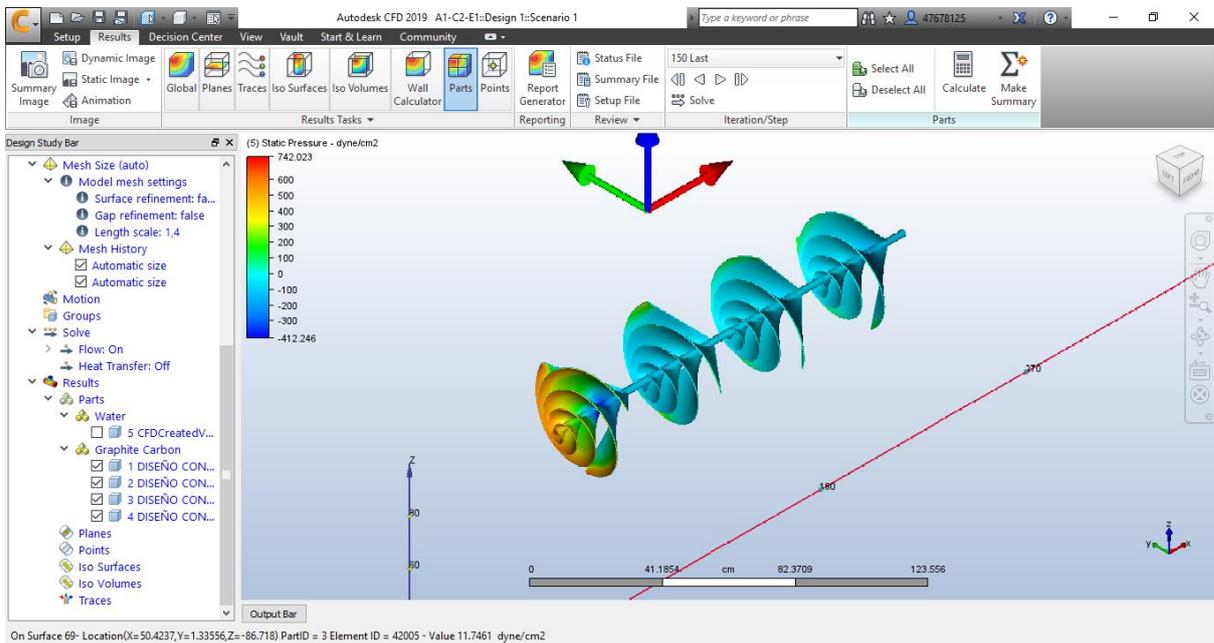


Figura N° 63: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C2-E1

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 63 se puede visualizar que la presión es más en la primera campana, frente a los de eje biomimético, esto debido a que en el proceso del fluido la primera campaña no busca el fluido más adecuado, sino que obtiene todo el fluido sin haberse modificado, ya que, vemos que las campanas siguientes tienen un poco presión.

Tabla N° 18: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C2-E1

TORQUE C1	1.66618 N-m
TORQUE C2	-0.293235 N-m
TORQUE C3	-0.263469 N-m
TORQUE C4	-0.304473 N-m
TOTAL TORQUE	0.805003 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.4. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A1-C2-E2

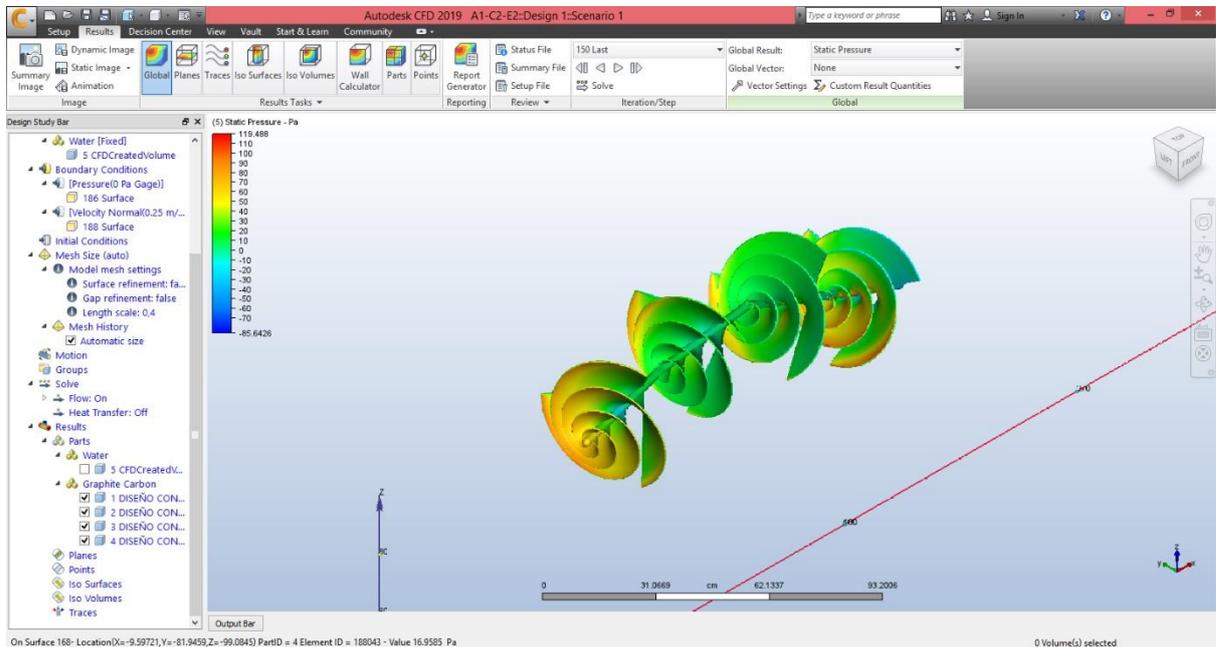


Figura N° 64: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A1-C2-E2

Fuente: Elaboración Propia

En comparación con la turbina A1-C2-E1 y la turbina A1-C2-E2, que se diferencia en ser de eje estático el primero y de eje Biomimético el segundo, se aprecia que cuando la turbina de eje biomimético se encuentra en la turbina las siguientes campanas se direccionan en buscar un caudal más fuerte, obteniendo una mejor presión.

Tabla N° 19: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A1-C2-E2

TORQUE C1	5.40875 N-m
TORQUE C2	1.67869 N-m
TORQUE C3	1.73302 N-m
TORQUE C4	4.00697 N-m
TOTAL TORQUE	12.82743 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.5. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A2-C1-E1

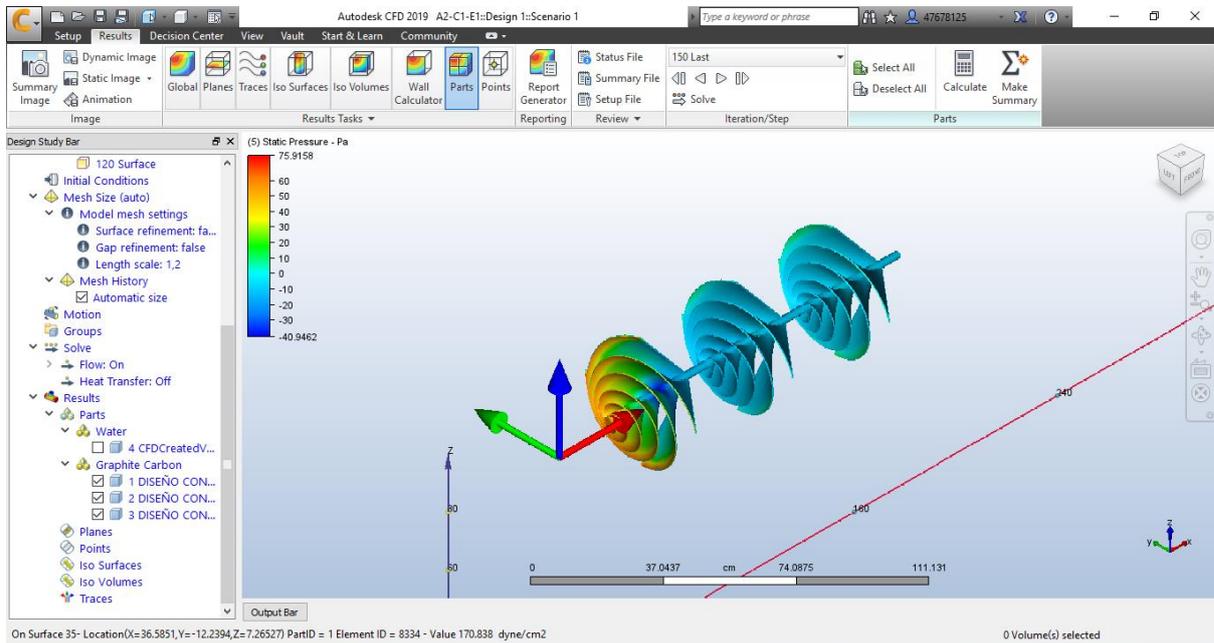


Figura N° 65: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C1-E1

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 65 se observa que cuanto más álabe hay en la turbina se aprecia que más presión hay en la turbina, pero lamentablemente aún se visualiza que las siguientes campanas no tiene una presión cercana a la primera campana

Tabla N° 20: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C1-E1

TORQUE C1	1.92322 N-m
TORQUE C2	-0.774544 N-m
TORQUE C3	-0.573689 N-m
TOTAL TORQUE	0.577987 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.6. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A2-C1-E2

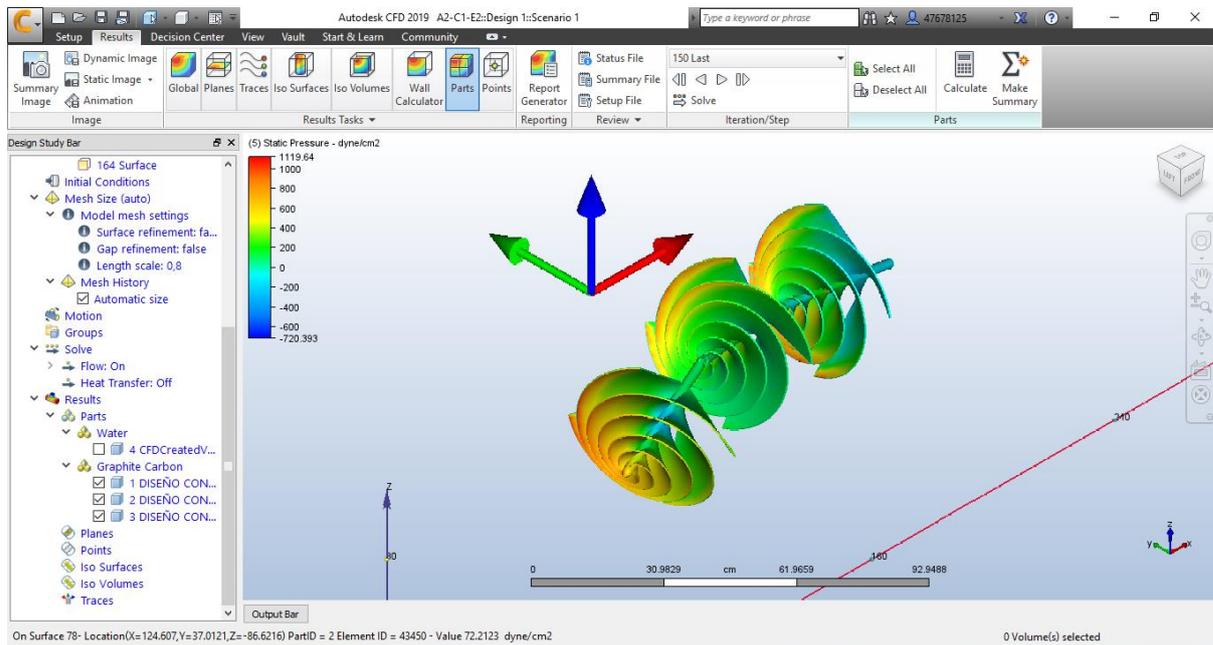


Figura N° 66: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C1-E2

Elaboración Propia

En comparación con la turbina A2-C1-E1 y la turbina A2-C1-E2, que se diferencia en ser de eje estático el primero y de eje Biomimético el segundo, en comparación con la turbina A2-C1-E1, el de eje biomimético obtuvo una mejor presión cuando se aumenta la cantidad de alabes.

