



Diseño de un Prototipo Hidráulico de Baja Potencia para la Generación de Energía en la Sierra Nevada de Santa Marta.

**Eryc Alfonso Leguisamon Betancurt, Jesús David Franco
Barrios.**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

Diseño de un Prototipo Hidráulico de Baja Potencia para la Generación de Energía en la Sierra Nevada de Santa Marta.

Eryc Alfonso Leguisamon Betancurt, Jesús David Franco Barrios.

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director :

Ingeniero Rafael María Hurtado Barrera

Línea de Investigación:
Eficiencia energética

Grupo de Investigación: GI- Fourier

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

(Dedicatoria)

Agradecimientos infinitos a Dios, que es quien hace posible el logro de todas mis metas, por bendecirme con vida, salud, llenarme de sabiduría, paciencia y mucha fortaleza para vencer cada uno de los obstáculos que se presentaron en el camino para lograr hoy satisfactoriamente una meta más en vida, convertirme en profesional en Ingeniería Mecánica.

A mis padres...

Por su apoyo incondicional durante toda mi preparación para ser profesional, por creer en mis capacidades, por motivarme, son el pilar fundamental para el logro de cada una de mis metas.

A mis docentes...

Gracias por compartir sus conocimientos y tiempo que fueron de trascendental importancia para mi formación como profesional.

A todas esas personas especiales en mi vida que de una u otra forma estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo y voz de aliento las veces que sentí desistir, a aquellas que llegaron de forma efímera y que en su momento fueron de mucha ayuda y contribuyeron en este logro.

A la Universidad Antonio Nariño, Alma mater, gracias por abrirme las puertas y contribuir a mi formación como profesional y persona.

Jesús

(Dedicatoria)

Agradecido con Dios primeramente por permitirme estar aquí con salud por darme perseverancia sabiduría para alcanzar esta meta, a la Universidad Antonio Nariño que me abrió sus puertas para ser mejor persona, a los profesores que con el pasar de los años nos aportaron lo mejor de ellos, a nuestros compañeros ya que con ellos compartimos momentos importantes en la formación como profesionales...

El presente proyecto se lo dedico a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mi madre Sonia Elena Betancurt Gomez que siempre ha estado apoyándome desde la distancia, a mi abuela Rosa Isabel Gómez Q.E.P.D, me enseñó el valor espiritual, a mi padre Alfonso Leguisamon Q.E.P.D por impulsarme a ser mejor, a los demás familiares y amigos que estuvieron cerca alentándome a continuar en este proceso.

Muchas gracias a todos.

Eryc

Resumen

Dicha investigación está orientada hacia el apoyo y cuidado del medioambiente, con la utilización de energías limpias y en busca de un mejoramiento continuo para suplir las necesidades que la humanidad tiene en este momento. Colombia por ser uno de los países más ricos en materia de fuentes hídricas o con la mayor cantidad de ríos, se pretende implementar el desarrollo de ideas donde se genere un impacto positivo sin comprometer los recursos naturales. Así entonces, en los últimos años con el avance la producción de energía por medio de la energía hidráulica, a muy bajo costo, gracias al movimiento del agua, esta nos ayudara a resolver dicho problema generando beneficios ambientales y satisfaciendo las necesidades del ser humano.

Palabras clave: Caudal, energía, energía alternativa, hidroeléctrica, hidráulica,.

Abstract

This research is oriented towards supporting and caring for the environment, with the use of clean energies and in search of continuous improvement to meet the needs that humanity has at this time. Colombia for being one of the richest countries in terms of water sources or with the largest number of rivers, it is intended to implement the development of ideas where a positive impact is generated without compromising natural resources. So then, in recent years with the advancement of energy production through hydraulic energy, at a very low cost, thanks to the movement of water, this will help us solve this problem by generating environmental benefits and satisfying the needs of human beings.

Keywords: Flow, energy, alternative energy, hydroelectric, hydraulic, innovation, renewable, turbine.

Contenido

| | Pág. |
|---|-----------|
| 1. Capítulo I. Planteamiento del Problema..... | 17 |
| 1.1. Justificación del Proyecto | 18 |
| 1.2. Objetivos | 19 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 19 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 19 |
| 2. Capítulo II. Marco Referencial..... | 20 |
| 2.1. Marco Teórico..... | 22 |
| 2.1.2. Metodologías de gestión de generación de energía..... | 23 |
| 2.1.3. Tendencia de los equipos en el mundo..... | 24 |
| 2.2. Marco Conceptual | 25 |
| 2.3. Marco Geográfico..... | 26 |
| 3. Capítulo III. Diseño Metodológico | 28 |
| 3.1. Cronograma de Actividades | 28 |
| 3.2. Presupuesto de Investigación..... | 29 |
| 4. Capítulo IV. Resultados..... | 31 |
| 4.1. Caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizara en la producción de energía eléctrica. | 31 |
| 4.1.1. Ubicación del proyecto..... | 34 |
| 4.1.2. Precipitación Trimestral | 35 |
| 4.1.3. Sistema Eléctrico Colombiano | 38 |
| 4.1.4. Hidrografía..... | 39 |
| 4.1.5. Río Piedras | 40 |
| 4.1.6. Conclusión del Objetivo 1..... | 44 |
| 4.2. Describir el modelo a utilizar según los parámetros encontrados en la región geográfica donde se va a manejar la turbina hidráulica. | 45 |
| 4.2.1. Cómo funciona una turbina hidráulica | 46 |
| 4.2.2. Turbinas de acción | 47 |
| 4.2.3. Turbina de reacción | 50 |
| 4.2.4. Comparación de Turbinas..... | 51 |
| 4.2.5. Conclusión del Objetivo 2 | 52 |
| 4.3. Desarrollar prototipo según parámetros seleccionados que cumplan con las especificaciones técnicas del sitio donde se va a instalar. | 53 |
| 4.3.1. Cálculos para determinar el desempeño de la turbina Pelton | 53 |
| 4.3.2. Fatiga de Materiales | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.4. Conclusión del Objetivo 3 | 92 |
| 4.4. Determinar los costos de fabricación de una turbina de baja potencia para generar energía hidráulica para el abastecimiento de viviendas residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta. | 92 |
| 4.4.1. Tasa Representativa del Mercado (TRM) | 93 |
| 4.4.2. Costo Turbina Pelton | 93 |
| 4.4.3. Presupuesto de Fabricación Turbina Pelton | 94 |
| 4.4.4. Conclusión del Objetivo 4 | 95 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones | 96 |
| 5.1. Conclusiones | 96 |
| 5.2. Recomendaciones | 96 |
| 6. Bibliografía | 99 |

Lista de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 Ruedas hidráulicas | 24 |
| Ilustración 2 Ubicación Sierra Nevada de Santa Marta | 27 |
| Ilustración 3 Localización de los Glaciales Colombianos | 32 |
| Ilustración 4 Temperaturas medias y precipitaciones | 33 |
| Ilustración 5 Geografía de la Sierra Nevada de Santa Marta | 35 |
| Ilustración 6 Diagrama de precipitación para Sierra Nevada de Santa Marta | 36 |
| Ilustración 7 Probabilidad diaria de precipitación en Santa Marta | 37 |
| Ilustración 8 Promedio mensual de lluvia en Santa Marta | 38 |
| Ilustración 9 Centrales en Colombia - Combustibles y Renovables | 39 |
| Ilustración 10 Cambio de forma en curva hipsométrica con la edad del río | 40 |
| Ilustración 11 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Piedras | 41 |
| Ilustración 12 Curva de duración de caudales, río Piedras – Zona Productora Jericó, Antioquia | 42 |
| Ilustración 13 Corriente del Río Piedra - Caudales Mínimos | 42 |
| Ilustración 14 Caudales mínimos del Río Piedras..... | 43 |
| Ilustración 15 Clasificación Generadores de Energía capacidad instalada | 44 |
| Ilustración 16 Modelo turbina hidráulica..... | 46 |
| Ilustración 17 Modelo Transformación energía | 47 |
| Ilustración 18 Modelo turbinas de acción..... | 47 |
| Ilustración 19 Turbina Pelton | 48 |
| Ilustración 20 Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton | 49 |
| Ilustración 21 Tabla comparativa turbinas | 51 |
| Ilustración 22 Esquema de profundidad entre Turbinas..... | 51 |
| Ilustración 23 Plano Rodete..... | 56 |
| Ilustración 24 Cuchara de Impulso | 57 |
| Ilustración 25 Plano Carcasa Inferior y Superior..... | 57 |
| Ilustración 26 Inyector o pipeta..... | 58 |
| Ilustración 27 Chumacera VPS-216..... | 58 |
| Ilustración 28 Acople | 59 |
| Ilustración 29 Generador | 60 |
| Ilustración 30 Prototipo Turbina Pelton Armada..... | 61 |
| Ilustración 31 Carcasa Análisis Esfuerzos Fatiga Eje Plano | 62 |
| Ilustración 32 Fatiga: Biaxialidad | 65 |
| Ilustración 33 Análisis Estativo Tensión Nodal..... | 65 |
| Ilustración 34 Desplazamiento Estático | 66 |
| Ilustración 35 Deformación Unitaria Estática | 66 |
| Ilustración 36 Distribución Factor de Seguridad..... | 67 |
| Ilustración 37 Carcasa Análisis Esfuerzos Fatiga Eje Plano | 67 |
| Ilustración 38 Fatiga Biaxialidad 3 | 68 |
| Ilustración 39 Análisis Estático 1 | 68 |
| Ilustración 40 Desplazamiento Estático 1 | 69 |
| Ilustración 41 Factor de Seguridad FDS..... | 69 |
| Ilustración 42 Fatiga Daño Resultado 1 | 70 |
| Ilustración 43 Fatiga Fallos Resultado 2..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 44 Fatiga Biaxialidad Resultado 3 | 71 |
| Ilustración 45 Fatiga Resultado 4 | 71 |
| Ilustración 46 Análisis Estático Tensión Nodal 1 | 72 |
| Ilustración 47 Grafico Fatiga Biaxialidad Resultado 3..... | 73 |
| Ilustración 48 Grafica Deformación Unitaria Estática..... | 73 |
| Ilustración 49 Fatiga Factor de Carga | 74 |
| Ilustración 50 Grafica FDS | 74 |
| Ilustración 51 Fatiga Daño | 75 |
| Ilustración 52 Desplazamiento Estático..... | 75 |
| Ilustración 53 Fatiga Vida..... | 76 |
| Ilustración 54 Grafico Análisis Estático Tensión Nodal..... | 76 |
| Ilustración 55 Despiece 1 Esquema Acople De Turbina Pelton | 77 |
| Ilustración 56 Despiece 2 Esquema Acople De Turbina Pelton..... | 77 |
| Ilustración 57 Despiece 3 Esquema de Turbina Pelton | 78 |
| Ilustración 58 Despiece 4 Esquema de Turbina Pelton | 78 |
| Ilustración 59 Fatiga Biaxialidad R5 | 79 |
| Ilustración 60 Grafico Fatiga Biaxialidad R5 | 79 |
| Ilustración 61 Fatiga Daño R1 | 80 |
| Ilustración 62 Grafico Fatiga Daño R1 | 80 |
| Ilustración 63 Fatiga Factor de Carga R6..... | 81 |
| Ilustración 64 Vector Fatiga Factor de Carga R6..... | 81 |
| Ilustración 65 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Y-X..... | 82 |
| Ilustración 66 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Z-X..... | 82 |
| Ilustración 67 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Y-Z..... | 83 |
| Ilustración 68 Grafica Fatiga R6..... | 83 |
| Ilustración 69 Grafica Fatiga R4 | 84 |
| Ilustración 70 Grafica Fatiga R6..... | 84 |
| Ilustración 71 Vida Total Ciclos Fatiga Eje Plano Y-Z..... | 85 |
| Ilustración 72 Fatiga Vida R2 | 85 |
| Ilustración 73 Fatiga Vida Total R2 | 86 |
| Ilustración 74 Fatiga Vida Total R2-2 | 86 |
| Ilustración 75 Fatiga Vida Total R2-3 | 87 |
| Ilustración 76 Grafica Fatiga Vida Total R2-2..... | 87 |
| Ilustración 77 Grafica Fatiga Vida R2..... | 88 |
| Ilustración 78 TRM..... | 93 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1 Diseño Metodológico | 28 |
| Tabla 2 Cronograma de Actividades..... | 29 |
| Tabla 3 Presupuesto de la Investigación | 29 |
| Tabla 4 Caudal medio mensual multianual en l/s del rio piedra | 42 |
| Tabla 5 Materiales Utilizados en la construcción | 55 |
| Tabla 6 Precio de Turbinas Pelton en el Mercado | 93 |
| Tabla 7 Presupuesto de Fabricación Turbina Pelton | 94 |

Introducción

Hoy en día, con el problema a nivel mundial de los gases efectos invernaderos y la escasez de elementos como el petróleo, el cual es tomado como fuente de energía para mover motores y producir electricidad, han impactado fuertemente en la sociedad. *“Así, el informe de 2021 refleja el profundo impacto que la pandemia ha ejercido sobre los mercados energéticos y cómo el año del Covid puede acabar dando forma a las tendencias energéticas del futuro”* (bp.com, 2021). En Colombia dicho sector energético ha tenido un gran desarrollo marcando un nuevo horizonte; este vislumbra una solución viable en la utilización de las fuerzas que posee la naturaleza y aprovecharla en beneficio del ser humano, el Sol, el viento, las corrientes marinas son, entre otras muchas, fuentes de energía inagotables, energía del futuro.

Sin embargo, todo proceso asociado a la acumulación de energía requiere ser controlado y monitoreado, esto sirve para garantizar que todo está dentro de los parámetros establecidos, lo cual impulsa la generación de empleo en cualquier ciudad, *“el sector eléctrico en Colombia ha tenido un desarrollo importante en los últimos años, el mercado de energía mayorista en Colombia cuenta con unas reglas de claras para la generación de energía eléctrica y su posterior comercialización”* (Osorio, 2017).

No obstante, fuentes de energía como la hidráulica solo lo hemos visto a gran escala como conocemos centrales hidroeléctricas transforman la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica o eléctrica, se suelen encontrar en grandes presas y pantanos.

Son obras de alto costo y con un gran impacto ambiental, pero al desarrollar dispositivos móviles a menor escala en pequeños y medianos cauces de agua, es en este punto, donde se justificará la necesidad del micro y pico centrales hidroeléctricas, estas son *“pequeños sistemas energéticos que aprovechan la energía renovable de pequeños y medianos cursos de agua y la transforman en energía eléctrica. Funcionan con desniveles de 2 a 500 metros y caudales de 0,5 a 5000 litros/seg”* (metropol.gov.co, 2019).

1. Capitulo I. Planteamiento del Problema.

Una de las cosas que debemos tener en cuenta es que *“las fuentes de energía renovable poseen la ventaja de estar disponibles localmente, son sostenibles a largo plazo y las tecnologías no contaminan durante su operación”* (García, 2016). Sin embargo, la utilización de estas solo se ha llevado a gran escala, sin tener en cuenta que hay hogares a grandes distancias y la inversión de tener energía es muy costosa.

Ahora bien, las viviendas que se encuentran en lugares alejados de las redes eléctricas deben buscar la forma de poder tener energía eléctrica para poder tener las comodidades, como son la luz, calefacción y elementos fríos o calientes en la mesa.

Con respecto a las pequeñas hidroeléctricas son unas herramientas de apoyo a esa comodidad que necesita el ser humano; No obstante, con la implementación de una pequeña central hidroeléctrica (PCH), será un sistema piloto sostenible económico, social y ambientalmente a los hogares más alejados que no están en la comedia de la red eléctrica convencional.

En la Sierra Nevada de Santa Marta, los inconvenientes que poseen algunos de sus habitantes es de no contar con un servicio de energía eléctrica los afecta, siendo esta una necesidad del ser humano y la comodidad que este se merece, a pesar que nuestro país los últimos años ha tenido un aumento en la generación de energía eléctrica con el apoyo de innovaciones. Sabiendo que en ese lugar nacen una cantidad de ríos de Colombia y algunos ya son aprovechados en algunos lugares por su fuerza para la generación en

grandes cantidades de energía eléctrica, gracias al aprovechamiento de su fuerza, el hombre la transforma sin afectar al medio ambiente. En el nacimiento de los afluentes es donde se encuentra la clave para poder mejorar la calidad de vida de dichas comunidades. Sin embargo, para poder satisfacer la necesidad de las demás personas se debe recurrir a la innovación de crear dispositivos a escala o caseros que puedan suministrar esa energía a sus hogares.

Basados en la información recolectada de diferentes investigaciones en la zona analizada, se permite resaltar que la energía que generan en sus nacimientos o cercanías de ellos los ríos en su caudal tiene la capacidad de proveer esa energía faltante a los hogares más lejanos de la Sierra Nevada. Por ello, resultan preguntas que se deben solucionar las cuales deben apuntar a ese mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

¿Cuál sería el diseño apropiado según las condiciones de la zona para poder crear un prototipo que pueda generar energía eléctrica?

Con el desarrollo de esta investigación se pretende dar solución a la pregunta de ¿Cómo diseñar un prototipo para la generación de energía limpia en hogares de la Sierra Nevada?

1.1. Justificación del Proyecto

Uno de los puntos a tener en cuenta en la creación de dispositivos que ayuden a la obtención de energía limpia sin afectación al planeta es que su inversión de fabricación contra su utilidad es menor. *“Así mismo, al utilizar esta fuente de energía como alternativa a fuentes fósiles, se reduce la contaminación atmosférica; y por lo tanto se reduce el impacto”* (García, 2016). No obstante, la comodidad del ser humano es la que este siempre ha estado buscando, por eso se hace necesario que para suplir una de esas necesidades este asociado al confort de una condición agradable, para llegar a tal punto se puede suplir con el diseño de esta mini turbina.

Vale la pena decir que esta turbina prototipo Pelton tiene un menor costo de fabricación y una facilidad de ser transportada de un lugar a otro, son ventajas que la hacen de fácil acceso a personas de recursos bajos, siendo primordial para que se pueda utilizar en otras actividades donde se requiera energía eléctrica. En cuanto a *“la hidroeléctrica creció un 21,5% y las renovables un 4,8%, mientras que el consumo de energía nuclear se mantuvo estable”* (bp.com, 2021). Esto indica que es una buena inversión tener una mini hidroeléctrica casera.

Por un lado, *“la energía que se genera en Colombia esta soportada en su mayoría por recursos hidráulicos, así entonces los proyectos hidroeléctricos presentan una relevancia importante en el país”* (García, 2016). Sabiendo esto podemos afirmar que la implementación de este dispositivo en los causales de los ríos podría beneficiar a las familias haciendo que disminuyan sus gastos por la compra de combustible derivado del petróleo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo para la generación de energía eléctrica mediante una turbina hidráulica de baja potencia para el uso de instalaciones residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta.

1.2.2. Objetivos específicos

Caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizara en la producción de energía eléctrica.

Describir el modelo a utilizar según los parámetros encontrados en la región geográfica donde se va a manejar la turbina hidráulica.

Desarrollar prototipo según parámetros seleccionados que cumplan con las especificaciones técnicas del sitio donde se va a instalar.

Determinar los costos de fabricación de una turbina de baja potencia para generar energía hidráulica para el abastecimiento de viviendas residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta.

2. Capitulo II. Marco Referencial.

Siendo este considerado como la ciencia que busca afianzar un conocimiento y profundizarlo para darle solución a los problemas de investigación, su consistencia se basa en la recopilación de conceptos y teorías asociadas al mismo, donde este se compone de un marco teórico aquí se reúnen las teorías encontradas que harán que este tenga un soporte en el tema investigativo, un marco conceptual el cual marca un léxico el cual dará el conocimiento al lector de entender sobre el tema y al investigador a poder transmitir ese conocimiento. Además, de un marco geográfico el cual describirá la zona de trabajo.

Basados en la publicación de la Universidad Piloto de Colombia, sus investigadores expresan que *“las energías alternativas son empleadas en países desarrollados desde hace mucho tiempo, obteniendo como resultado la reducción de contaminantes que generan el uso de energías no renovables y nuevos progresos verdes”* (Guzman & Valdes, 2020). Siendo esta una solución viable en sitios apartados de la civilización. Colombia al ser un país rico en variedad y siguiendo su impulso por alcanzar un estado sustentable e innovador busca dentro de esta opción una solución a los problemas ambientales que se tienen.

Según la publicación de la Universidad Tecnológica del Perú sus investigadores comentan que *“las fuentes de energía utilizadas actualmente se están agotando, también su impacto en el medio ambiente es alto; es por ello, que se busca la manera de utilizar nuevos tipos de energía que sean renovables”* (Ortega & Valdivia, 2018). Con la innovación de prototipos los cuales se deben apoyar podemos evitar la desaparición de dichos recursos.

Al momento de crear escenarios donde se desarrollen en el lecho de un río a nivel macro, específicamente en la cuenca de este, se debe utilizar una planeación estratégica para tomar dicha decisión con el fin de mitigar o disminuir el impacto ambiental que pueda ocurrir. Sin embargo, hoy en día desde las universidades y colegios se ha inculcado más a sus estudiantes a buscar la forma de solucionar problemas que afecten a su comodidad. Por ello al resaltar la publicación de la Universidad Católica de Colombia sus investigadores *“en*

los países en vía de desarrollo el consumo de energía eléctrica se ha duplicado, la producción y el uso de ella son las responsables de la mayor emisión de gases de efecto invernadero que causan estragos en el cambio climático trayendo consecuencias a nivel social, ambiental y económico en el país” (Beltran, Huertas, & Riaño, 2017). Por ello en nuestro país el cual se encuentra en esa evolución o crecimiento en todas las áreas debe buscar la manera de competir a nivel internacional.

Por otro lado, la publicación de la Universidad Cooperativa de Colombia, sus investigadores comentan que *“nuestro país es conocido mundialmente, entre otras cosas, por su incomparable biodiversidad y gran abundancia de fuentes hídricas de distinta naturaleza; fuentes que pueden ser explotadas para la producción de energía hidroeléctrica”* (Forero, Moreno, & Neuta, 2019). Colombia no solo es rica por tener una abundancia de ríos, si no su privilegio es ser un país con más zonas de lluvias del mundo.

Por tal motivo, Colombia uno de los 10 países que posee este recurso hídrico con 46.000 km³, su aprovechamiento la cual proviene de seis puntos diferentes: aguas de lluvia, subterráneas, termo mineral, marino y glacial. Con cinco vertientes la caribe, Orinoco, amazonas, pacífico y catatumbo. Pero si nos vamos a la región donde se desarrollara el proyecto su economía se basa en el turismo, comercio, pesca y artesanías. No se cuenta con mucha tecnología por ser un lugar remoto y en algunos puntos de difícil acceso.

2.1. Marco Teórico

Siendo este el que recopila todas las fuentes que se han encontrado y será el apoyo de consulta para solucionar el problema, en este se incluyen todas las actualizaciones que se puedan referenciar. Su elaboración *“implica analizar y exponer teorías, investigaciones y antecedentes en general que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio.*

Podemos pensar en construir un marco teórico cuando nuestra idea de una investigación se ha planteado como problema de estudio” (investigaliacr.com, 2020).

2.1.2. Metodologías de gestión de generación de energía

A partir de la caída de agua de una altura considerable, la fuerza que esta lleva provoca un movimiento en un dispositivo el cual captura la energía y la transforma, la generación de energía por medio del sistema hidráulico es un recurso el cual está disponible en todas partes, el desarrollo y construcción de prototipos para que se adapten a las diferentes zonas es un trabajo de ingeniería.

Hoy en día las tendencias del mundo nos llevan a evolucionar así como *“en la industria 2.0 la electrónica se integró a la neumática (ejemplo una solenoides con bobinas), y en la Industria 3.0 se integraron los buses de campo (ejemplo los terminales de válvulas con bus de campo), en la industria 4.0 la neumática debe poderse adecuar a través de aplicaciones (Apps)”* (reporteroindustrial.com, 2017). Con una buena innovación se puede mejorar cada día más.

Sin embargo, se dice que el tamaño es el que importa, en este caso no es así porque al apuntarle a la generación de un prototipo para la calidad de vida personal del ser humano, es lo que interesa. Cabe recordar que *“la turbina hidroeléctrica es un dispositivo capaz de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica. Es un elemento esencial de las centrales hidroeléctricas y muestra un rendimiento altísimo: se estima que las turbinas son capaces de convertir más del 90 % de la energía cinética del agua que captan en energía mecánica”* (enelgreenpower.com, 2020).

Ilustración 1 Ruedas hidráulicas



Fuente 1 (Colina & Ordoñez, 2017)

Nota: Muestra las primeras ruedas hidráulicas.

2.1.3. Tendencia de los equipos en el mundo

Cabe resaltar que los tipos de turbina hidroeléctrica son Francis, Pelton y Kaplan, las cuales tienen un *“desafío de acelerar la productividad y generar mejores empleos para impulsar un desarrollo sostenible e inclusivo, el crecimiento de los países de la región ha estado por debajo del crecimiento tanto de las economías emergentes como de las desarrolladas”* (CEPAL, 2021).