Tabla N° 21: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C1-E2

TORQUE C1	2.98385 N-m
TORQUE C2	1.65909 N-m
TORQUE C3	0.370416 N-m
TOTAL TORQUE	5.013356 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.7. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A2-C2-E1

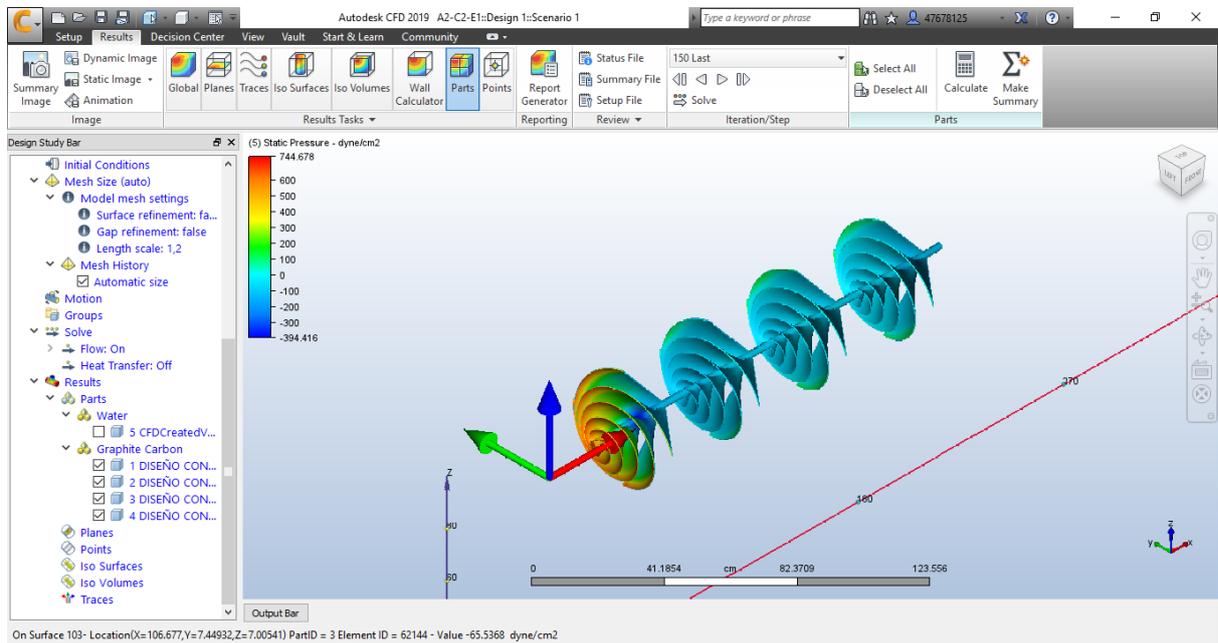


Figura N° 67: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C2-E1

Elaboración Propia

En la figura N° 67 se aprecia que cuantas más campanas, aumenta la cantidad de presión de la turbina.

Tabla N° 22: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C2-E2

TORQUE C1	2.0611 N-m
TORQUE C2	-0.579295 N-m
TORQUE C3	-0.387999 N-m
TORQUE C4	-0.414693 N-m
TOTAL TORQUE	0.679113 N-m

Fuente: Elaboración Propia

6.1.8. SIMULACIÓN DE LA TURBINA A2-C2-E2

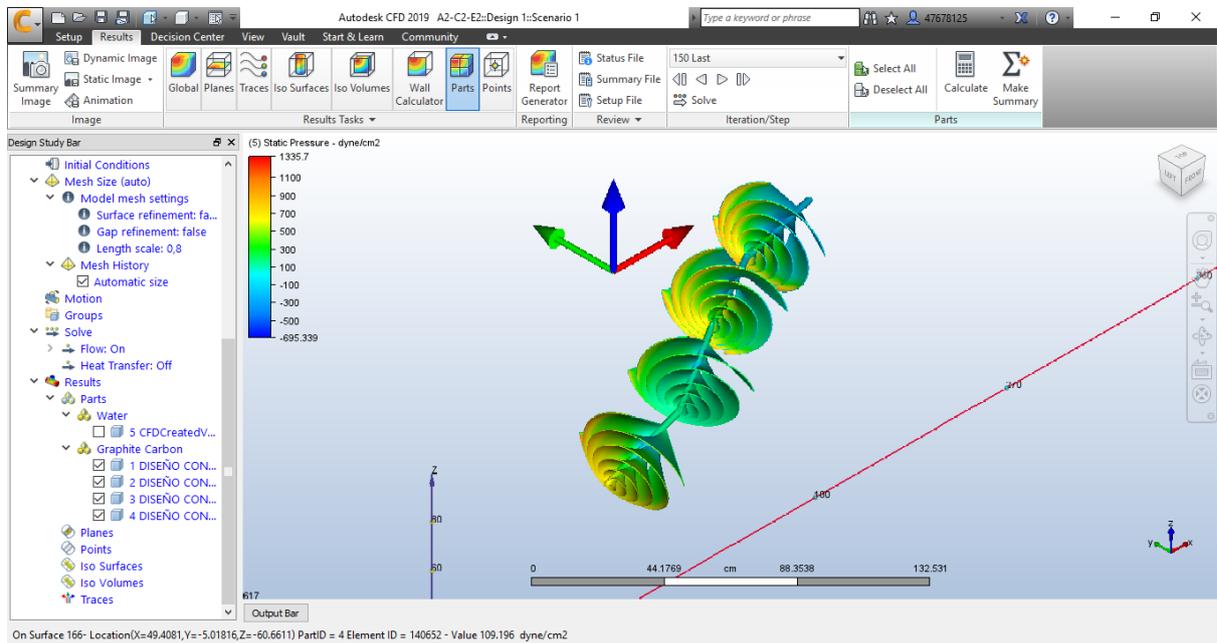


Figura N° 68: Simulación finalizada evaluando la presión de la turbina A2-C2-E2

Elaboración Propia

En la última simulación N°68 de las turbinas se observa que las campanas al adecuarse al mejor caudal, aumentan la cantidad de presión de la campana, además por tener más álabes también aumenta la cantidad de presión.

Tabla N° 23: Resumen de los resultados en la evaluación de la turbina A2-C2-E2

TORQUE C1	4.2521 N-m
TORQUE C2	2.20189 N-m
TORQUE C3	3.79908 N-m
TORQUE C4	1.84588 N-m
TOTAL TORQUE	12.09895 N-m

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 24: Rellenado de datos en la tabla de la metodología para el diseño experimental.

MODELO DE OBSERVACIONES	DATOS DE LOS RESULTADOS CON LA COMBINACIÓN DE LAS DIMENSIONES INCLUYENDO LAS REPLICAS				
	VARIABLE INDEPENDIENTE			VARIABLE DEPENDIENTE	Réplicas
	Configuración de la turbina			Combinación de Tratamientos	
	Cantidad de Alabes	Cantidad de Campanas	Tipo de Eje	Generación de Energía Eléctrica	(1)
	Unidades	Unidades	Característica	Energía	Torque N-m
A1	C1	E1	A1-C1-E1	1.3959	
		E2	A1-C1-E2	6.32214 1	
	C2	E1	A1-C2-E1	0.80503	
		E2	A1-C2-E2	12.8274 3	
A2	C1	E1	A2-C1-E1	0.57798 9	
		E2	A2-C1-E2	5.01335 6	
	C2	E1	A2-C2-E1	0.67911 3	
		E2	A2-C2-E2	12.0989 5	
TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	Cantidad de Alabes: 02 niveles (A1= 3; A2=4)				
	Cantidad de Campanas: 02 niveles (C1= 3; C2=4)				
	Tipo de Eje: 02 niveles (E1= Estático; E2=Biomimético)				
	Réplicas: 1				
	Número de observaciones: 8				

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 24 se aprecia que los resultados obtenidos en las simulaciones, tienen una mejor cualidad cuando se usa el eje biomimético, que alcanza hasta 12.82N-m de torque para velocidades de 0.25m/s de fluido, como condición de frontera.

6.1.9. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA METODOLOGÍA

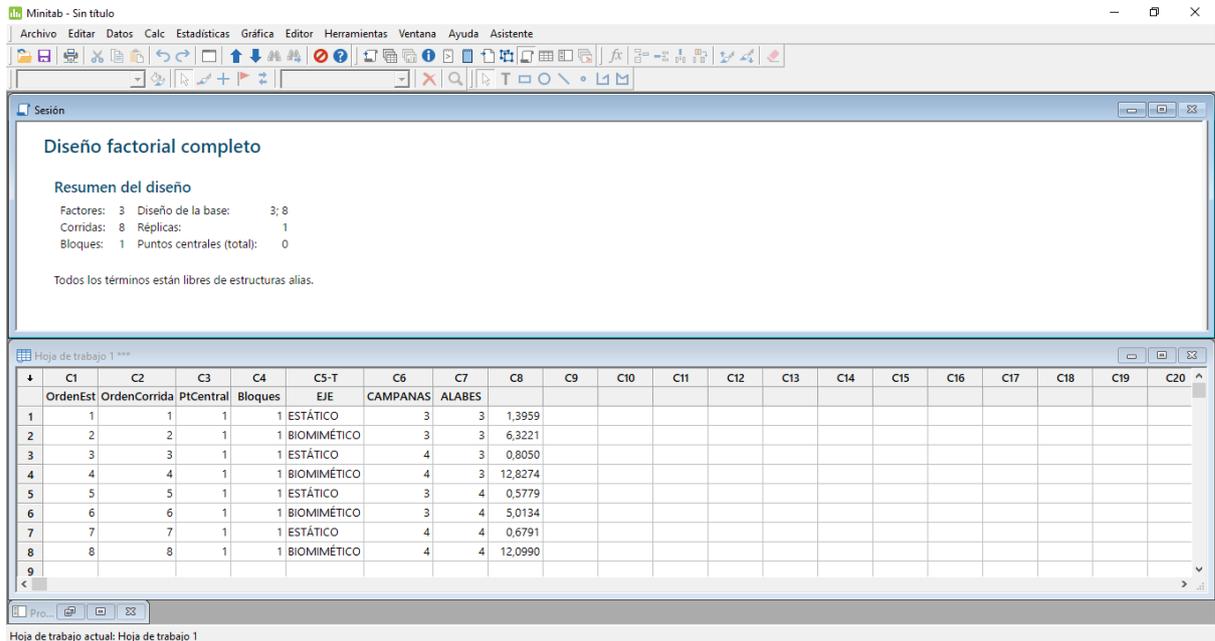


Figura N° 69: Tipo de experimentación que se llevó a cabo en el Software MiniTab

Fuente: Elaboración Propia

Para la presente investigación se evaluó cada turbina en función del torque, de esta manera se buscó el diseño más adecuado en función de los factores de diseño, que son tipo de eje, cantidad de campanas, cantidad de álabes. La evaluación del diseño experimental 2^3 se realizó mediante el software MiniTab, que nos permitió evaluar diseños experimentales, de manera adecuada, en la figura N°69 se visualiza que los datos obtenidos se ingresaron en el sistema, especificando que es un diseño factorial, con 3 factores y una réplica. Lo importante de este paso es que a través de métodos estadísticos se conoce el mejor diseño para los diferentes tipos de turbina.