Dentro de las aplicaciones que se les puede dar a pequeñas turbinas en el hogar es el aprovechamiento cerca de un río, donde se utiliza una caída de agua donde ese genera electricidad y el agua la retorna al río. *“La crisis de COVID-19 ha demostrado sin lugar a dudas la flexibilidad y resistencia únicas que proporciona la energía hidroeléctrica; en comparación con otras fuentes de energía”* (energiahoy.com, 2021). Dichas caídas de agua dan la fuerza que impulsa el mecanismo que genera la energía eléctrica. Las ventajas de

tener una energía hidráulica se asocian a la reutilización, duración, sostenibilidad, flexibilidad, control, menor costo, respaldo, entre otros.

Hoy en día con la cuarta revolución la llamada tecnológica las hidroeléctricas se están preparando para dar un salto digitalizándose o más bien modernizándose, por ende cuanto se mejore la eficiencia de la planta y disponibilidad, la su nivel de entrega será mayor, será eficiente y el costo energético disminuirá, además al incluir un buen nivel de planificación de mantenimiento este ayudara a su rendimiento, dándole el aumento a la productividad. Teniendo en cuenta que *“La hidroeléctrica básicamente es eso el agua tiene un costo y es importante medir el flujo de agua y poder determinar, pero con indicadores más fiables”* (energiahoy.com, 2020).

Cabe recordar que las turbinas tienen una distinción que las separa de las otras pero el punto es el mismo la generación de energías, su rango operativo hace que cada una tenga algo en particular; algunas de ellas su especialidad en aguas hay otras que con poca agua trabajan.

2.2. Marco Conceptual

En este se relacionan los conceptos que el investigador quiere compartir con el lector para su entendimiento del problema y su solución, además servirá para aumentar el léxico de ambos.

Aforo de caudales: Conjunto de operaciones que comprueban el curso del agua.

Alerta hidrológica: Fenómeno peligroso.

Caudal: Cantidad de agua que atraviesa de forma transversal el río.

Cambio Climático: Modificación del clima gracias a causas naturales o humanas.

Ciclo hidrológico: Condensación de agua convirtiéndose en nubes, precipitación y reevaporación.

Cuenca hidrográfica: Reunión de agua en un mismo punto que cae del cielo.

Demanda de energía: Carga en KW/h emitida por el suministro durante un tiempo determinado.

Demanda Máxima: Pico consumido en un área.

Demanda Mínima: Pico bajo registrado en un área.

Hidrología: Ciencia que estudia aguas que se encuentran en la tierra y son utilizadas por todos los seres vivos.

Hidrometría: Ciencia que habla de la utilización de los instrumentos que se utilizan en la hidrología.

Lecho de Río: Parte inferior conformada por flujo de agua.

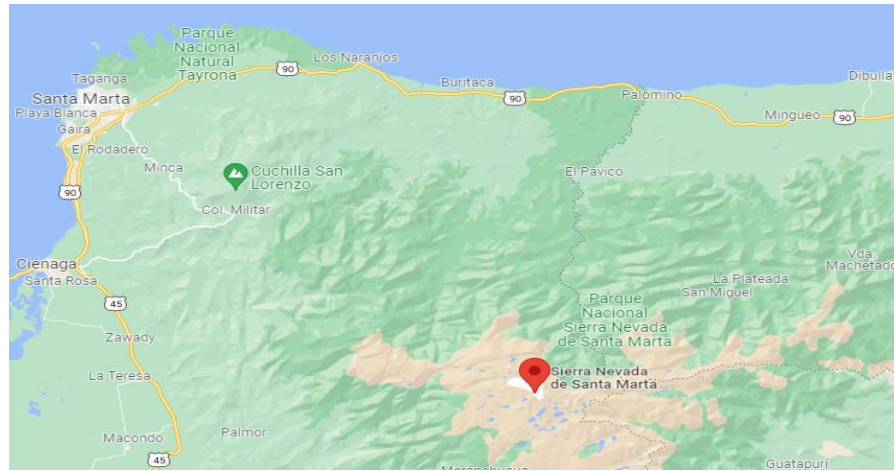
Precipitación: Elementos líquidos o sólidos que vienen de la condensación del vapor de agua cayendo al suelo.

Red hidrográfica: Conjunto de ríos de un lugar en específico.

2.3. Marco Geográfico

Asociado al sitio donde se realizaría la investigación, en ella se especifican detalles de su ubicación para mayor conocimiento del área objetivo, población, cultura, sexo, edad entre otros. Resaltando que el sitio es la Sierra Nevada de Santa Marta.

Ilustración 2 Ubicación Sierra Nevada de Santa Marta



Fuente 2 (google.com/maps, 2021)

Nota: Se muestra ubicación de la Sierra Nevada de Santa Marta en el mapa de Colombia.

3. Capitulo III. Diseño Metodológico

Su estructura se basa en el desarrollo mínimo y específico de las actividades que se desarrollarán para dar solución a los objetivos.

Tabla 1 Diseño Metodológico

| Objetivos Específicos | Procesos Metodológicos |
|--|--|
| Caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizará en la producción de energía eléctrica. | Buscar antecedentes de prototipos creados asociados al tema de investigación |
| Describir el modelo a utilizar según los parámetros encontrados en la región geográfica donde se va a manejar la turbina hidráulica. | Describir los modelos actuales de las turbinas que podrán servir en la zona seleccionada |
| Desarrollar prototipo según parámetros seleccionados que cumplan con las especificaciones técnicas del sitio donde se va a instalar. | Crear planos del prototipo seleccionado, determinando materiales utilizados |
| Determinar los costos de fabricación de una turbina de baja potencia para generar energía hidráulica para el abastecimiento de viviendas residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta. | Determinar los costos de fabricación de los materiales utilizados en la construcción de un prototipo |

Fuente 3 Elaboración Propia

Nota: Muestra el cómo desarrollar cada objetivo.

3.1. Cronograma de Actividades

Especifica claramente el desarrollo de la investigación y el paso a paso de la misma.

Tabla 2 Cronograma de Actividades

| OBJETIVOS ESPECIFICOS | MES 1 | | | | MES 2 | | | | MES 3 | | | | MES 4 | | | |
|---|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | S 1 | S 2 | S 3 | S 4 | S 5 | S 6 | S 7 | S 8 | S 9 | S 10 | S 11 | S 12 | S 13 | S 14 | S 15 | S 16 |
| Objetivo Específico 1. Caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizará en la producción de energía eléctrica. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 1.1. Recolectar la información que se utilizara en la investigación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 1.2. Clasificar los datos necesarios para soportar la investigación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 1.3. Digitar la información que soportara la investigación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Objetivo Específico 2. Describir el modelo a utilizar según los parámetros encontrados en la región geográfica donde se va a manejar la turbina hidráulica. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 2.1. Detallar los modelos actuales en el mercado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 2.2. Seleccionar el modelo adecuado a las características de la región | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Objetivo Específico 3. Desarrollar prototipo según parámetros seleccionados que cumplan con las especificaciones técnicas del sitio donde se va a instalar. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 3.1. Crear borrador de prototipo que cumplan con las especificaciones técnicas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 3.2. Diseñar plano de prototipo que cumplan con las especificaciones técnicas | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Objetivo Específico 4. Determinar los costos de fabricación de una turbina de baja potencia para generar energía hidráulica para el abastecimiento de viviendas residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 4.1. Consultar precios de los materiales a usar en la construcción del prototipo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad 4.2. Seleccionar cotización de precios y materiales asociados a la construcción del prototipo | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente 4 Elaboración Propia

Nota: Muestra el desarrollo del proyecto con relación al tiempo empleado a su ejecución.

3.2. Presupuesto de Investigación

Este muestra el presupuesto que se utilizaría en la investigación para su realización.

Tabla 3 Presupuesto de la Investigación

| RECURSOS | DESCRIPCIÓN | CANT | Valor | PRESUPUESTO |
|----------|-------------|------|-------|-------------|
|----------|-------------|------|-------|-------------|

| | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|-----|---------|------------------|
| Personal Humano | Aspirante al título de Ingeniería. | 2 | 900.000 | 1.800.000 |
| Router | Internet inalámbrico | 1 | 40.000 | 40.000 |
| Equipos y Software | Alquiler de Computador | 2 | 90.000 | 180.000 |
| Tabla Planillera | | 2 | 7.000 | 14.000 |
| EPP | Botas de Seguridad | 2 | 140.000 | 280.000 |
| | Tapa bocas anti fluidos | 20 | 1.000 | 20.000 |
| | Casco de Seguridad Blanco | 2 | 75.000 | 150.000 |
| Impresiones | | 140 | 700 | 98.000 |
| Útiles | | 4 | 5.000 | 20.000 |
| Equipos y Software | Videocámara | 1 | 280.000 | 280.000 |
| Viajes y Salidas de Campo | Costos de visitas de campo | 6 | 120.000 | 720.000 |
| Asesorías | Asesorías Consultas externas | 1 | 500.000 | 500.000 |
| Imprevistos | Imprevistos | 1 | 100.000 | 100.000 |
| TOTAL | | | | 4.202.000 |

Fuente 5 Elaboración Propia

Nota: Muestra el presupuesto que se invertirá en la investigación el cual es diferente al presupuesto de armar un prototipo de turbina Pelton.

4. Capítulo IV. Resultados

4.1. Caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizara en la producción de energía eléctrica.

Con el desarrollo económico de los países y la búsqueda de poder solucionar problemas de todo tipo en especial los ambientales, bajo un desarrollo económico sostenible, la generación de fuentes de energía ha sido una solución que está tomando fuerza; hoy en día los modelos de generación de energía que son innovación de muchas personas han sido una solución que se ha utilizado en los lugares más apartados. Sin embargo buscar un modelo que sea económico y que se adapta a las necesidades que el mercado está solicitando es un reto que se tiene.

“De los 700 poblados de la Sierra (400 asentamientos arqueológicos, 319 veredas y 40 corregimientos), 34 tienen luz eléctrica y de estos sólo uno dentro de las comunidades indígenas, Nabusimake; 16 tienen teléfono y funcionan 54 acueductos por gravedad y 11 por bombeo. Hay tres hospitales regionales y siete locales en la parte baja; 12 centros de Salud, 82 puestos y 30 promotores en la parte alta” (eltiempo.com, 2018).

Basados en las investigaciones recientes sobre generación de energía como aprovechamiento de los recursos naturales y en apoyo a la conservación de la naturaleza, tratando de mitigar el impacto ambiental, se pretende utilizar esos recursos en beneficio del ser humano.

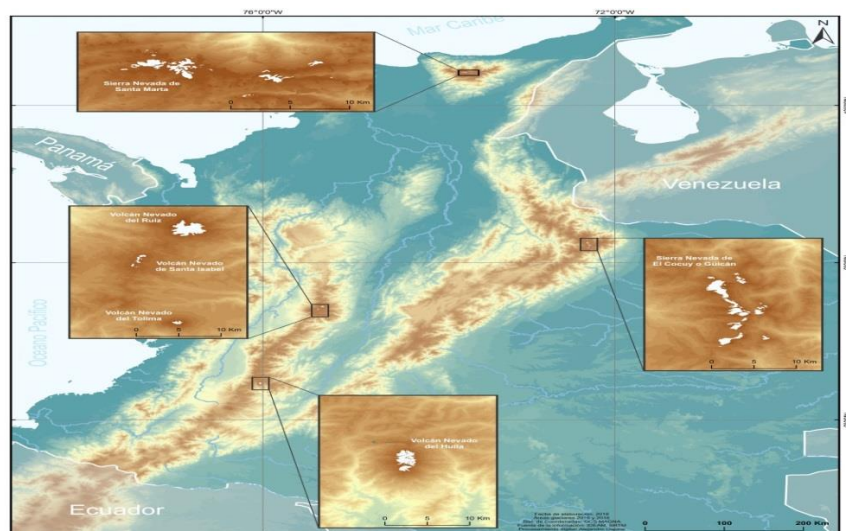
Con el diseño de un prototipo pequeño el cual permita sacar el máximo aprovechamiento del recurso hídrico de las montañas de la Sierra Nevada de Santa Marta, ubicada *“en el Noreste de Colombia, entre los departamentos de la Guajira, Magdalena y el Departamento del Cesar, tiene una extensión de 17.000 Km² y el 80% de su territorio está en zona de*

parque nacional” (ecured.cu, 2021). Esta región contiene un clima variado con 32 ríos que son su fuente de alimentación para este tipo de proyectos.

Sin embargo, para poder caracterizar los datos necesarios que servirán para modelar el prototipo hidráulico de baja potencia que se utilizara en la producción de energía eléctrica, se debe conocer la zona de influencia y datos estadísticos de la misma. Sabemos que la energía limpia y de obtención alternativa es muy importante para el planeta ya que uno de sus beneficios es la satisfacción del ser humano.

Cabe resaltar que en Santa Marta, y especialmente sus alrededores las lluvias son constantes, con temperaturas entre 24 °C a 31 °C, gracias a nuestro país cuenta con pequeñas masas de hielo, en los puntos altos de las montañas *“Pese a que no representan más que el 0.16% de los glaciares sudamericanos, los 37 km² de hielo existentes en Colombia”* (ideam.gov.co, 2021).

Ilustración 3 Localización de los Glaciares Colombianos

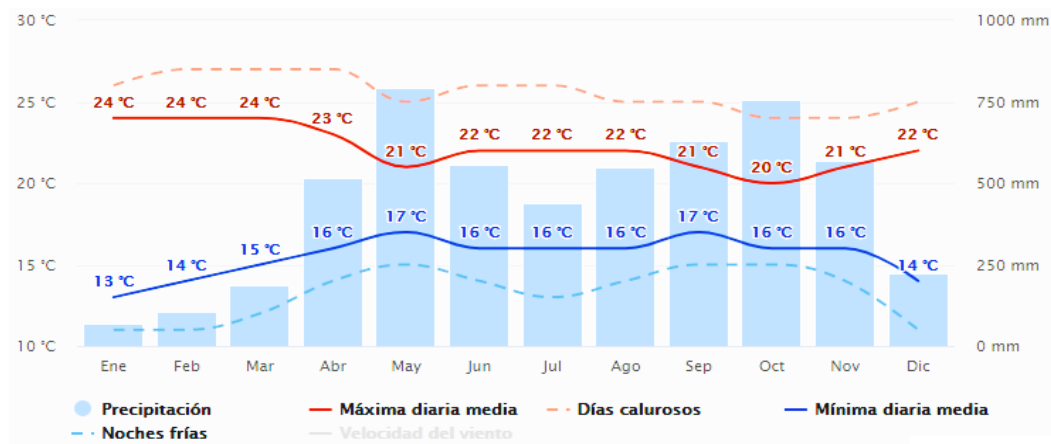


Fuente 6 (ideam.gov.co, 2021).

Nota: “se puede apreciar en el siguiente mapa, de norte a sur son: Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruíz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Nevado del Huila” (ideam.gov.co, 2021).

Información recopilada por meteoblue por más de 30 años plasmada en modelos de simulación con global NEMS en el tema de la meteorología a nivel mundial, nos enseña cuales son los patrones que tienen los diferentes fenómenos naturales y su posible efectos en la tierra. Cuando hablamos del viento, las temperaturas, sus variantes las cuales conforman tipos de precipitación en la atmosfera dándole fuerza a fenómenos naturales como vientos de velocidades diferentes, ayudando a las zonas más altas como las montañas a crecer en su afluentes y caudales de sus ríos o mares, es ahí donde se puede aprovechar la fuerza que nos da la naturaleza, aprovechándola cada día con la utilización de dispositivos que puedan captar y transformar dicha fuerza; para esto se debe conocer y realizar seguimiento constante de esas fuerzas.

Ilustración 4 Temperaturas medias y precipitaciones



Fuente 7 (meteoblue.com, 2021).

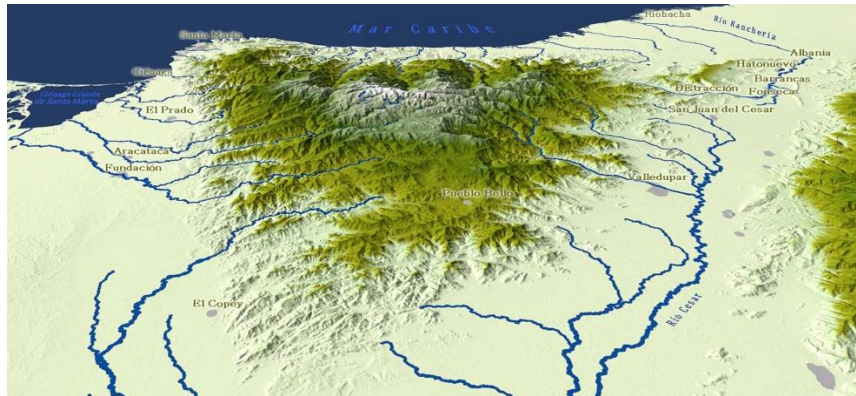
Nota: “La máxima diaria media (línea roja continua) muestra la media de la temperatura máxima de un día por cada mes de Sierra Nevada de Santa Marta. Del mismo modo, mínimo diaria media (línea azul continua) muestra la media de la temperatura mínima. Los días calurosos y noches frías (líneas azules y rojas discontinuas) muestran la media del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años” (meteoblue.com, 2021).

Por otro lado, en la región, se nota la aceptación al cambio de las tribus indígenas que custodian este santuario ecológico, la hace visitada por personas de todo el mundo, no solo por tener una forma de pirámide, sino en toda la variedad de vegetación y fauna, que nacen en ella. Toda información que sea recolectada para dar cimientos.

4.1.1. Ubicación del proyecto.

La climatología en Colombia es de gran variedad por eso es rica y abundante, la Sierra Nevada de Santa Marta, ubicada a cercanías del mar y separada de un sistema montañoso, es una de las maravillas de la creación, con sus zonas pisarías térmicas las cuales hace posible el nacimiento de la vida hidrográfica de Colombia. Entre los departamentos Magdalena, Guajira y Cesar en jurisdicción de los municipios de Ciénaga, San Juan del Cesar, Fundación, Aracataca, Dibulla, Mingueo, cerca de Santa Marta (colparques.net, 2021).

Ilustración 5 Geografía de la Sierra Nevada de Santa Marta



Fuente 8 (prosierra.org, 2021)

Nota: “En la Sierra Nevada nacen las aguas que abastecen los acueductos de todos los asentamientos que la circundan, con una población aproximada de 1.5 millones de habitantes y las distintas industrias agrícolas, ganaderas, y mineras ubicadas en su área de influencia” (prosierra.org, 2021).

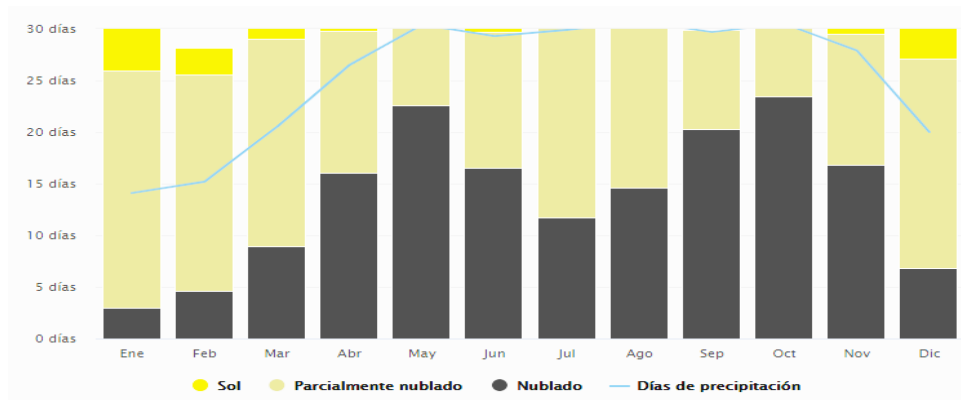
4.1.2. Precipitación Trimestral

Según investigaciones del Ideam en los trimestres enero, febrero y marzo la cantidad de lluvias es menor en la región caribe que en otras regiones, para el trimestre de febrero, marzo y abril, estas precipitaciones van incrementando hacia el norte y centro de la misma región, en los meses marzo, abril y mayo, su precipitación se desplaza hacia el centro de la región, dejando por menores a la guajira y el atlántico. Sin embargo en el trimestre de abril, mayo y junio, en la región caribe se aumentan las precipitaciones dejando más seca a la guajira, convirtiendo a la región pacífica en la más lluviosa, además en los meses mayo, junio y julio la guajira se convierte en un sector más seco cada día más dándole a la región caribe más precipitación, provocando inundaciones en la región pacífica.

Cabe resaltar que en el trimestre de junio, julio y agosto se observa que en los ríos Magdalena y Cauca sus precipitaciones aumentaron drásticamente, dándole más caudal a estos; en el trimestre de julio, agosto y septiembre dicha región Caribe tiene un incremento de precipitaciones hacia el sur; en el trimestre de agosto, septiembre y octubre la Guajira pierde parte de su sequía dándole más aumento a las precipitaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta concentrándose en el interior de ésta aumentando los caudales de los ríos que hay nacidos.

Así para los trimestres de septiembre, octubre y noviembre la Guajira pierde por completo su sequía y la Sierra Nevada de Santa Marta disminuye su precipitación y la región Pacífica aumenta hacia su centro. En el trimestre de noviembre, diciembre y enero la región Caribe obliga a que la Guajira vuelva a su color rojizo con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las lluvias se dispersan hacia la región Andina. En los meses de diciembre, enero y febrero se observa que vuelve el patrón de lluvias aisladas por sectores, dando que las Regiones Caribe y Orinoquía se conviertan en las más secas de Colombia.

Ilustración 6 Diagrama de precipitación para Sierra Nevada de Santa Marta

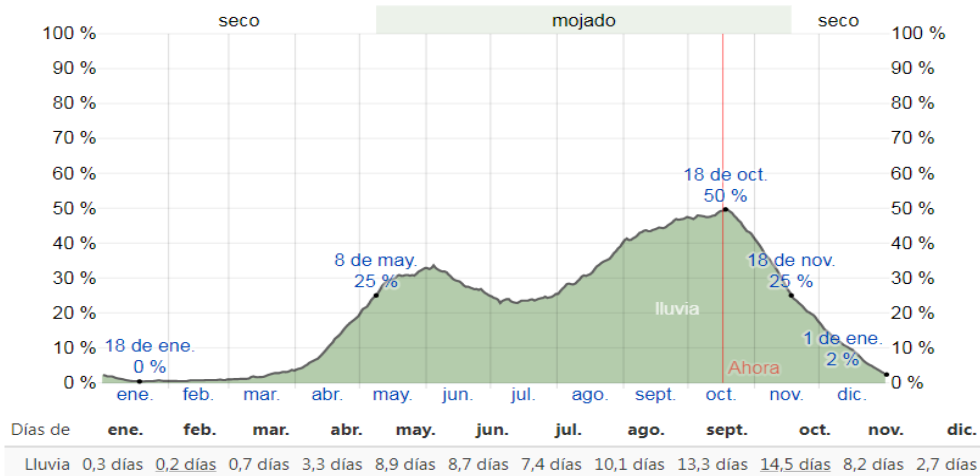


Fuente 9 (meteoblue.com, 2021).

Nota: "muestra cuántos días al mes, se alcanzan ciertas cantidades de precipitación. En los climas tropicales y los monzones, los valores pueden ser subestimados" (meteoblue.com, 2021).

Sin embargo, la región es una zona en explotación, con la inversión de algunos proyectos que tiene el gobierno nacional no abarca la totalidad del terreno, “según XM, operador del Sistema Interconectado y el administrador del Mercado de Energía Mayorista de Colombia, la demanda de energía eléctrica creció 3.61% en marzo de 2021 respecto al mismo mes del año anterior” (larepublica.co, 2021). Con esta nueva administración se busca apuntarle a un desarrollo sostenible, con energías alternas que sean menor que las actuales que se usan en el momento en el sitio.

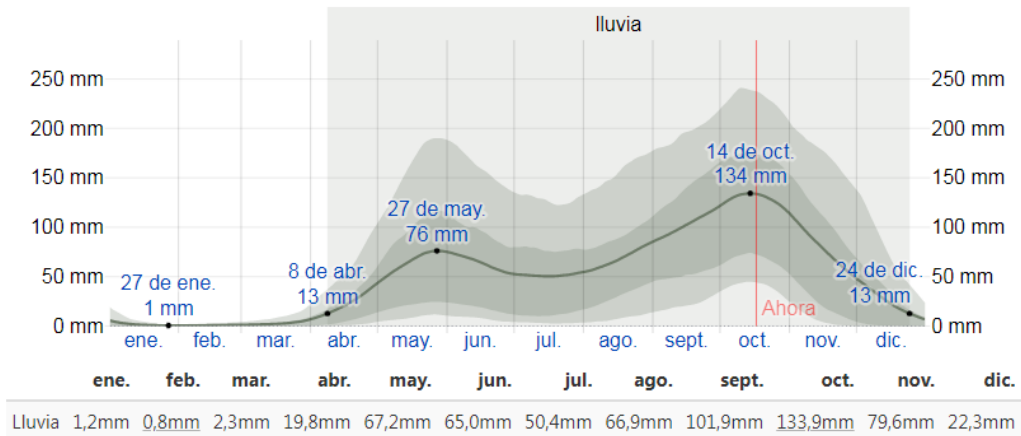
Ilustración 7 Probabilidad diaria de precipitación en Santa Marta



Fuente 10 (weatherspark.com, 2021)

Nota: “Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Santa Marta varía considerablemente durante el año” (weatherspark.com, 2021).