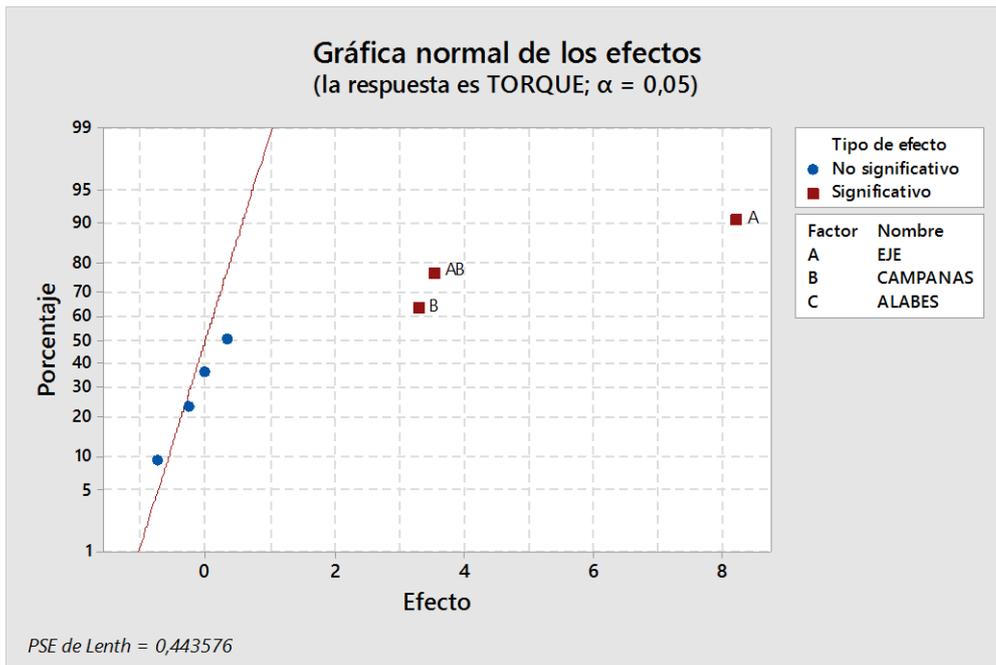


Figura N° 70: Gráfica normal de los efectos

Fuente: Elaboración Propia

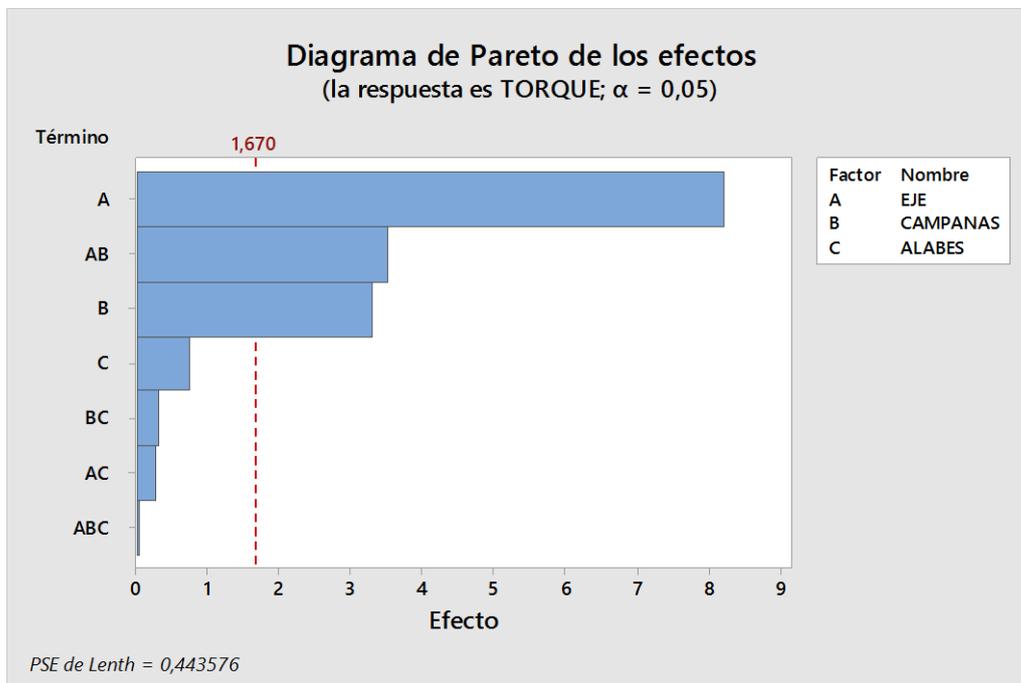


Figura N° 71: Gráfica Pareto de los efectos

Fuente: Elaboración Propia

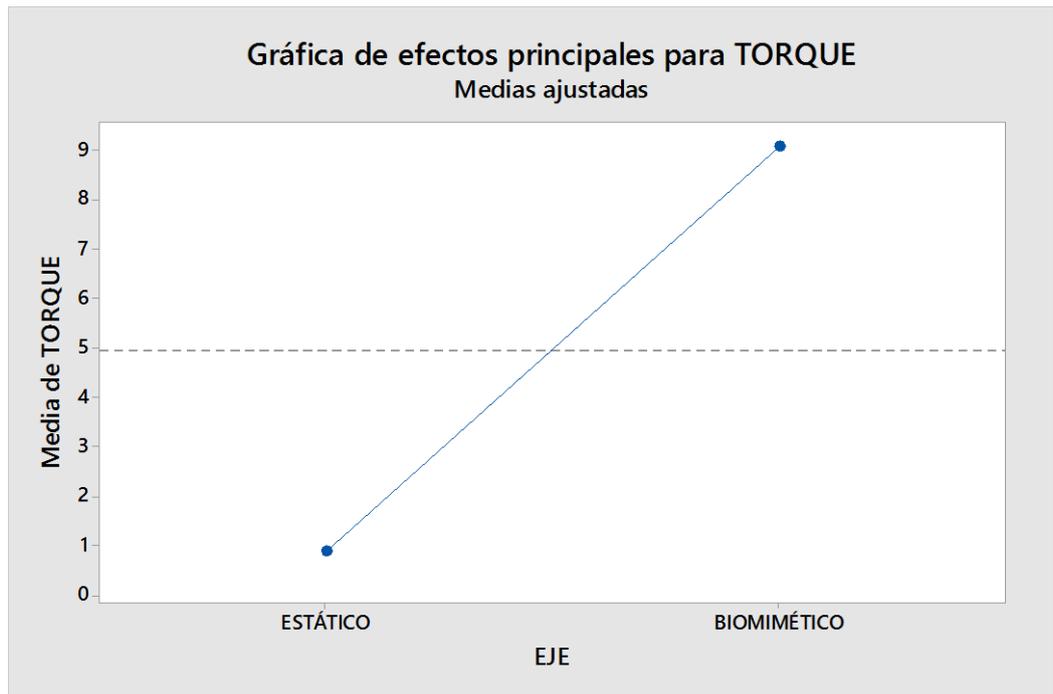


Figura N° 72: Gráfica de los efectos principales para Torque Vs Eje

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 70 de la gráfica normal de los efectos, se puede apreciar que el factor A (tipo de Eje) tiene un efecto sobre el torque en un 90%, la combinación de los factores AB (tipo de Eje y Cantidad de Campanas) tienen un efecto sobre el torque en un 70% aproximadamente; el factor B (Cantidad de Campanas) tiene un efecto sobre el torque en un 60%; el factor C tiene se encuentra por debajo del 5% en el nivel de efecto, por lo que la cantidad de álabes no afecta en buen grado a la turbina.

En la gráfica N°71 de Pareto, se aprecia que después del indicador 1.670 que los factores como el tipo de eje, cantidad de campanas tienen un alto nivel de efecto sobre el torque, entonces para mejorar la cantidad de torque se debe poner énfasis en el tipo de eje, también en la cantidad de campanas.

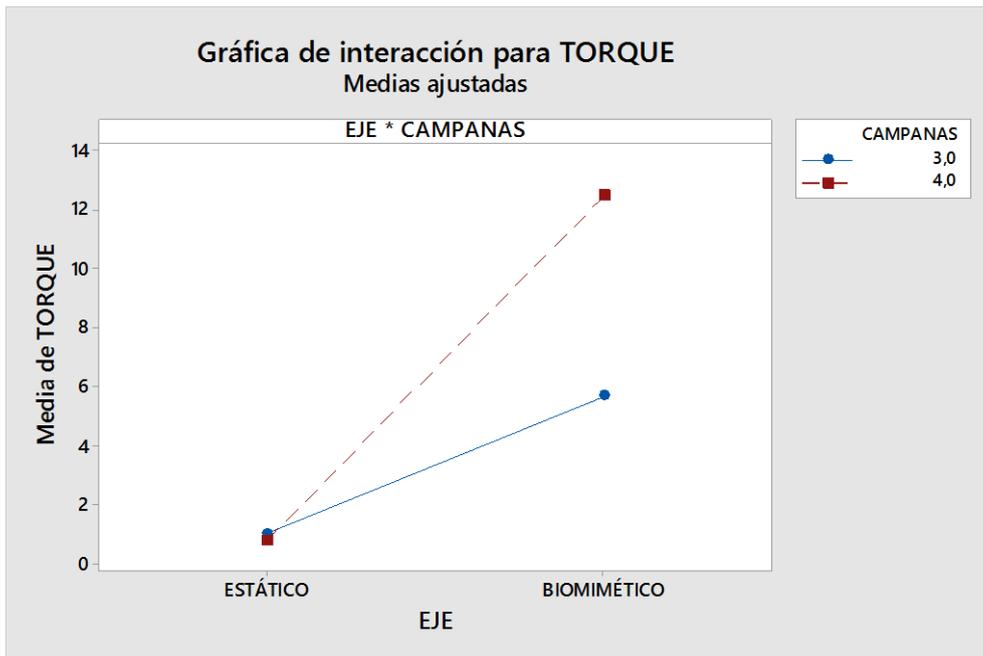


Figura N° 73: Gráfica de iteración Eje Vs Campana

Fuente: Elaboración Propia

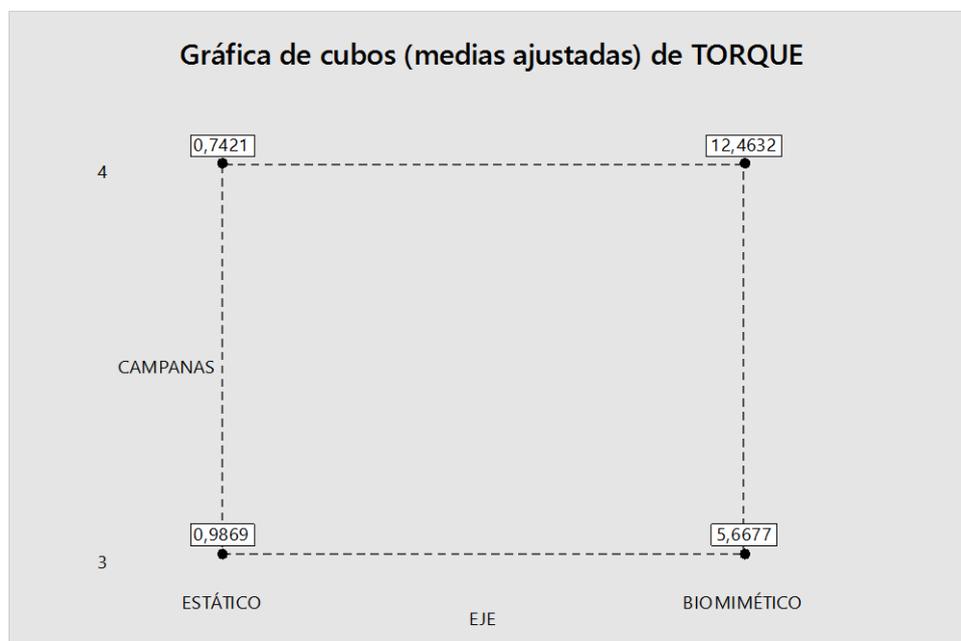


Figura N° 74: Gráfica de cubos de Eje Vs Campana

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en la figura N°73 de iteración entre las campanas y el torque, que la curva de cantidad de campanas y tipo de eje, tienen un mejor resultado cuando se encuentra en un nivel más alto, entonces para 4 campanas y eje biomimético tiene mejores resultados.

En la figura N°74 se visualiza la gráfica de iteración de los factores cantidad de campanas y tipo de eje, en donde en puntos porcentuales, se evidencia que para 4 campanas y de eje biomimético, tienen un torque de 12.4632 N-m, representado en la gráfica de cubos.

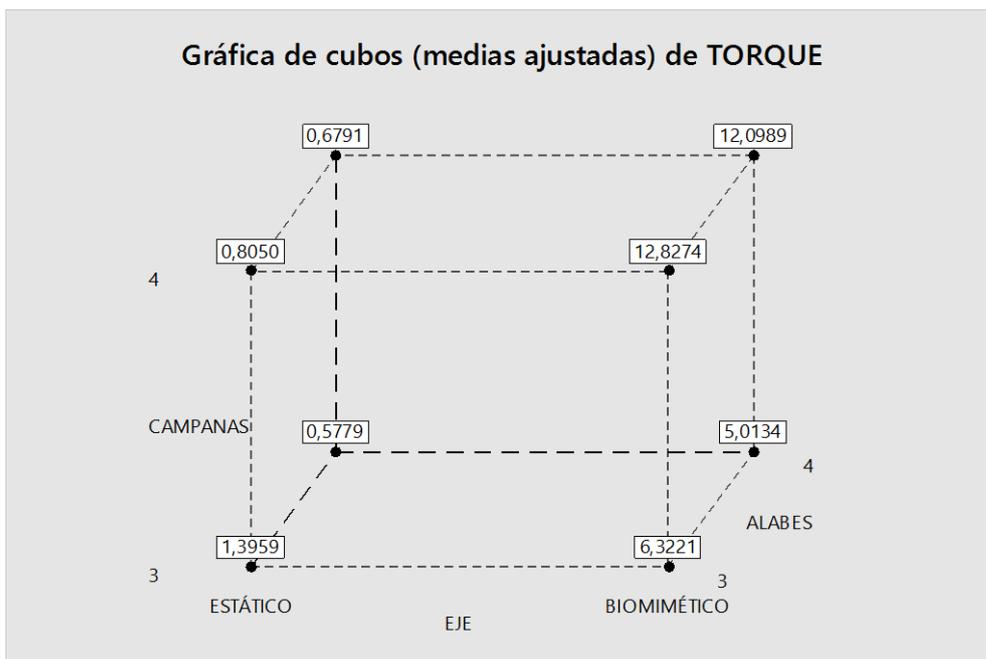


Figura N° 75: Gráfica de cubos de los 3 factores

Elaboración propia

En la gráfica N°75, se observan todos los factores que obtienen la mejor respuesta la cual es de 12.8274 N-m, donde la turbina es de 3 Álabes, 4 Campanas y es de Eje Biomimético, entonces se comprueba que la mejor turbina para el nivel factorial propuesto es la turbina “A1-C2-E2”.

6.1.10. ECUACIÓN DE REGRESIÓN EN UNIDADES NO CODIFICADAS

$$\begin{aligned} \text{TORQUE} = & 3,903 - 7,948 \text{ EJE} + 1,049 \text{ CAMPANAS} - 2,972 \text{ ALABES} + 3,716 \text{ EJE} * \text{CAMPANAS} \\ & - 0,07770 \text{ EJE} * \text{ALABES} + 0,6362 \text{ CAMPANAS} * \text{ALABES} - 0,05589 \text{ EJE} * \text{CAMPANAS} * \text{ALABES} \end{aligned}$$

6.2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En la investigación se determinó la potencia útil de una turbina mediante el porcentaje de presión que tuvo cada turbina y la potencia útil de la primera campana.

La presión promedio por campana se determinó mediante un análisis CFD de la turbina biomimética A1-C2-E2, en donde para la Campana 1, 2, 3, 4 se obtuvieron 427.68Pa, 128.65Pa, 112.65Pa, 269Pa respectivamente.

Basado en la cantidad de potencia eléctrica que generará para una eficiencia de 95%, se diseñó un generador de imanes permanentes, con la finalidad de plantear una alternativa para generar energía eléctrica renovable.

Se consideró una alternativa de generador con imanes permanentes para este tipo de turbina, debido a que esta turbina no cuenta con una caja multiplicadora de velocidades.

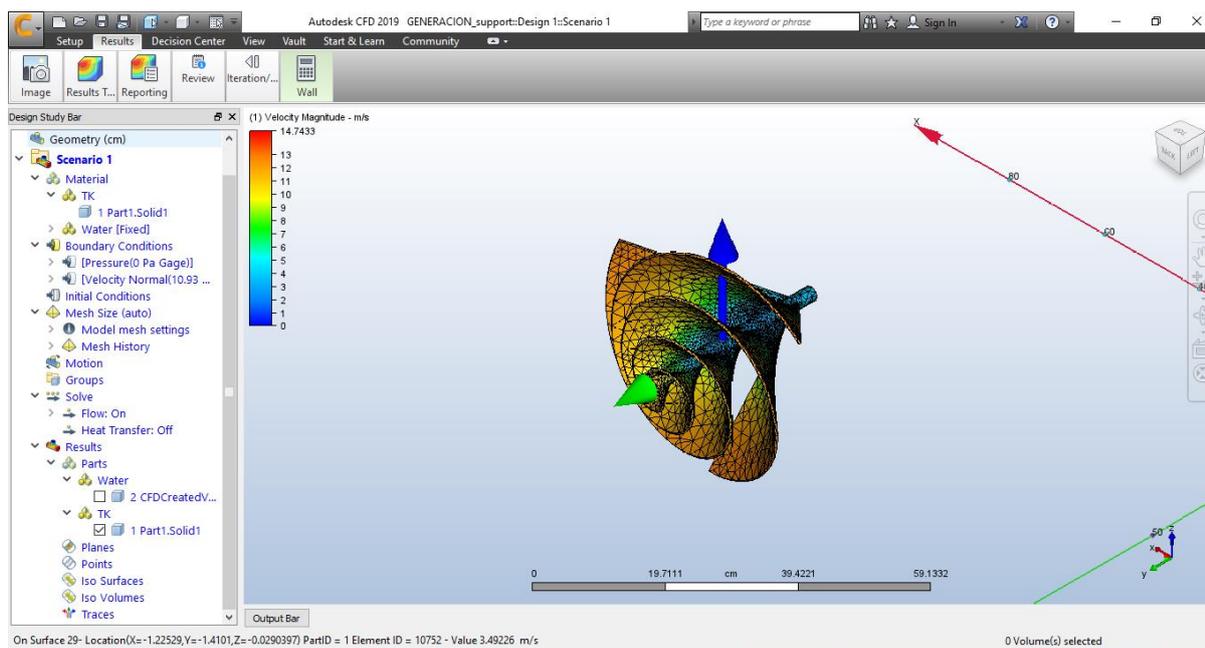


Figura N° 76: Simulación para generación de energía eléctrica de la turbina A1-C2-E2

Fuente: Elaboración Propia

6.2.1. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EN CADA CAMPANA

En el software para esta evaluación se consideró como variables de frontera la velocidad inicial de 10,93 m/s, que es la velocidad de par el caudal par $7\text{m}^3/\text{s}$ (36) ,en un área de $0,8 \times 0,8 \text{m}^2$, teniendo una velocidad en la turbina de 10,83 m/s, el torque para estos efectos llegó a ser de 321,68 N-m, siendo este torque igual a 32,79 kg-m.