Ilustración 8 Promedio mensual de lluvia en Santa Marta



Fuente 11 (weatherspark.com, 2021).

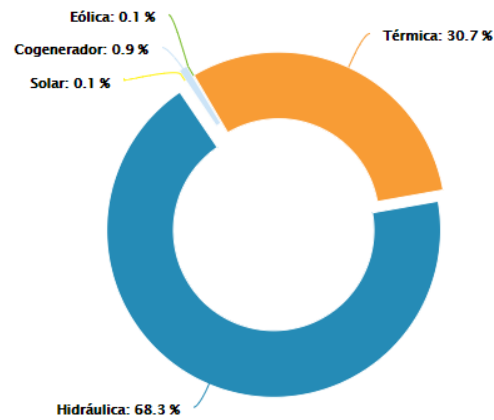
Nota: “La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25º al 75º y del 10º al 90º. La delgada línea punteada es la nevada media correspondiente” (weatherspark.com, 2021).

4.1.3. Sistema Eléctrico Colombiano

Colombia, en busca de estrategias de poder mejorar el servicio energético de todas las comunidades y regiones del país, en los últimos años este consumo energético ha venido en aumento de la mano del crecimiento del PIB, sin embargo, en regiones apartadas como la Sierra Nevada de Santa Marta, con la implementación de proyectos para la mejora de las condiciones en las poblaciones. En dicha Sierra Nevada de Santa Marta, 487 familias aproximadamente cuentan con energía eléctrica, *“uno de los pueblos del cordón ambiental y tradicional de la Sierra Nevada de Santa Marta, cuentan con luz eléctrica para calmar las altas temperaturas y de conservar los alimentos gracias a la instalación de un sistema de paneles solares” (eltiempo.com, 2021).*

Sin embargo, “aún quedan 477.000 familias sin energía eléctrica, 329.000 están en zonas alejadas donde tienen acceso al sistema, y 148.000 se ubican en zonas no interconectadas” (larepublica.co, 2016).

Ilustración 9 Centrales en Colombia - Combustibles y Renovables



Fuente 12 (acolgen.org.co, 2021)

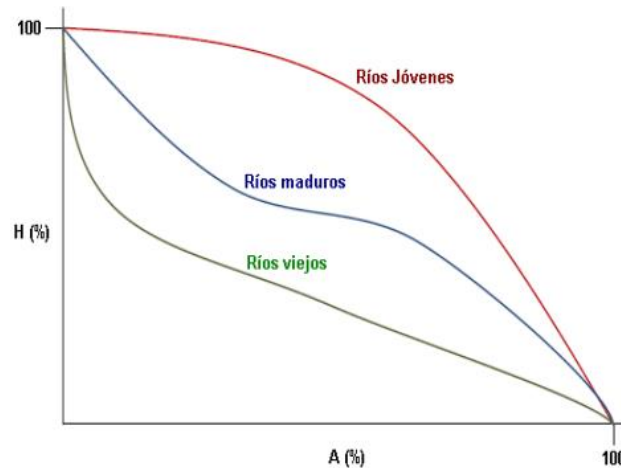
Nota: Se muestra la distribución de las centrales en Colombia en materia de Combustible y Renovables.

4.1.4. Hidrografía

“La macrocuenca del Caribe incluye todos los ríos que desembocan directamente al mar y abarca toda la cara norte, el extremo norte de la vertiente occidental y el río Ranchería. En esta macrocuenca de occidente a oriente se encuentran los ríos: Córdoba, Toribio, Gaira, Manzanares, Piedras, Mendihuaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, San Salvador, Ancho, Cañas, Maluisa, Jerez, Tapias, Camarones y Ranchería, La segunda macrocuenca está conformada por los ríos pertenecientes al flanco occidental que vierten

sus aguas a la Ciénaga Grande de Santa Marta y de norte a sur son: Frío, Sevilla, Tucurínca, Aracataca y Fundación” (Beltran Y. , 2020).

Ilustración 10 Cambio de forma en curva hipsométrica con la edad del río



Fuente 13 (rhydroingenieros.com, 2021)

Nota: “La curva hipsométrica es un parámetro de relieve que nos permite identificar de manera gráfica la variación altitudinal de una cuenca, además, de estar asociada con la edad que podría tener la cuenca” (rhydroingenieros.com, 2021).

Teniendo en cuenta que ha habido investigaciones las cuales sean materializado en proyectos físicos, tomando como referencia el cambio que han tenido los ríos por su edad y su hidrología se propone tomar como referencia para esta investigación el río piedra, el cual ha mostrado ser un río maduro, y posee en Jericó Antioquia una central hidroeléctrica desde el año 2000 entregando en la actualidad 19.9 MW, caracterizando a este como un río maduro.

4.1.5. Río Piedras

“Se extiende 160,9 km² al extremo Noreste de la cuenca Río Piedras, Río Manzanares y Otros directos al Caribe 15012, atraviesa el Corregimiento de Bonda -al Suroeste- y el

Corregimiento de Guachaca -al costado Noreste-. Su cauce principal es el Río Piedras, con una longitud de 38,4 km es el segundo más largo, después del Río Córdoba con 47,4 km. El Río Piedras nace a los 2305 msnm e inicia encauzando las aguas de la Quebrada Sirena, Alicia, Villanueva, Loma fresca y Palacios, en este punto pasa de orden 5 a 6, después de un recorrido estimado de 14 km al conectar con la Quebrada La Lisa” (santamarta.gov.co, 2020).

Ilustración 11 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Piedras

| Parámetro | Valor |
|--|--------------|
| Área (km ²) | 159.72 |
| Perímetro (km) | 73.14 |
| Cota mayor cuenca (msnm) | 2447 |
| Cota menor cuenca (msnm) | 0 |
| Cota mayor cauce principal (msnm) | 2000 |
| Cota menor cauce principal (msnm) | 0 |
| Longitud del cauce principal (km) | 38.04 |
| Pendiente del cauce principal (m/m) | 0.05 |
| Pendiente media de la cuenca (%) | 36.35 |
| Altura media cuenca (msnm) | 597.32 |
| Índice de Gravelius (Kc) | 1.61 |
| Factor de forma de Horton (Hf) | 0.11 |
| Densidad de drenaje (Dd) (Km/Km ²) | 1.98 |

Fuente 14 (corpamag.gov.co, 2017).

Nota: En el Río Piedra se han encontrado “hasta 6 órdenes de corriente en la cuenca según la clasificación de Strahler” (corpamag.gov.co, 2017).

4.1.5.1. Áreas de drenaje del Río Piedra

Para este río se definen cinco áreas de drenaje, las cuales son llamadas Cuenca: Río Volcán, Quebrada Calabazas, San Antonio, Limones y zona baja del mismo río. A través de las investigaciones realizadas al río piedra en los últimos años se obtuvieron caudales que tiene el río de forma mensual donde agosto es el mes más bajo y Noviembre el más alto.

Para efectos de la investigación se debe tener en cuenta que el río piedra presenta un caudal con promedio mensual de 906 l/s, gracias a la cantidad de cuencas que este posee.

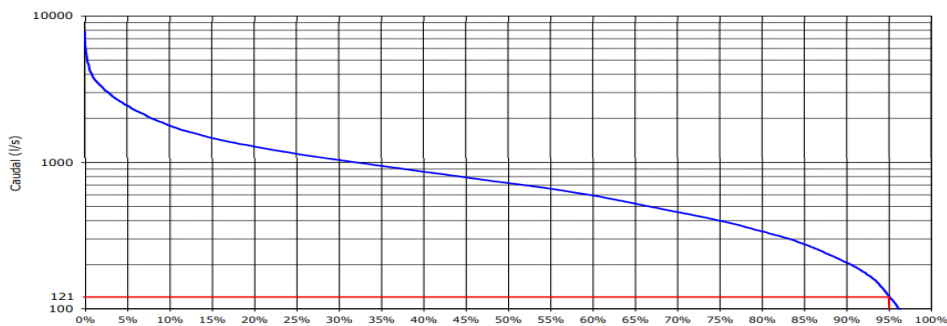
Tabla 4 Caudal medio mensual multianual en l/s del río piedra

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|
| 765 | 701 | 865 | 1235 | 1312 | 857 | 502 | 355 | 473 | 1052 | 1513 | 1242 | 906 |

Fuente 15 (cvc.gov.co, 2018).

Nota: Se muestra los datos del “caudal medio mensual multianual, en l/s, sitio donde está localizada la primera derivación de agua del río Piedras” (cvc.gov.co, 2018).

Ilustración 12 Curva de duración de caudales, río Piedras – Zona Productora Jericó, Antioquia



Fuente 16 (cvc.gov.co, 2018).

Nota: “La curva de duración de caudales diarios para el río Piedras, indica que el río Piedras se caracteriza por presentar caudales superiores a 121 l/s el 95% del tiempo en la zona productora” (cvc.gov.co, 2018).

Sin embargo, el río piedra observado desde 1974 posee unos caudales los cuales su flujo de agua es constante es un poco bajo en ciertas épocas del año; su valor mínimo alcanza los 3 l/s y en otras épocas del año alcanza a tener aproximadamente 17,83 l/s. su curva de tendencia ha llegado a tener un mínimo anual de $R^2 = 0,9109$.

Ilustración 13 Corriente del Río Piedra - Caudales Mínimos

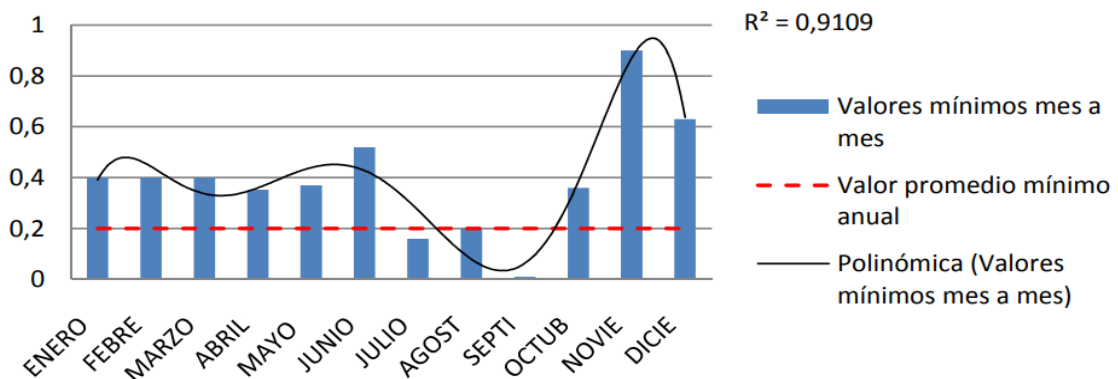
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Set | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------|
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------|

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Medios | 2,785 | 2,2 | 1,683 | 1,452 | 1,7 | 1,811 | 1,716 | 1,879 | 2,056 | 2,522 | 4,396 | 4,589 | 2,4 |
| Máximos | 11 | 8,33 | 4,86 | 4,52 | 8,06 | 6,71 | 5,78 | 6,85 | 7,12 | 9,6 | 14,69 | 17,83 | 8,8 |
| Mínimos | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,353 | 0,37 | 0,52 | 0,16 | 0,2 | 0,01 | 0,36 | 0,9 | 0,63 | 0,4 |
| Mínimo Anual | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |

Fuente 17 (Molina, 2020)

Nota: Muestra el comportamiento del río, su caudal mínimo, máximo y su variación anual, con esta información podremos saber la disponibilidad del recurso en el año.

Ilustración 14 Caudales mínimos del Río Piedras



Fuente 18 (Molina, 2020).

Nota: Basados en la información anterior se muestra gráficamente el comportamiento del caudal del río piedras.

En Colombia cada día su tendencia se va hacia la fabricación de mecanismos que mitiguen el impacto ambiental. Hoy *“El 86,53 % de la generación, equivalente a 173.40 GWh-día promedio, fue producto de recursos renovables, mientras que el 13,46 % restante, equivalente a 26,98 GWh-día promedio, fue de recursos no renovables”* (semana.com, 2021). Con este resultado vamos camino a esa meta.