- La velocidad angular de la turbina viene dada por

$$\omega = 10,83/0,2169 = 49,93 \text{ rad/s}$$

- Porcentaje de Presión en las campanas de la Turbina A1-C2-E2

➤ Avg. Pressure C1=100%

➤ Avg. Pressure C2=30,08%

- Avg. Pressure C3=26,34%
- Avg. Pressure C4=62,9%
- La potencia de la turbina A1-C2-E2, es la siguiente:
 - Potencia C1=16061,5 W
 - Potencia C2=4831,3 W
 - Potencia C1=4230,6 W
 - Potencia C2=10102,7 W
 - **Potencia Total de la Turbina A1-C2-E2=35226.1W**

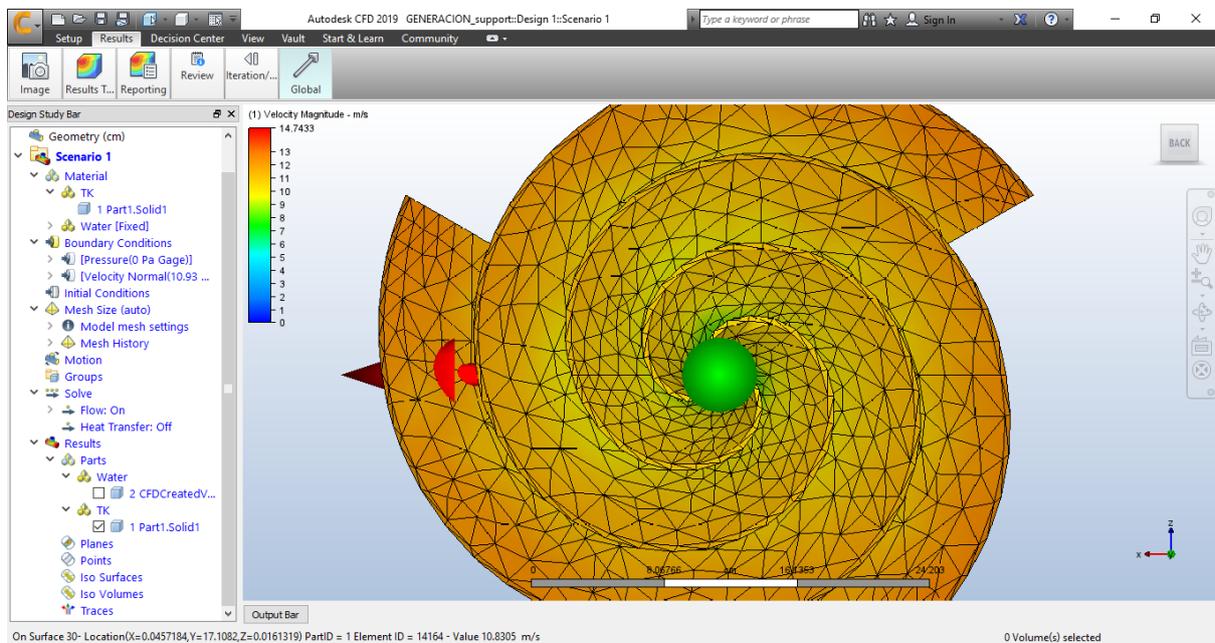


Figura N° 77: Simulación para hallar la velocidad en la campana de la turbina A1-C2-E2

Fuente: Elaboración propia

Para hallar la potencia útil que tendrá esta máquina se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$P_{Util} = \omega \cdot M$$

Entonces la Potencia útil será:

$$P_{Util(10.83)} = 35226,1 W$$

- M: Torque (en N-m)
- ω : Velocidad angular(rad/s)

La potencia que se halló es para una velocidad del fluido de $7m^3/s$, debido a que la velocidad del fluido en las zonas del valle del Mantaro según (36) es como mínimo de $4m^3/s$, se debe encontrar la potencia útil y eléctrica para estas condiciones, por lo que se realiza de la siguiente manera:

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{1/2} ; \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{3/2}$$

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/3}$$

$$\left(\frac{6,25}{10.83}\right)^2 = \left(\frac{P_{6,25}}{P_{10.83}}\right)^{2/3}$$

$$\left(\frac{6,25}{10.83}\right)^2 = \left(\frac{P_{util(6,25)}}{P_{util(9,49)}}\right)^{2/3}$$

$$P_{util(6,25)} = 6770,5 W$$

$$P_{Elec(6,25)} = 6770,5 \cdot \eta_{Gen}$$

➤ $0.95 < \eta_{gen} < 0.98$ (26)

$$P_{Elec(6,25)} = 6431,8W$$

➤ Energía eléctrica en 1 día: $6431,8 \times 24 = 154\,363,2Wh$

6.2.2. GENERACIÓN CON IMANES PERMANENTES PARA TURBINA BIOMIMÉTICA

Convirtiendo 6.25m/s, la velocidad angular 275.2 es rpm.

$$P = \pi \cdot B \cdot K \cdot R_m^2 \cdot \Delta r \cdot \omega \cdot \cos\varphi$$

- En donde:

P: Potencia en W

B: Inducción Magnética

K: Carga Lineal Específica

Δr : Diámetro de los imanes

ω : Velocidad Angular

Se calcula también la frecuencia del generador, esto se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$f = \frac{2p \cdot n_s}{120}$$

GENERADOR CON BOBINAS					
i. ELECCION DEL IMAN					
Material=	Neodimio				
Flujo magnetico remanente Mx.			13200 Gauss		
II: POLOS Y BOBINAS					
2.1. DATOS					
ns=	275	rpm			
2p=	32	polos		$f=(2p*ns)/120$	
f=	73,33333	Hz			
ncoil=	24,0	bobinas		3	
ncoil.ph=	8	bobina/fase			

Figura N° 79: Cantidad de par de Polos, cantidad de fases, frecuencia y bobinas

Elaboración Propia

III: DIMENSIONES DEL AEROGENERADOR					
P deseada=	5000	W			
B=	0,4	T	0,8	$0.9T < B$	
K=	150	A/cm			
rm	0,524	m			
dr	0,05	m			
cosphi	0,8				
P=					

Figura N° 78: Potencia deseada, diámetro del imán y radio medio del generador

Elaboración Propia

Seguidamente se considera los diámetros internos y externos de las bobinas que tendrán las siguientes cuatro posibilidades, debido a que las bobinas soportarán la tensión inducida en sus bornes, por efecto del Di y Do, y el número de vueltas.

IV. DISEÑO DE LAS BOBINAS						
CASOS	Di(m)	Do(m)	ra(m)	rb(m)	rc(m)	D 2/3
1	0,0100	0,0200	0,0058	0,0075	0,0092	0,0133
2	0,0300	0,0400	0,0158	0,0175	0,0192	0,0200
3	0,0200	0,0500	0,0125	0,0175	0,0225	0,0367
4	0,0300	0,0700	0,0183	0,0250	0,0317	0,0500

Figura N° 80: configuración del Di y Do de las bobinas

Elaboración Propia

La tención inducida en cada bobina se calcula a partir de la densidad de flujo del primer armónico, utilizando las siguientes formulas (37):

$$\lambda = \hat{\lambda} \cdot \sin\omega t$$

Siendo:

λ : Acoplamiento Inductivo

ω : Velocidad Angular

t : Tiempo

Entonces a FEM inducida será:

$$E_{coil} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \hat{\lambda}$$

Para determinar el flujo de la bobina se concentrará en el radio r_a , de un elemento circular pequeño dx es:

$$d\Phi = \hat{B} \cdot \cos u_1 x \cdot (2\pi x dx)$$

$$\Phi_a = 2\pi \hat{B}_1 \left[\left(\frac{1}{u_1} \right)^2 (\cos u_1 r_a - 1) + \frac{1}{u_1} (r_a \sin u_1 r_a) \right]$$

Entonces el acoplamiento inductivo total será:

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{3} (\Phi_a + \Phi_b + k_1 \Phi_c)$$

Seguidamente la longitud de las bobinas será:

$$l_{coil} = \frac{N \cdot D^2_{cond.} \cdot \pi \cdot D_{2/3}}{k_v \cdot (D^2_0 - D^2_1)}$$

Para determinar los parámetros eléctricos de la bobina:

$$R_{coil} = \rho \cdot \frac{N \cdot 2\pi \cdot r_m}{A_s}$$

$$L_{coil} = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A_{total}}{l_{coil}}$$

$$X_L = \omega \cdot L_{coil}$$

Finalmente, Para determinar la potencia

$$I = \frac{E_{ph}}{\sqrt{(R_{ph} + R_L)^2 + X^2_2}}$$

$$P = 3 \cdot E_{ph} \cdot I$$

Potencia en el cobre

$$P_{cu} = n_{coil} \cdot R_{coil} \cdot I^2$$

La eficiencia será:

$$\eta = \frac{P}{P + P_{cu}} \cdot 100$$

POSIBILIDADES	k=	1,05	Kv=	0,5							
	Dcon=	0,001	ρcu=	1,71E-08 Ω.m							
	μ0=	1,257E-06 N*A^2	Rfija=	2 Ω							
	V=	24 v	ω=	275 rpm							
	f=	73,333333	λ=	0,0092 wb							
	ul=	30	τ=	0,0514462							
POSIBILIDAD 1											
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	126,0	0,03519	1,0342	0,6566	7,731	556,622	185,432	75,01%
2	0,000297	0,000359	0,0004242	26,0	0,00467	0,4980	0,8430	9,103	655,444	123,799	84,11%
3	0,00019	0,000359	0,0005655	25,0	0,00274	0,4788	2,0726	7,428	534,798	79,248	87,09%
4	0,000391	0,000678	0,0009897	14,0	0,00110	0,3830	3,1776	6,042	435,052	41,955	91,20%

Figura N° 81: Posibilidad 1 para la combinación de 24V y 275rpm

Elaboración Propia

En la figura N°81 se aprecia que par la velocidad de 275rpm y 24V llegarán a generar como máximo una potencia de 664.096W, con una eficiencia de 84.99%

POSIBILIDADES		k=	1,05		Kv=	0,5						
		Dcon=	0,001		ρcu=	1,71E-08	Ω.m					
		μ0=	1,257E-06	N*A^2	Rfija=	2	Ω					
		V=	48	v	ω=	273	rpm					
		f=	73,333333		λ=	0,0184	wb					
		u1=	30		τ=	0,0514462						
POSIBILIDAD 2												
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%	
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	251,0	0,07009	2,0602	1,3080	11,253	1620,369	782,592	67,43%	
2	0,000297	0,000359	0,0004242	51,0	0,00916	0,9768	1,6537	14,096	2029,811	582,226	77,71%	
3	0,00019	0,000359	0,0005655	49,0	0,00538	0,9384	4,0623	9,574	1378,628	258,048	84,23%	
4	0,000391	0,000678	0,0009897	27,0	0,00212	0,7387	6,1283	7,151	1029,730	113,324	90,09%	

Figura N° 82: Posibilidad 2 para la combinación de 48V y 275rpm

Elaboración Propia

Para la posibilidad de configuración de la figura N°82, en donde la velocidad es de 275rpm y de 48V para voltaje de fase, se tiene como máximo una potencia de 2067.68W con una eficiencia de 78.79%

POSIBILIDADES		k=	1,05		Kv=	0,5						
		Dcon=	0,001		ρcu=	1,71E-08	Ω.m					
		μ0=	1,257E-06	N*A^2	Rfija=	2	Ω					
		V=	24	v	ω=	250	rpm					
		f=	66,666667		λ=	0,0101	wb					
		u1=	30		τ=	0,0514462						
POSIBILIDAD 3												
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%	
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	138,0	0,03854	1,1327	0,6538	7,500	539,967	191,121	73,86%	
2	0,000297	0,000359	0,0004242	28,0	0,00503	0,5363	0,8254	8,998	647,877	130,261	83,26%	
3	0,00019	0,000359	0,0005655	27,0	0,00296	0,5171	2,0349	7,415	533,863	85,289	86,22%	
4	0,000391	0,000678	0,0009897	15,0	0,00118	0,4104	3,0951	6,118	440,482	46,081	90,53%	

Figura N° 83: Posibilidad 3 para la combinación de 24V y 250rpm

Elaboración Propia

Para la posibilidad de configuración de la figura N°83, en donde la velocidad es de 250rpm y de 24V para voltaje de fase, se tiene como máximo una potencia de 647.87W con una eficiencia de 83.26%.

POSIBILIDADES		k=	1,05		Kv=	0,5							
		Dcon=	0,001		ρcu=	1,71E-08	Ω.m						
		μ0=	1,257E-06	N*A^2	Rfija=	2	Ω						
		V=	48	v	ω=	250	rpm						
		f=	66,666667		λ=	0,0203	wb						
		u1=	30		τ=	0,0514462							
POSIBILIDAD 4													
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%		
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	276,0	0,07707	2,2654	1,3075	10,759	1549,319	786,728	66,32%		
2	0,000297	0,000359	0,0004242	56,0	0,01005	1,0725	1,6507	13,762	1981,727	609,377	76,48%		
3	0,00019	0,000359	0,0005655	54,0	0,00592	1,0342	4,0699	9,455	1361,585	277,392	83,08%		
4	0,000391	0,000678	0,0009897	29,0	0,00228	0,7934	5,9839	7,269	1046,671	125,757	89,27%		

Figura N° 84: Posibilidad 4 para la combinación de 48V y 250pm

Elaboración Propia

Para la posibilidad de configuración de la figura N°84, en donde la velocidad es de 250rpm y de 48V para voltaje de fase, se tiene como máximo una potencia de 1981.72W con una eficiencia de 76.48%

POSIBILIDADES		k=	1,05		Kv=	0,5							
		Dcon=	0,001		ρcu=	1,71E-08	Ω.m						
		μ0=	1,257E-06	N*A^2	Rfija=	2	Ω						
		V=	110	v	ω=	275	rpm						
		f=	73,333333		λ=	0,0422	wb						
		u1=	30		τ=	0,0514462							
POSIBILIDAD 5													
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%		
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	574,0	0,16029	4,7114	2,9912	14,970	4940,259	3167,685	60,93%		
2	0,000297	0,000359	0,0004242	116,0	0,02082	2,2216	3,7613	19,455	6420,054	2522,568	71,79%		
3	0,00019	0,000359	0,0005655	111,0	0,01218	2,1259	9,2024	10,907	3599,403	758,737	82,59%		
4	0,000391	0,000678	0,0009897	61,0	0,00479	1,6690	13,8454	7,680	2534,327	295,301	89,56%		

Figura N° 85: Posibilidad 5 para la combinación de 110V y 275pm

Elaboración Propia

Para la posibilidad de configuración de la figura N°85, en donde la velocidad es de 275rpm y de 110V para voltaje de fase, se tiene como máximo una potencia de 6420.054W con una eficiencia de 71.79%

POSIBILIDADES		k=	1,05	Kv=	0,5						
		Dcon=	0,001	ρcu=	1,71E-08	Ω.m					
		μ0=	1,257E-06	N*A^2	Rfija=	2	Ω				
		V=	110	v	ω=	250	rpm				
		f=	66,666667		λ=	0,0465	wb				
		ul=	30		τ=	0,0514462					
POSIBILIDAD 6											
CASOS	φa(wb)	φb(wb)	φc(wb)	N	l coil(m)	Rph(Ω)	Xph(Ω)	I	Pot. Gen (W)	Per joule (W)	eficiencia%
1	4,24E-05	6,98E-05	0,0001036	631,0	0,17621	5,1792	2,9893	14,145	4667,771	3108,702	60,02%
2	0,000297	0,000359	0,0004242	127,0	0,02280	2,4323	3,7436	18,960	6256,769	2623,080	70,46%
3	0,00019	0,000359	0,0005655	123,0	0,01349	2,3557	9,2703	10,740	3544,043	815,099	81,30%
4	0,000391	0,000678	0,0009897	67,0	0,00526	1,8331	13,8248	7,667	2530,257	323,306	88,67%

Figura N° 86: Posibilidad 6 para la combinación de 110V y 250rpm
Elaboración Propia

Para la posibilidad de configuración de la figura N°86, en donde la velocidad es de 250rpm y de 110V para voltaje de fase, se tiene como máximo una potencia de 6256.769W con una eficiencia de 70.46%

Finalmente, el generador de imanes permanentes para esta turbina tendrá las siguientes características:

- El voltaje de fase será de 110V
- Se mantendrá la velocidad de 275rpm
- La longitud de las bobinas será de 2,1cm
- Cada bobina tendrá 116 vueltas
- La frecuencia será 73,33hz

- El generador tendrá 32 par de polos
- El generador será de sistema trifásico
- Los imanes serán de neodimio
- Habrá 8 bobinas por fase
- El diámetro medio del generador será de 52.4cm

La potencia que generará la turbina en su respectivo generador llegará a 6420,054W con una eficiencia de 71.79%.

6.3. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

6.3.1. PARA LA TURBINA

Tabla N° 25: Presupuesto para la construcción de la turbina A1-C2-E2

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES	CANTIDAD			UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
		CANTIDAD	C. T/UNIDAD D	CANTIDAD PARA ADQUIRIR			
TURBINA	Fibra de Carbono		1	2	m2	S/ 150,00	S/. 300,00
	Planos base		1	2	unidad	S/ 3,50	S/. 7,00
	Fibra de vidrio		m3	0,5	unidad	S/ 50,00	S/ 25,00
EJE	Aluminio		varilla (3/8")	1	unidades	S/ 30,00	S/ 30,00
	Plastico		impresión 3D	8	unidad	S/ 20,00	S/ 160,00
	Fibra de vidrio		m3	0,25	m3	S/ 50,00	S/ 12,50
	Fibra de Carbono		1	1	m2	S/ 150,00	S/ 150,00
GONDOLA Y COLETA	Gondola		1	1	unidad	S/ 50,00	S/ 50,00
	Faja de transmisión		1	2	unidad	S/ 20,00	S/ 40,00
	Coleta		1	2	unidad	S/ 25,00	S/ 50,00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	Para iniciar Tesis	1	1	1	Pago Unico	S/ 2.000,00	S/ 2.000,00
	Asesores Externos	2	5	10	Horas	S/ 10,00	S/ 100,00
	Revisión de redacción	1	10	10	Horas	S/ 10,00	S/ 100,00
EQUIPOS DE DISEÑO	Computadora	1	1	1	Unidades	S/ 1.800,00	S/ 1.800,00
	Impresora	1	1	1	Unidades	S/ 500,00	S/ 500,00
	Laptop	1	1	1	Unidades	S/ 1.800,00	S/ 1.800,00
EQUIPOS DE MEDICIÓN ELÉCTRICA	Multimetro	1	1	1	Unidades	S/ 100,00	S/ 100,00
PERSONAL PARA MEDICIONES EN CAMPO	Ayudante para lecturar las mediciones electricas	1	5	5	Horas	S/ 20,00	S/ 100,00
PLANOS	PLANOS DETALLADOS DE CADA INSTALACIÓN			4	unidad	S/ 3,50	S/ 14,00
MANO DE OBRA	NO SE CONSIDERA MANO DE OBRA YA QUE ES REALIZADA POR EL INVESTIGADOR					S/ -	S/ -
TOTAL DE INSTALACIONES CON MANO DE OBRA							S/ 7.338,50

Elaboración Propia

6.3.2. PARA EL GENERADOR

Tabla N° 26: Presupuesto para la construcción del generador de imanes permanentes

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES	CANTIDAD			UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
		CANTIDAD TOTAL	C. T/UNIDAD DE VENTA	CANTIDAD PARA ADQUIRIR			
Estator	varilla enroscable; de 1/4in		1	8	unidad	S/ 8,00	S/. 64,00
	placa metalica de 5mm de espesor de 0.5m*0.5m		1	5	unidad	S/ 80,00	S/. 400,00
	Pernos 1/4 de 1/2			8	unidad	S/ 1,20	S/ 9,60
rotor	Fibra de vidrio		230x90	4	unidades	S/ 30,00	S/ 120,00
	imanes neodimio			64	unidad	S/ 5,00	S/ 320,00
	resina para junta			0,5	m3	S/ 50,00	S/ 25,00
	Rodajes de 0.75in (Di); 1.5in (Do)			4	unidad	S/ 12,00	S/ 48,00
bobinas	Diametro conductor			1	Kg	S/ 30,00	S/ 30,00
	Objeto en donde se bobina			16	unidad	S/ 4,00	S/ 64,00
PLANOS	PLANOS DETALLADOS DE CADA INSTALACIÓN			8	unidad	S/ 3,50	S/ 28,00
MANO DE OBRA	NO SE CONSIDERA MANO DE OBRA PARA EL PRESENTE EXPEDIENTE					S/ -	S/ -
TOTAL DE INSTALACIONES SIN MANO DE OBRA							S/ 1.108,60

Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se logró diseñar la unidad básica de diseño, basado en el “lirio de agua” como unidad natural de imitación, esto debido a que esta flor permite que entre sus espatas el agua pueda pasar de una manera más adecuada, entonces logra que se empape toda la hoja, de esta manera se establece que fue la mejor opción para el uso de este diseño y esto se aprecia al demostrar que se encontró que el diseño de la unidad básica de estudio llegó a alcanzar un torque de 10.385 N-m, cuando fue sometido bajo efectos de simulación.

Se configuró una turbina hidráulica con tecnología biomimética para generar con eficiencia energía eléctrica en las zonas con afluentes hídricos de bajo caudal, como primera opción a considerar serían las fuentes hidráulicas del valle del Mantaro. Esta turbina tiene 3 alabes, 4 campanas y es de eje biomimético, el cual fue nombrado como A1-C2-E2 donde el torque que genera es de 12.8274 N-m para 0.25m/s de velocidad del agua, siendo la más adecuada y eficiente frente a los otros 7 diseños desarrollados en esta investigación. Se evaluó 8 diseños de modelos de turbina hidráulica con tecnología biomimética para generar energía eléctrica en las zonas con afluentes hidráulicos del valle del Mantaro, en el cual se realizó 150 iteraciones para cada turbina, teniendo una adecuada simulación de lo que ocurriría cuando la turbina es sometida efectos verdaderos.

Los factores de diseño del modelo de la turbina hidráulica de tecnología biomimética permitirá generar energía eléctrica en las zonas con afluentes hídricos de bajo caudal en el valle del Mantaro de manera eficiente; usando el tipo de eje como efecto en el torque con 90% de efecto, la combinación tipo de eje y cantidad de

campanas en un 70%, y la cantidad de campanas en un 60%, en la combinación de cantidad de álabes y de tipo de eje que tiene mejor efecto son de 4 campanas y eje biomimético.

Se determinó la influencia de la modificación de la turbina con tecnología biomimética en la generación de energía eléctrica en las zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable, demostrando en la gráfica de cubos de los 8 factores que el mejor resultado es cuando se tiene 3 álabes, 4 campanas y que sea de eje biomimético.

Se pudo demostrar en la caracterización del problema, que existe mucha necesidad energética, y un sector que necesita cubrir con el horizonte de uso de energía eléctrica, ya que, las personas más vulnerables con esta necesidad se encuentran en lugares rurales. Se necesita el desarrollo de generadores eléctricos del tipo renovable en donde se ponga mayor énfasis y una especial atención a las investigaciones de este tipo, ya que, en gran escala también pueden ser centrales eléctricas de base.

A través del desarrollo de los antecedentes, se pudo fundamentar el desarrollo de la investigación, en muchos casos se analizó que las mejoras en configuración de turbinas, configuración de generadores, desarrollo de diseño, mejoran la calidad del trabajo de investigación; de esta manera, se llegó a producir un diseño adecuado, tomando como fundamento, las sugerencias de los trabajos, gracias a esto reducimos el tiempo de la creación del prototipo.