Según capacidad instalada los generadores de energía se dividen en:

Ilustración 15 Clasificación Generadores de Energía capacidad instalada

| CLASIFICACIÓN | CAPACIDAD INSTALADA [kW] |
|--|--------------------------|
| Picocentrales | 0,5 – 5,0 |
| Microcentrales | 5,0 – 50,0 |
| Minicentrales | 50,0 – 500,0 |
| Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) | 500,0 – 20.000,0 |
| Centrales Hidroeléctricas | >20.000,0 |

Fuente 19 (informesanuales.xm.com.co, 2017).

4.1.6. **Conclusión del Objetivo 1**

A pesar de no haber mucha información sobre este tipo de turbinas pequeñas, en cambio sí encontramos muchos libros dedicados a la generación a gran escala, entonces nos orientamos en la búsqueda de datos que pudiera llevarnos a la funcionalidad de un prototipo que sea el adecuado, aprovechando los recursos encontrados en la topografía y geografía de esta zona, siendo de gran oportunidad, el cual nos permita sacar el máximo aprovechamiento de este recurso. Cabe resaltar que esta región es muy rica en estos recursos hídricos.

Con el avance de la tecnología la demanda energética ha aumentado por tal motivo la búsqueda de dicha energía generada por el hombre de manera limpia y segura no se queda atrás, la manera alternativa habilita el crecimiento económico y un desarrollo sostenible. Bajo esta primicia la ventaja de Colombia en tener abundancia en recursos hídricos, desde su nacimiento hasta su desembocadura debe ser aprovechada al máximo.

Cabe resaltar que los recursos naturales que tiene Colombia son de suma importancia para el uso de la región, incrementando internamente a la misma y a su vez poder aportar al cuidado ambiental; Basados en los estudios de organizaciones como el IDEAM, la cual

determina la demanda hídrica de las cuencas de los ríos en Colombia, manifiesta que ríos como el Piedra, el cual es un río Maduro con mucha fuerza, aporta a las áreas doméstico, pecuaria, agrícolas y de energías su energía, esta última ha presentado en los últimos años una evolución, aumentando su aporte energético. *“El 2017 en Colombia, fue un año que estuvo marcado por normalidad hidroclimática, haciendo que la generación estuviese basada en gran medida por el recurso hídrico”* (informesanuales.xm.com.co, 2017).

Con el fin de realizar aportes en busca de un desarrollo sostenible, en materia de ciencia y tecnología. Por el medio que sea, la generación de energía renovable es algo innovador, sin embargo una vez que se seleccionó el río por sus afluentes satisfaciendo la demanda, se buscó la forma de determinar el prototipo acorde a la región.

4.2. Describir el modelo a utilizar según los parámetros encontrados en la región geográfica donde se va a manejar la turbina hidráulica.

Entre las categorías de innovación este invento revoluciona la productividad de las empresas, esta máquina impulsada por el movimiento del agua, aprovechando su velocidad pueda generar gran cantidad de energía. Este *“dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa”* (Fernández, 2018). En este el agua como fluido intercambia la fuerza que produce por medio de un sistema rotatorio para ser capturada y utilizada más adelante. Hoy en día las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grandes grupos las de acción y de reacción.

Ilustración 16 Modelo turbina hidráulica



Fuente 20 (como-funciona.co, 2021).

4.2.1. Cómo funciona una turbina hidráulica

Cabe recordar que este siendo un motor con la capacidad de transformación con un movimiento realizado por un fluido el cual posee energía cinética y lo pasa a potencial por el método de rotación desde la mecánica hasta ser convertida en eléctrica; por su gran tamaño ubicadas en las centrales hidroeléctricas dan la capacidad de abastecer cierta cantidad de viviendas al año y en conjunto abastecen al país. Estas aprovechan la fuerza con que ingresa el fluido al sistema el cual produce la rotación, haciendo que la energía dinámica se convierta gracias a un generador en eléctrica. *“En pocas palabras: Una turbina hidráulica sirve para convertir energía potencial en energía cinética y energía eléctrica. Este mecanismo es aprovechado por las centrales hidráulicas para tomar la energía de las caídas y corrientes de agua y obtener energía eléctrica”* (como-funciona.co, 2021).

Ilustración 17 Modelo Transformación energía



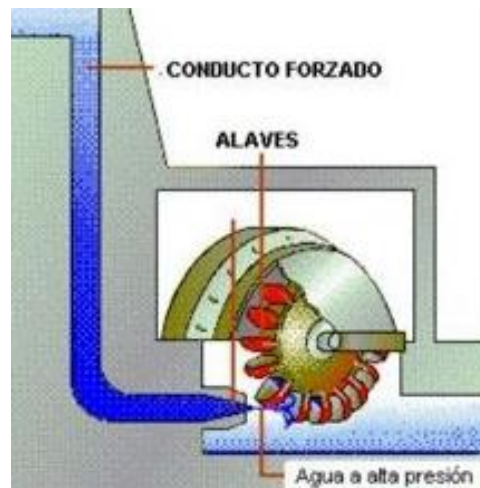
Fuente 21 (areatecnologia.com, 2020)

Nota: "Normalmente esta energía de rotación se utiliza para transformarla en energía eléctrica, mediante el acoplamiento de la turbina a un generador en las centrales hidráulicas" (areatecnologia.com, 2020).

4.2.2. Turbinas de acción

Su objetivo principal es la captura de la velocidad que produce un fluido, dentro de una base que contiene un sistema de rotación llamado rodete, dentro de este grupo el "tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo, con inyección lateral" (ceupe.com, 2020).

Ilustración 18 Modelo turbinas de acción



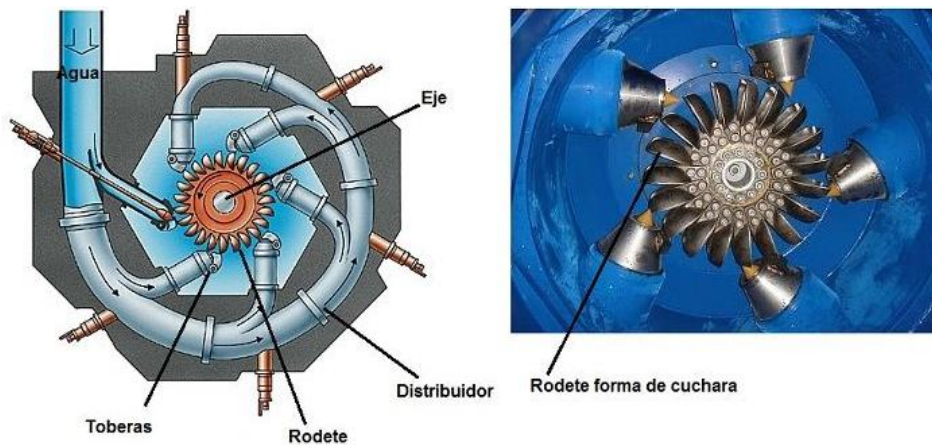
Fuente 22 (ceupe.com, 2020).

Nota: “La energía de presión que el agua posee a su entrada, al ser dirigida al rodete directamente, se convierte totalmente en energía cinética (movimiento) en el rodete” (ceupe.com, 2020).

▪ 4.2.2.1. Turbina Pelton

Basada en un modelo de flujo de líquido transversal con un estilo muy similar, al poseer un tipo de cuchara que hace la captura de la fuerza del fluido y realice el movimiento de rotación interna de un eje asociado a un generador.

Ilustración 19 Turbina Pelton



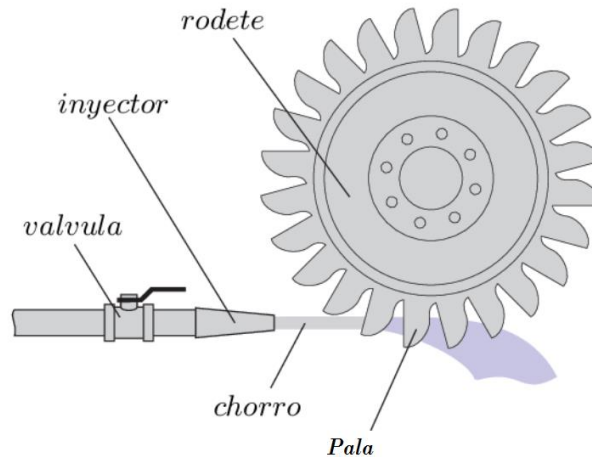
Fuente 23 (ceupe.com, 2020).

Nota: “El distribuidor está formado por una o varias entradas de agua al rodete. Los álabes que están situados sobre la periferia del rodete tienen forma de cuchara. La fuerza del impulso del agua es la responsable del giro de la turbina” (ceupe.com, 2020).

Basadas en el modelo de molino de agua en 1879 Lester Allan Pelton utiliza ese principio incrementando la eficiencia del mismo, obteniendo una mayor velocidad, gracias a su salida reducida y es utilizada en grandes caídas o saltos entre 300 y 1400 metros, teniendo en

cuenta que el caudal sea de menos de 50 metros cúbicos. Esta turbina es la ideal para la zona a utilizar.

Ilustración 20 Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton



Fuente 24 (researchgate.net, 2020)

Nota: Muestra las partes y su esquema en la función de la turbina.

▪ 4.2.2.2. Turbina Ossberger

Su modelo basado en el flujo cruzado de doble impulsión considerado como uno de los rodetes de autolimpieza adaptable a los caudales de ríos que puedan tener elementos que puedan ingresar y salir a su vez. Catalogada como la turbina de libre desviación la cual la hace lenta en el proceso, su diseño se enfoca a saltos medios.

Una de las ventajas de esta turbina es el ajuste a los caudales y su potencia pequeña pero efectiva dando un 80% de su capacidad. En unidades de mayor tamaño puede llegar a un 86% de rendimiento. Teniendo en cuenta que la velocidad es dos veces el gro nominal y su diseño específico puede hacer que funcione de forma continua durante mucho tiempo.

4.2.3. Turbina de reacción

Su función basada en un motor rotatorio el cual toma la energía cinética por medio de un flujo líquido a energía mecánica. *“Las turbinas de reacción se accionan a través de la presión que el líquido ejerce sobre los álabes. Esta presión decrece desde el borde de ataque hasta la salida del alabe”* (ceupe.com, 2020). Dentro de este grupo tenemos las turbinas Francis y la Kaplan. Una característica primordial de este tipo de turbina es la carcasa o caracol, el distribuidor y el rodete. El aprovechamiento de este tipo de turbina, aplica gracias a los rangos de saltos y caudales desde 10 metros a cientos de metros. Demostrando una versatilidad y rendimiento.

▪ 4.2.3.1. Turbinas Francis

Siendo esta una turbina diseñada para la captación de la energía del agua a caída libre, apoyada por un generador produciendo la electricidad; *“la turbina Francis es el tipo más común de turbina que se instala en las plantas de generación de energía que funcionan sobre la base del flujo de masa de agua a través de una planta de producción”* (solar-energia.net, 2021).

▪ 4.2.3.2. Turbinas Kaplan

Este tipo de turbina se utiliza más en gradientes pequeños con gran caudal, *“este tipo de turbina hidráulica es una hélice, donde las palas pueden orientarse, ya que el flujo de agua varía. Esta regulación permite que el rendimiento se mantenga alto hasta caudales del 20-30% del flujo nominal”* (solar-energia.net, 2021). Este tipo de turbina contiene estatores fijos los cuales orienta el flujo del agua.

4.2.4. Comparación de Turbinas

Con el fin de determinar el rendimiento de las turbinas que hoy en día existen se relacionan a través de esta tabla.

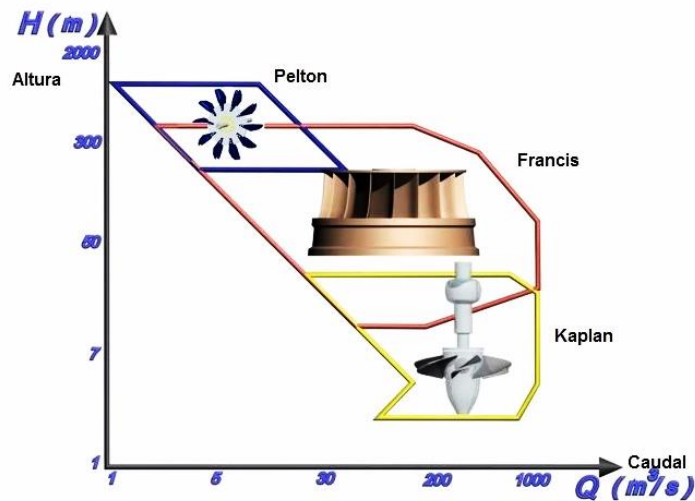
Ilustración 21 Tabla comparativa turbinas

| | Pelton | Francis | Kaplan | Flujo Cruzado | Molino de agua | Tomillo de Arquímedes |
|--------------------------------|----------|---------|--------|---------------|----------------|-----------------------|
| Salto de agua (m) | 100-1600 | 15-400 | 2-70 | 1-200* | 0.5-10 | 1-10 |
| Caudal (m ³ /s) | 0.1-20 | 1-200 | 15-200 | 0.4-5 | <6 | 0.1-14 |
| Rendimiento nominal (%) | 90 | 90 | 90 | 80-85 | Bajo | 70-85 |
| Rendimiento al 20% nominal (%) | 80 | - | 70 | 80 | - | 60-70 |
| Velocidad de rotación (rpm) | 150-1500 | 58-1500 | 70-750 | 10-200 | 7-12 | 25-80 |

Fuente 25 (Ortega & Valdivia, 2018)

Nota: Se detalla el funcionamiento de las turbinas en una condición de función.