Se llegó a desarrollar el diseño de la turbina basando en el diseño de una metodología biomimética, además se evaluó la solución mediante la metodología

aplicada en donde se realizó diseños experimentales. Esta investigación se logró en dos etapas, en la primera, se consideró el proceso del diseño de la hélice en base a la emulación a la naturaleza, en la segunda etapa, se evaluó a través de la combinación de los factores que intervienen en la turbina, modificando el álabe, campana y eje, en el que se consideró la turbina más adecuada a las características de los sistemas hídricos del Valle del Mantaro, del cual se analizó como el sistema más adecuado para su aplicación, a los canales de regadío; sin embargo estos tipos de turbina también se pueden aprovechar en afluentes hídricos de bajo caudal de agua, como también en donde exista un caudal grande de agua, eso dependerá de la obra civil y de los recursos para su instalación y construcción.

En la simulación de la distancia mínima de las campanas se consideró 10cm debido a que se encontró que a esa distancia el torque de la primera pared es de 46,71 N-m, y el par en la segunda pared es de 13.13 N-M, por lo que el par se ha reducido de un 100% a un 28,11%, esto permite que la campana siguiente continúe moviéndose alrededor de su eje.

Se halló la ecuación de regresión lineal del diseño experimental de las turbinas en respuesta al torque, el cual tiene la siguiente forma: “TORQUE= 3,903 - 7,948 EJE + 1,049 CAMPANAS - 2,972 ALABES + 3,716 EJE*CAMPANAS”

A través de la simulación se pudo observar que el eje del tipo biomimético solo es aceptable cuando el caudal se encuentra entre $4\text{m}^3\text{s}$ a $7\text{m}^3\text{s}$, pero cuando se incrementa más el caudal este tipo de turbina ya no se considera la más óptima.

Se encontró en los factores que depende mucho de la disposición en que estas están colocadas, por lo que el ángulo cuando son acopladas influenciará de manera significativa en el resultado del torque generado y por ende la generación desarrollada, en los resultados hallados se muestra que en las turbinas en donde existe una cantidad menor de torque generado son en las turbinas en donde los álabes son 4, esto podría haber ocurrido al momento de ensamblar las piezas y no considerar un ángulo de separación entre cada álabes adecuados.

La turbina generará una potencia útil de 6770,5W, determinado por el torque, velocidad angular y las eficiencias, aplicando una eficiencia mínima de 95% de generación, conforme a las generadoras de las centrales hidroeléctricas se obtiene una capacidad de 6431,8W, mediante una simulación teórica del diseño de un generador de imanes permanentes para la turbina A1-C1-E2 y se consiguió una potencia de 6420.054W con una eficiencia en el generador de 73.06%.

Mediante unos cálculos matemáticos se halló la energía que producirá este tipo de turbina, siendo 154 363,2Wh por día, esta estimación se alcanzó mediante un método de estimación de energía propuesta en esta investigación, en donde los resultados del análisis computacional proporcionan características necesarias para su estimación.

Se encontró que el generador de imanes permanentes se puede utilizar para generación eléctrica mediante energías renovables, debido a que, en el modelamiento propuesto, se encuentra las características mínimas para su construcción, entonces a través del método desarrollado se puede construir de manera artesanal un generador de estas características.

TRABAJOS FUTUROS

A través del diseño de solución: experimental factorial, se consiguió apoyar el incremento de la frontera energética a través del desarrollo de proyectos de energía renovables, pero existen necesidades que no se han desarrollado del todo, una de ellas es que no se ha evaluado a grandes rasgos el uso en las zonas rurales, y cuáles pueden ser consideradas, además, para el uso de este tipo de tecnología.

Se recomienda que se realice una evaluación fluido dinámica, mediante software para encontrar el giro correcto en grados sexagesimales, cuando se acople una campana después de otra, debido a que las campanas para poder tener un fluido deben pasar a través de su interior, el álabe de mayor área debe ser el que se encargue de llevar el líquido a su centro, pero se observó en los planos que no existe un espacio realizado por un giro adecuado para campanas de 4 álabes.

Se observó que en las características mínimas de su instalación cuando se acopla a 10cm de distancia una campana después de otra el torque generado se reducirá a 28%, por lo que, para mejorar la capacidad de generación, se recomienda hallar una distancia más adecuada con el fin de que el torque generado por la campana siguiente no sea menor del 75%.

Se recomienda que se instale estas turbinas con el tipo de eje biomimético, debido a que es más estable en condiciones donde el caudal del agua es mayor a $7\text{m}^3/\text{s}$, y para encontrar uniformidad en la instalación, además que no se evaluó que el tipo de eje biomimético podría causar más problemas que soluciones.

Se debería apoyar en esta investigación a través del desarrollo de una generadora de gran tamaño, en donde el eje ya no sea biomimético, sino que sea estático, y que sea emplazado en canales de regadíos o en los tubos del salto de las mini-centrales hidráulicas, de esta manera no solo se puede tener energía para zonas rurales, sino que se puede tener Mini-centrales con un gran potencial de generación evitando la inversión por la infraestructura civil ocasionada, por la construcción de presas.

Se debería evaluar una central de este tipo de turbinas para ríos con pendiente y con muchas campanas y emplazadas en el ancho de un río, por que como se demostró este tipo de turbina no tiene los problemas de las turbinas clásicas, que provocan cavitación, golpe de ariete entre otros errores, ya que gracias a este tipo de diseño se evitó muchos problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PINEDO, Andrea. Crónica: Pobreza rural en la Amazonía de Loreto - Punto y Coma. [online]. 2018. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <http://www.puntoycoma.pe/economia/cronica-pobreza-rural-en-la-amazonia-loreto/>
2. REVE. Acciona suministra energías renovables en la Amazonia | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [online]. 2017. [Accessed 2 July 2018]. Available from: https://www.evwind.com/2017/11/24/accion-a-suministra-energias-renovables-en-la-amazonia/Sistemas_fotovoltaicos_domiciliarios_dan_electricidad_a_poblaciones_del_Amazonas_sin_comprometer_el_equilibrio_ambiental_ni_interferir_en_su_modo_de_vida
3. LA REPUBLICA. Vraem: invertirán 16 millones de soles para electrificación rural y urbana | LaRepublica.pe. [online]. 2017. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://larepublica.pe/reportero-ciudadano/1098738-vraem-invertiran-16-millones-de-soles-para-electrificacion-rural-y-urbana>
4. INEI. El 80,1% de los hogares del área rural cuentan con energía eléctrica por red pública en el último trimestre de 2017. [online]. 2018. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/el-801-de-los-hogares-del-area-rural-cuentan-con-energia-electrica-por-red-publica-en-el-ultimo-trimestre-de-2017-10649/>
5. DIARIO CORREO. El 7% de la población de Junín no cuenta con electricidad | Diario Correo. [online]. 2015. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://diariocorreo.pe/ciudad/el-7-de-la-poblacion-no-cuenta-con-electricidad-622964/>
6. TARABOCHIA, Milton. Energías limpias: ¿Por qué es necesario desarrollarlas en el Perú? | LaRepublica.pe. [online]. 2017. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://larepublica.pe/sociedad/1136822-energias-limpias-por-que-es-necesario-desarrollarlas-en-el-peru>
7. MARTIN, laura. Energía para todos, el nuevo reto de Latinoamérica – Compromiso Empresarial. [online]. 2017. [Accessed 2 July 2018]. Available from: https://www.compromisoempresarial.com/innovacion_social/2017/08/energia-para-todos-el-nuevo-reto-de-latinoamerica/
8. GAMIO, Pedro. Post: Ministerio de Energía y Minas: más allá de la minería, también importan las energías renovables. [online]. 2018. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://pedrogamio.lamula.pe/2018/04/05/los-lobbies-y-la-falta-de-una-clara-voluntad-politica-resisten-a-la-inversion-en-energias-limpias/pedrogamio/>
9. BENAVENTE P., Rocio. Energías renovables: Rotor, un generador hidroeléctrico low cost construido en un neumático. [online]. 2014. [Accessed 2 July 2018]. Available from: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-08-30/rotor-un-generador-hidroelectrico-low-cost-construido-en-un-neumatico_183052/
10. PALOMINO, Daniel. Hidrotor, una nueva forma de ver la energía hidráulica. [online].

2017. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://www.renovablesverdes.com/hidrotor-una-nueva-forma-de-ver-la-energia-hidraulica/>
11. ECOTICIAS.COM. 'Energía Hidráulica, la renovable del agua.' [online]. 2012. [Accessed 2 July 2018]. Available from: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/61316/Energia-Hidraulica-renovable-agua-energias-renovables>
 12. HORTA, Carlos. *Estudio Fluidodinámico en el Interior de un Inyector de Una Turbina Pelton Mediante la Aplicación del Software CFD*. UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI, 2009.
 13. ALBERTO, Julio. *Diseño de una Turbina Hidráulica Basada en el Tornillo de Arquimedes*. Universidad de El Salvador, 2011.
 14. OROZCO, Gonzalo. *Diseño y Construcción de un Prototipo de una Turbina para Generación de Energía Eléctrica en una Microplanta*. Instituto Politécnico nacional escuela Zacatenco, 2011.
 15. MAGLIC, Michael J. *ScholarWorks@UMass Amherst Biomimicry: Using Nature as a Model for Design* [online]. University of Massachusetts Amherst, 2012. Available from: <https://scholarworks.umass.edu/theses/871>
 16. RODRÍGUEZ, Andres. *Análisis CFD de un Álabes del Último paso de una Turbina de Vapor*. Universidad Politécnica de Madrid, 2016. El presente proyecto consiste en el estudio detallado de las sollicitaciones mecánicas a las que se encuentra sometido un álabes correspondiente a la sección de baja presión de una turbina de vapor.
 17. GAITÁN, Jorge. *Validación del Comportamiento de un Rotor Eólico Biomimético Mediante un Modelo Supervisado en CFD*. Universidad Nacional de Colombia, 2017.
 18. MALDONADO, Francisco. *Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.
 19. VIDAL, Víctor. *Análisis del Dimensionamiento de una Turbina Hidráulica, por Redes neuronales para una Minicentral*. Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.
 20. PEÑA, Víctor. *Diseño de Una turbina Hidro-Cinetica para Aprovechamiento Energético de ríos no Caudalosos*. Universidad de Piura, 2013.
 21. ZEGARRA, Roberto. *Análisis y Simulación Fluidodinámica del Fenómeno de Cavitación en una Turbina Francis*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015.
 22. CARHUAMACA, Frans. *Configuración del Rodete para Mejorar la Producción de Energía Eléctrica con Turbinas Michell-Banki*. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.
 23. MAYCO, Raúl. *Optimización de los Factores de Operación para Mejorar el Rendimiento de la Pico Turbina Michell-Banki*. Universidad Nacional del Perú, 2014.
 24. CARTA, José, PERÉZ, Roque, COLMENAR, Antoni and CASTRO, Manuel. *Centrales*