Ilustración 22 Esquema de profundidad entre Turbinas



Fuente 26 (areatecnologia.com, 2020).

Nota: Muestra las turbinas según su función correspondiente a la altura de caída de agua.

4.2.5. Conclusión del Objetivo 2

A pesar de las investigaciones realizadas llegamos a la conclusión de que una turbina tipo Pelton es la más adecuada, cuyo accionamiento sea según el salto y caudal de estos ríos o quebradas que se encuentran en la zona de interés, moviendo un generador muy pequeño que suministre la suficiente energía para satisfacer las necesidades básicas de estas viviendas que además de ser de fácil instalación, transporte y también sea amigable con el medio ambiente.

Dentro de las diferentes especificaciones que nos dan hoy en día de las máquinas que pueden ayudar a la mejora de la calidad de vida, se encuentran las turbinas generadoras de energía eléctrica cambiando las condiciones atmosféricas externas del sitio donde se ubica el ser humano, dándole una comodidad y un confort a sus actividades. Sin embargo, para poder establecer una de estas turbinas como base primordial del proyecto de investigación teníamos que conocer su funcionamiento y los beneficios que estas brinda y así determinar su uso correcto según las condiciones del terreno topográfico donde será utilizado.

Bajo las condiciones hidrográficas que se encuentra el río Piedra en uno de sus afluentes de agua el cual puede ser aprovechado por las personas de la región con la implementación de pequeños generadores de energía eléctrica, con una turbina Pelton que gracias a su diseño compacto que hemos diseñado aprovecha grandes saltos de caudales generando una misma fuerza si utilizamos el principio de que a mayor presión una misma fuerza, con menor fluido; con esta identificación se ajusta a las necesidades de la región dándole una viabilidad al proyecto de investigación.

Con este prototipo se apunta al apoyo de creación de energías limpias y alternas mejorando la calidad de vida de la población en la región de la Sierra Nevada de Santa Marta y sus

alrededores. Cooperando con el medio ambiente e incentivando a otras regiones a utilizar este tipo de energía verde, sin afectaciones al río o su caudal, devolviendo al agua a su origen.

4.3. Desarrollar prototipo según parámetros seleccionados que cumplan con las especificaciones técnicas del sitio donde se va a instalar.

Con este proyecto de investigación se busca que el prototipo turbina Pelton de generación de energía limpia sin impactar el medio ambiente en las zonas de la Sierra Nevada de Santa Marta, mediante la fuerza hidráulica abastezca de energía a la comunidad, este tipo de *“hidrogenerador eléctrico posee varias ventajas, a diferencia de las hidroeléctricas de gran tamaño dado que no requiere represas o embalses, de forma que el impacto ambiental es mínimo; La turbina puede ser fabricada con materiales comerciales y de bajo costo, y el suministro de agua puede ser de bajo caudal”* (Vargas & Velásquez, 2016).

Recordando que las mini centrales hidráulicas o generadoras de baja potencia menores a 100 Kw; con beneficios de no ser contaminante del medio ambiente, se constituye como una alternativa viable para aquellas regiones apartadas o con difícil acceso a las industrias que manejan el recurso eléctrico; estos dispositivos tienen una manutención mínima. Basados en las condiciones antes consideradas y al escoger la turbina Pelton como la turbina adecuada para la generación de la energía que se necesita y así suplir a necesidad del ser humano, se proponen ciertos planos desarrollados a escala en Solidworks para su construcción.

4.3.1. Cálculos para determinar el desempeño de la turbina Pelton

Con el fin de determinar el desempeño se debe tener en cuenta el diámetro y el número de revoluciones, donde:

Diámetro (δ), el numero específico de revoluciones (n_s), Número de chorros (z); Potencia al eje (P_{eje}); Potencia recurso hídrico (P_h).

$\delta = \frac{d}{D}$; Donde d es el diámetro del chorro y D : diámetro Pelton.

4.3.1.1. Número específico de revoluciones

$$n_s = 240\delta\sqrt{z}$$

$$n_s = nP_{eje}^{1/2} H_n^{-5/4}$$

4.3.1.2. Calcular la potencia al eje

$$P_{eje} = N_{tot}P_h$$

4.3.1.3. Velocidad absoluta del fluido (V_i), Velocidad tangencial del rodete (u), Velocidad relativa (V_{ri})

$$V_1 = U_1 + V_{r1}$$

$$V_2 = U_2 - V_{r2} \cos \beta_2$$

4.3.1.4. Potencia teórica

$$P = mu(V_{r1} + V_{r2} \cos \beta_2)$$

4.3.1.5. Perdida por fricción de la cuchara

$$\Delta = 1 - \frac{V_{r2}}{V_{r1}}$$

4.3.1.6. Calculo de la Potencia

$$P = muV_{r1}(1 + (1 - \Delta) \cos \beta_2)$$

4.3.1.7. Velocidad del fluido

$$c = K_c \sqrt{2gH_n}$$

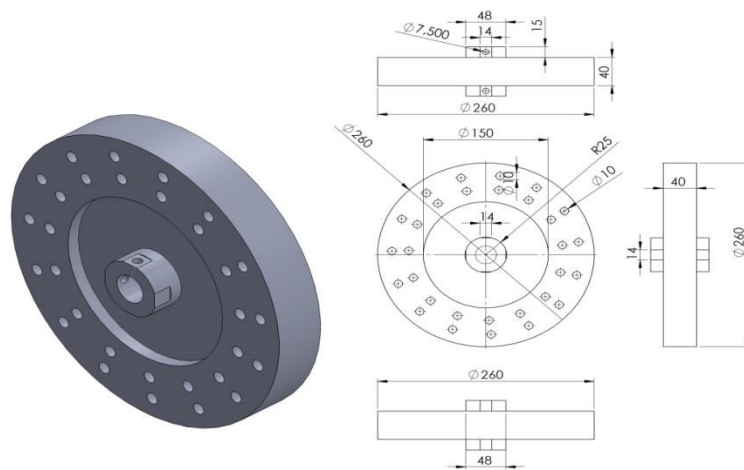
Tabla 5 Materiales Utilizados en la construcción

| No de Elementos | No de Pieza | Cant | No de Elementos | No de Pieza | Cant | No de Elementos | No de Pieza | Cant | No de Elementos | No de Pieza | Cant |
|-----------------|----------------|------|-----------------|--------------------------|------|-----------------|--|------|-----------------|---|------|
| 1 | Pipe 1 | 1 | 8 | Carcasa Base | 1 | 15 | Pieza 2 | 1 | 22 | Hex bolt_am | 26 |
| 2 | Pipe 3 | 1 | 9 | Carcasa tapa superior | 1 | 16 | Eje Pelton | 1 | 23 | Hex cap screw_am | 26 |
| 3 | Pipe 4 | 1 | 10 | Chumacera VPS-216 | 2 | 17 | Tornillo Hexagonal con cabeza hueca AS 1420 - M10 x 60 | 30 | 24 | Hex flange nut_am | 26 |
| 4 | Pipe 17 | 1 | 11 | Generador | 1 | 18 | Tuerca Hexagonal CAS 1112.3 - M10-N | 30 | 25 | Tornillo de fijación con cabeza hueca y punta en copa AS-NZS 1421 - M6 x 10 | 4 |
| 5 | Pipe 18 | 1 | 12 | Acople | 1 | 19 | Tornillo Hexagonal con cabeza hueca AS 1420 - M12 x 60 | 4 | 26 | Tornillo de fijación con cabeza hueca y punta en copa AS-NZS 1421 - M8 x 10 | 2 |
| 6 | Caudal de agua | 1 | 13 | Soporte Motor en Cemento | 1 | 20 | Hex cap Screw_aw | 4 | 27 | Tornillo hexagonal con cabeza hueca AS-1420 - M6 x 10 | 16 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|---|----|--------------|----|----|---|---|----|---|---|
| 7 | Turbina Pelton 500 mm | 1 | 14 | Palton Blade | 15 | 21 | B18.2.4.1 M - Hexnut, style 1, M10 x 1.5 With 16mm WAF - D-N | 4 | 28 | Perno hexagonal de calidad C AS 1111.1 - M10 x 65 x 26 - WN | 4 |
|---|-----------------------|---|----|--------------|----|----|---|---|----|---|---|

Fuente 27 Elaboración Propia

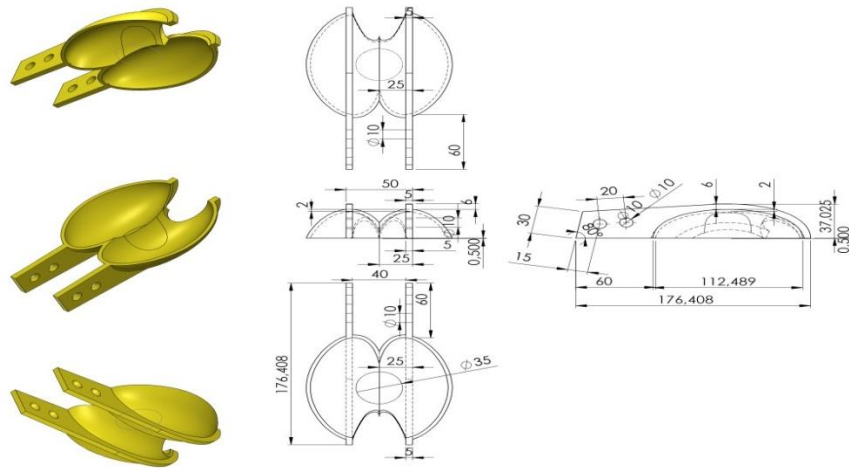
Ilustración 23 Plano Rodete



Fuente 28 Elaboración Propia

Nota: "El rodete, rotor o rueda, es el componente principal de las turbinas Pelton y está constituido por un disco de acero con álabes (palas o cucharas) ubicados en la periferia de la rueda y con una afilada arista interior, sobre la que incide el chorro inyector" (victoryepes.blogs.upv.es, 2019).

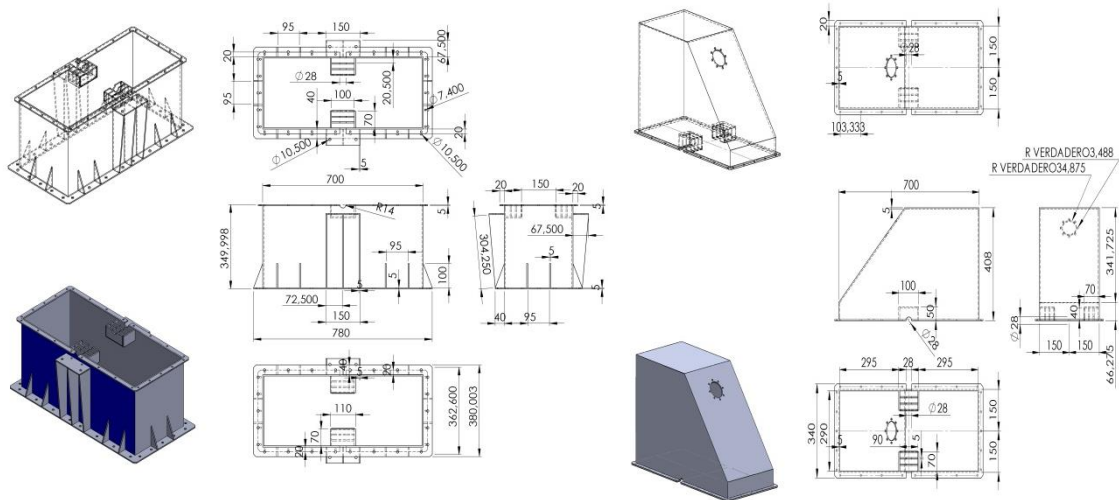
Ilustración 24 Cuchara de Impulso



Fuente 29 Elaboración Propia

Nota: “A las cucharas y palas que mencionamos anteriormente se les nombran ÁLABES. El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección. En las siguientes imágenes veremos y analizaremos la forma del álabe” (members.tripod.com, 2019).