- de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables*. Primera Ed. Madrid, 2009. ISBN 978-84-832-2227-0.
25. AGUET, Michel and MORF, Jean-Jacques. *ENERGÍA ELÉCTRICA*. Primera Ed. Mexico D.F. : LIMUSA, 1988. ISBN 968-18-2167-x.
 26. CASTELFRANCHI, G. *Centrales Eléctricas Tomo I*. Primera Ed. Lima, 1982.
 27. INEI. *INEI: Censos Nacionales 2017*. 2017.
 28. COMERCIO, El. MEM: Producción de electricidad aumentó 1,8% en 2017. [online]. 2018. Available from: <https://elcomercio.pe/economia/peru/mem-produccion-electricidad-aumento-1-8-2017-noticia-495120>
 29. BENYUS, Janine. *What is Biomimicry?* [online]. 2011. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=FBUpnG1G4yQ>
 30. SÁNCHEZ, Ronny. Biomimética: una metodología de diseño sostenible. *Arquetipo*. 2017. No. September.
 31. RUIZ-VANOYE, Jorge and DIAZ-PARRA, Ocotlán. *Bio-Innovación BIO-INNOVACION Innovación a través de la observación , análisis y comprensión de la naturaleza*. Primera Ed. Cuernavaca, Morelos, México : Aditorial Academia Dragon Azteca, 2014. ISBN 9786079618209.
 32. ROCHA, Enrique, RODRÍGUEZ, José, MARTÍNEZ, Enrique and LÓPEZ, Juan. Biomimética : Innovación Sustentable Inspirada por la Naturaleza. *Investigación y Ciencia*. 2012. Vol. 54, p. 56–61.
 33. ESPINOZA, Ciro. *Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas*. Segunda Ed. Huancayo, 2014. ISBN 978-612-00-1667-1.
 34. NATIONAL GEOGRAPHIC, EDITEC. *LA PROPORCIÓN ÁUREA: Elnlenguaje matemático de la belleza*. Primera Ed. España, 2014. ISBN 978-84-473-7730-5.
 35. [HTTP://WWW.REGIONJUNIN.GOB.PE](http://www.regionjunin.gob.pe). Gobierno Regional Junín intensifica II Etapa de canales de riego en Chupaca. [online]. 2016. [Accessed 7 December 2018]. Available from: http://www.regionjunin.gob.pe/noticia/id/2016052310_gobierno_regional_junin_intensifica_ii_etapa_de_canales_de_riego_en_chupaca Con una inversión de 3 millones 145 mil soles a lo largo de 18 kilómetros
 36. INRENA. *inventario de Infraestructura de Riego y Drenaje del Canal de Irrigación de la Margen Izquierda del Rio Mantaro-Cimir*. 1965.
 37. ESPINÓS, Enrique. *Diseño de un aerogenerador de imanes permanentes para bajas velocidades de viento*. Panamá, 2014.
 38. EIA. Natural gas expected to remain most-consumed fuel in the U.S. industrial sector - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA). [online]. 2018. [Accessed 24 May 2019]. Available from: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35152>

ANEXOS

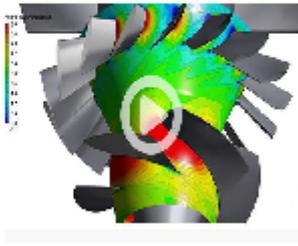
ANEXO A

INSTRUMENTO DE DISEÑO DE SOLUCIÓN

Para realizar el diseño nos basamos en la ficha de observación siguiente para realizar las combinaciones necesarias, y encontrar el diseño más adecuado.

MODELO DE OBSERVACIONES	DATOS DE LOS RESULTADOS CON LA COMBINACION DE LAS DIMENSIONES INCLUYENDO LAS REPLICAS				
	VARIABLE INDEPENDIENTE			VARIABLE DEPENDIENTE	
	Configuración de la turbina			Combinación de Tratamientos	
	Cantidad de Alabes	Cantidad de Campanas	Tipo de Eje	Generación de Energía Eléctrica	Replicas (1)
	Unidades	Unidades	Característica	Energía	Torque
	A1	C1	E1	A1-C1-E1	
E2			A1-C1-E2		
C2		E1	A1-C2-E1		
		E2	A1-C2-E2		
A2	C1	E1	A2-C1-E1		
		E2	A2-C1-E2		
	C2	E1	A2-C2-E1		
		E2	A2-C2-E2		

TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	Cantidad de Alabes: 02 niveles (A1= 3; A2=4)				
	Cantidad de Campanas: 02 niveles (C1= 3; C2=4)				
	Tipo de Eje: 02 niveles (E1= Estático; E2=Biomimético)				
	Replicas: 1				
	Numero de observaciones: 8				

Nombre:	Autodesk Inventor	Sistema Operativo:	Windows	Versión:	2016-Español
<p>Inventor permite la integración de datos 2D y 3D en un único entorno, creando una representación virtual del producto final que permite a los usuarios validar la forma, el ajuste y la función del producto antes de que se construya. Autodesk Inventor incluye potentes herramientas de modelado paramétrico, edición directa y formas libres, así como capacidades de traducción multi CAD y en sus dibujos DWG™ estándar.</p>					

RESUMEN DEL INSTRUMENTO DE LA SIMULACIÓN AUTODESK-

CFD

Software de dinámica de fluidos computacional.

El software Autodesk® CFD proporciona dinámicas de fluidos computacionales y herramientas de simulación térmica para ayudarlo a predecir el rendimiento del producto, optimizar los diseños y validar el comportamiento del producto antes de la fabricación.

Estrategia de modelado

- La geometría CAD sin errores y sin características extrañas es esencial para la eficiencia del análisis. Quite los bordes pequeños y las superficies de la astilla, particularmente en el impulsor y la carcasa de voluta. Cerrar pequeños huecos alrededor de los amillos de desgaste y el embalaje.
- Extienda la succión (entrada) y la descarga (salida) al menos 3-4 diámetros hidráulicos del impulsor. Esto es necesario para evitar que las condiciones de contorno influyan directamente en los resultados.
- La región giratoria solo debe envolver el impulsor, pero no tocar ninguna parte estática. Debe extenderse hasta la mitad entre el diámetro exterior del impulsor y el agua de corte.
- Para facilitar el refinamiento de la malla local alrededor de los bordes delanteros de la cuchilla y la lengüeta de la voluta de la carcasa de la bomba, intente construirlos utilizando superficies distintas (en lugar de superficies grandes que se extiendan sobre la extensión de la cuchilla o la voluta). Esto hace que sea mucho más fácil aplicar el refinamiento de malla local a estas regiones críticas.

NOTA: El instrumento para realizar el diseño de solución, se basa en la elaboración directa del producto mediante un software de diseño, en el cual se especifica todos los parámetros de diseño.

ANEXO B

ANEXO B: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: TURBINA HIDRÁULICA CON TECNOLOGÍA BIOMIMÉTICA PARA ZONAS CON AFLUENTE HÍDRICO DE BAJO CAUDAL PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	RESULTADOS ESPERADOS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo configurar el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son los factores de un modelo virtual en el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable? ¿Cómo influye la modificación de los factores de un modelo virtual de diseño de una 	<p>Objetivo General:</p> <p>Configurar el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> Determinar los factores de un modelo virtual en el diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable. Determinar la influencia en la modificación de los factores de un modelo virtual de diseño de una 	<p>Antecedentes.</p> <p>A nivel regional: (Carhuamaca 2014); Configuración del rodete para Mejorar la Producción de Energía Eléctrica con turbinas Michell – Banki (Mayco 2014); Optimización de los Factores de Operación para Mejorar el Rendimiento de la Pico Turbina Michell-Banki.</p> <p>A nivel nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Maldonado 2005); Diseño de una Turbina de Río para la Generación de Electricidad en el Distrito de Mazán-Región Loreto. (Vidal 2010), Análisis del Dimensionamiento de una Turbina Hidráulica, por redes Neuronales para una Minicentral. (Peña 2013); Diseño de una turbina Hidro-Cinética para Aprovechamiento Energético de Ríos no Caudalosos. (Zegarra 2015); Análisis y Simulación Fluidodinámica del Fenómeno de Cavitación en una Turbina Francis. <p>A nivel internacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Horta 2009); Estudio Fluidodinámico en el Interior de un Inyector de una Turbina Pelton Mediante la Aplicación del Software CFD. (Alberto 2011); Diseño de una Turbina Hidráulica Basada en el Tornillo de 	<ul style="list-style-type: none"> La construcción virtual de una turbina hidráulica con tecnología biomimética mejorará significativamente la generación eléctrica con energías renovables en las zonas rurales con afluente hídrico en caudales de 4m³/s como mínimo, del Valle del Mantaro. Se desarrollará un diseño virtual de turbina basada en tecnología biomimética mediante las simulaciones se obtendrán datos para tomar una decisión de elección de turbina, basado en una evaluación experimental con dos valores cualitativos y 1 un valor cuantitativo. Se determinará la potencia útil y potencia eléctrica que generará la turbina en 	<p>Variable 1: (DEPENDIENTE)</p> <p>Energía Eléctrica (Carhuamaca 2014)</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> Amper Voltios Watts <p>Variable 2: (INDEPENDIENTE) (Carhuamaca 2014)</p> <p>Configuración del diseño de turbina</p> <ul style="list-style-type: none"> Cantidad de Alabes Cantidad de Campanas Tipo de Eje 	<p>Tipo de investigación: Tecnológica Nivel de investigación: Experimental Diseño de investigación: Factorial Experimental</p>  <p>Cantidad de álabes: (A1=3, A2: 4)</p> <p>Cantidad de campanas: (C1=3; C2= 4)</p> <p>Tipo de eje: (E1= Estático, E2= Biomimético)</p>

<p>turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?</p> <p>3. ¿Cómo combinar los factores de un modelo virtual del diseño de una turbina hidráulica de tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable?</p>	<p>turbina hidráulica con tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.</p> <p>3. Determinar una combinación adecuada de los factores de un modelo virtual del diseño de una turbina hidráulica de tecnología biomimética para zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable.</p>	<p>Arquimedes, en la Universidad de El Salvador.</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Orozco 2011); Diseño y Construcción de un Prototipo de una Turbina para Generación de Energía Eléctrica en una Microplanta • (Maglic 2012); Biomimicry: Using Nature as a Model for Desing. • (Rodríguez 2016) realizo la tesis de pregrado: Análisis CFD de un Álabo del Último paso de una Turbina de Vapor. • (Gaitán 2017) realizo la tesis de Maestría: Validación del comportamiento de un Rotor Eólico Biomimético Mediante un Modelo Supervisado en CFD. <p>Marco teórico referencial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica: La medición de la Producción de la energía eléctrica nos dará los valores en que ha mejorado la producción y también poder saber cuál de las variables independientes ha influido en mayor importancia para el aumento en la Producción de la energía eléctrica. <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Amper ✓ Voltios ✓ Watts <ul style="list-style-type: none"> • Diseño Biomimético <ul style="list-style-type: none"> ✓ Método espiral ✓ Que es biomimética • Centrales Hidroeléctricas <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tipos y características 	<p>condiciones mínimas del caudal.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se diseñara mediante cálculos matemáticos, un generador de imanes permanentes como alternativa de generador para la turbina biomimética. 	<p>Técnicas de procesamiento de datos: En el trabajo se utilizó la técnica empírica que nos permitió acumular y sistematizar información. Así mismo la observación nos permitió obtener datos mediante las hojas de registro del funcionamiento del objeto de estudio y la simulación, los factores o dimensiones a los cuales se aplicó.</p>
--	--	---	---	--

CAMAYO H.K.J.

ANEXO C
PLANOS