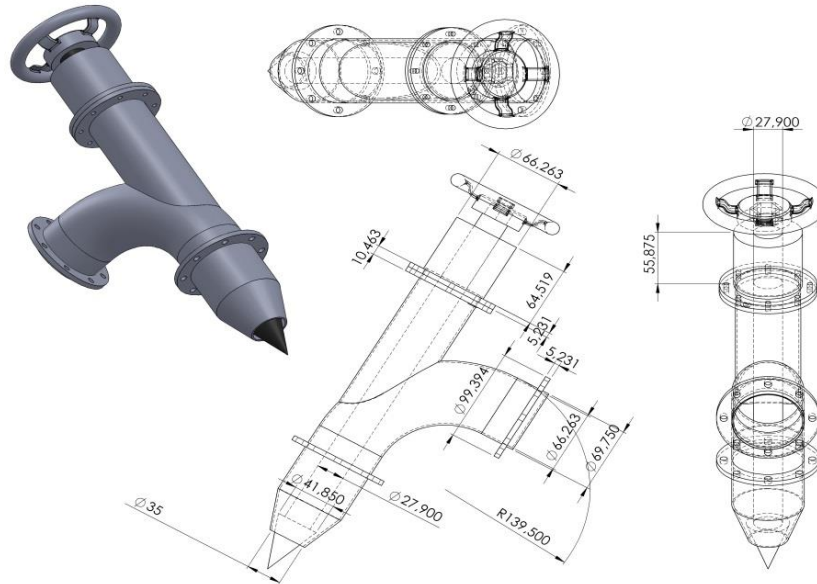
Ilustración 25 Plano Carcasa Inferior y Superior



Fuente 30 Elaboración Propia

Nota: Muestra la forma de la carcasa de protección.

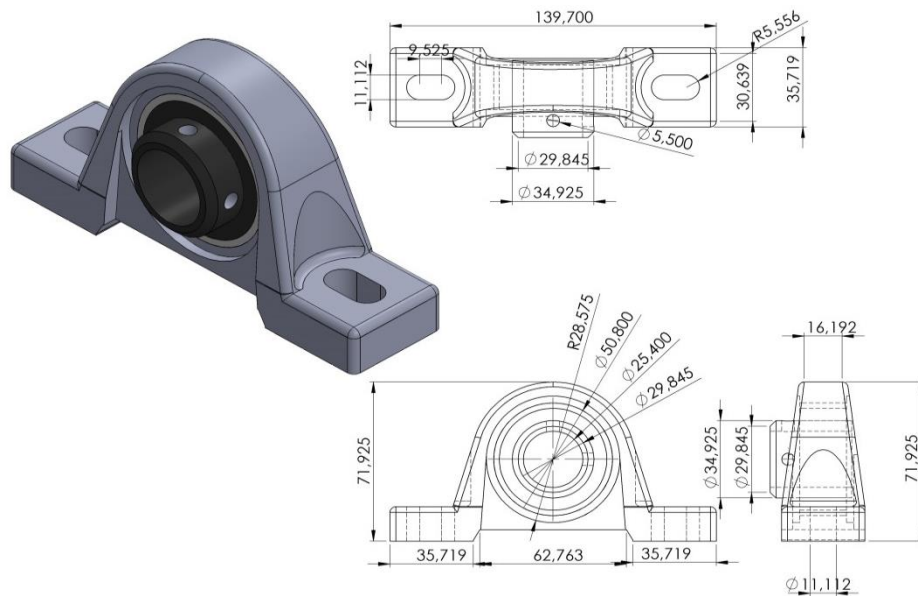
Ilustración 26 Inyector o pipeta



Fuente 31 Elaboración Propia

Nota: Muestra las características de los inyectores el cual le dará potencia al sistema.

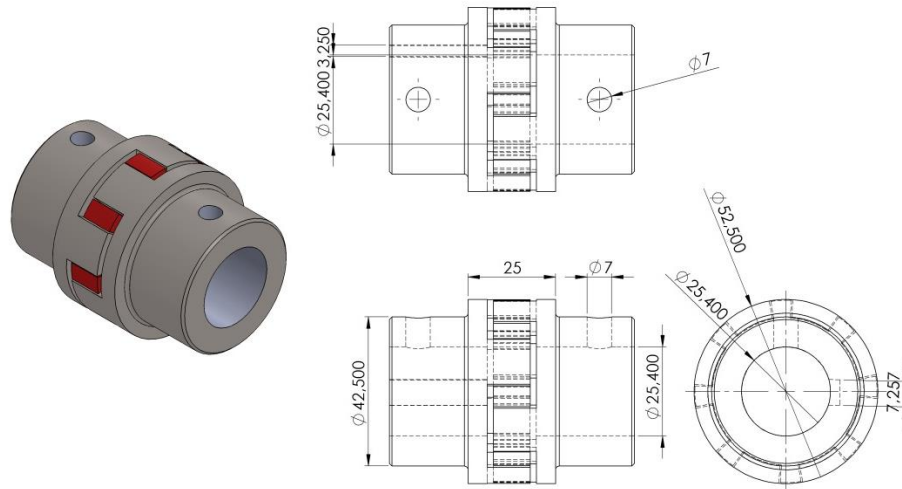
Ilustración 27 Chumacera VPS-216



Fuente 32 Elaboración Propia

Nota: Soporta el eje, la rodaja y las cucharas a la vez

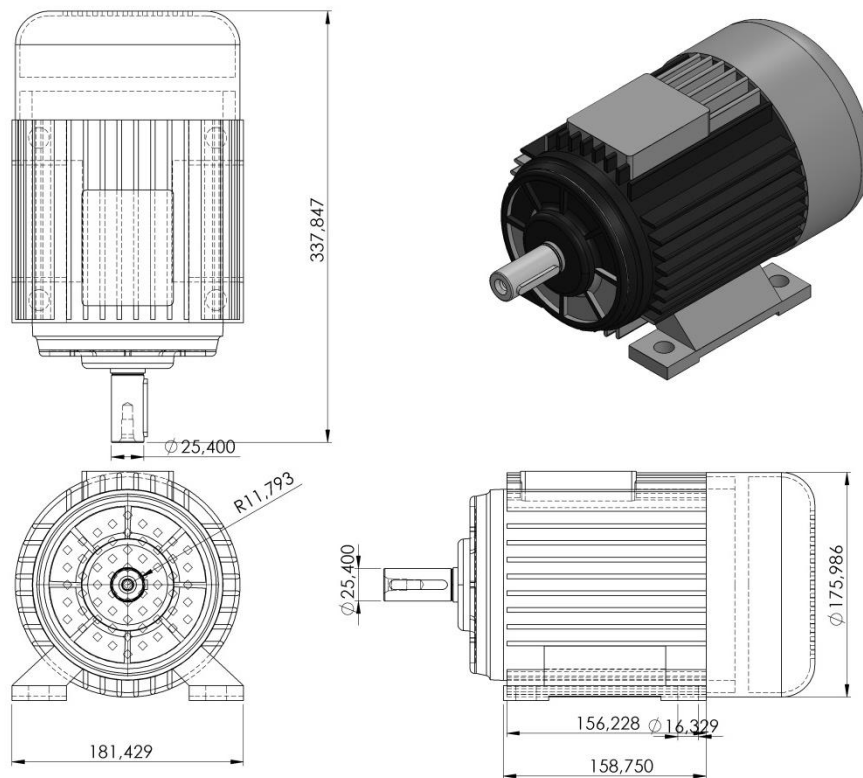
Ilustración 28 Acople



Fuente 33 Elaboración Propia

Nota: Acople que ayuda al eje del rodete

Ilustración 29 Generador

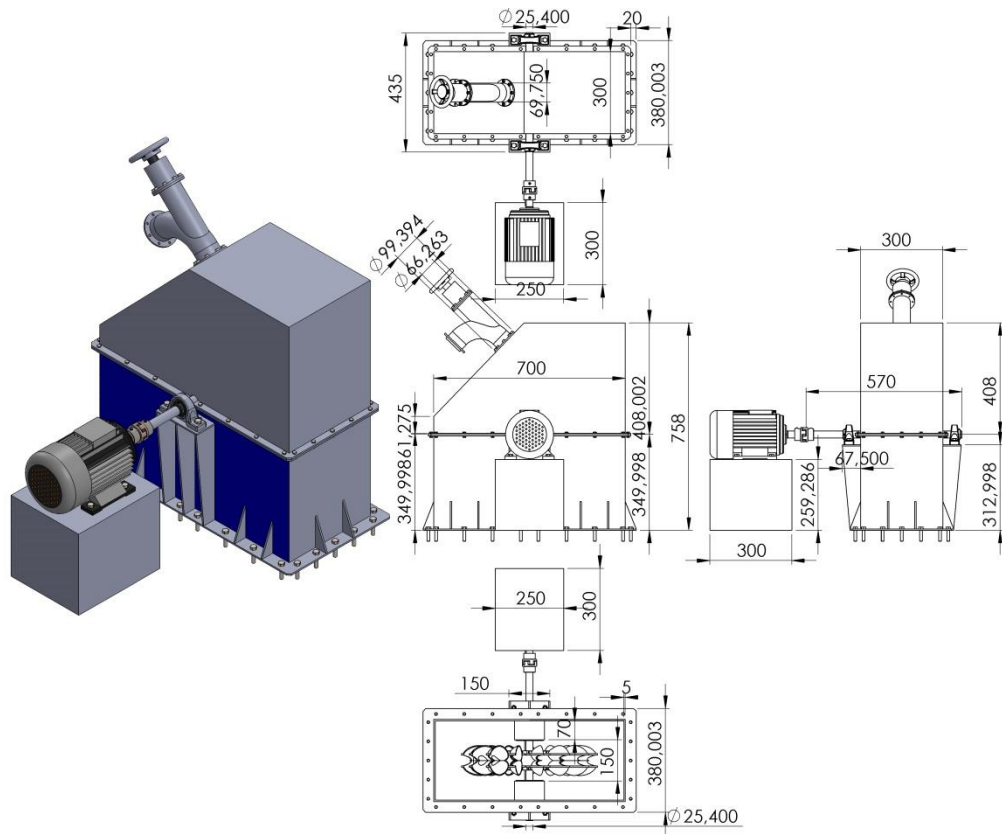


Fuente 34 Elaboración Propia

Nota: Generador de energía

Nota: Se relacionan los componentes que se utilizaran para el armado de la Turbina Pelton.

Ilustración 30 Prototipo Turbina Pelton Armada



Fuente 35 Elaboración Propia

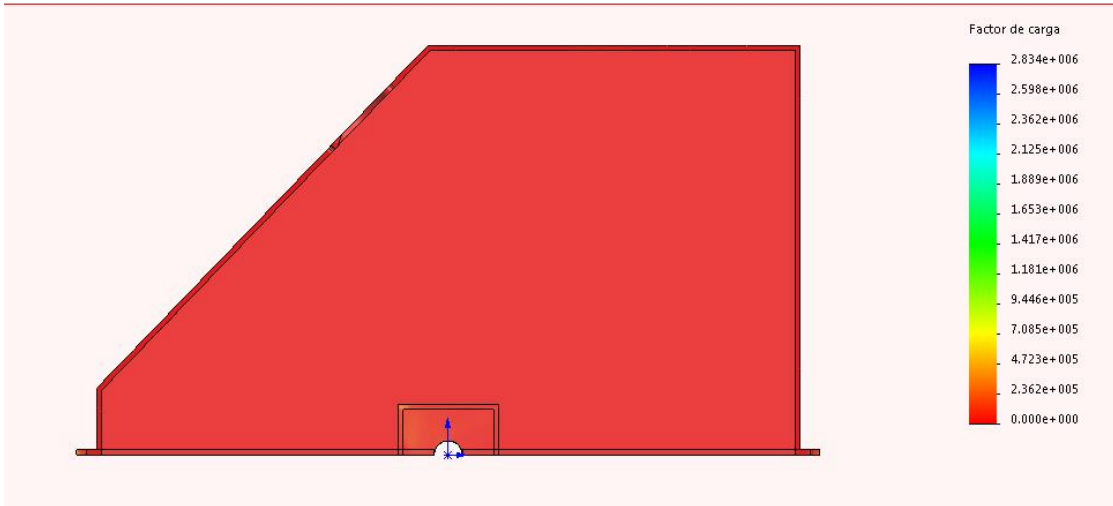
Nota: Se muestra planos del prototipo armado.

4.3.2. Fatiga de Materiales

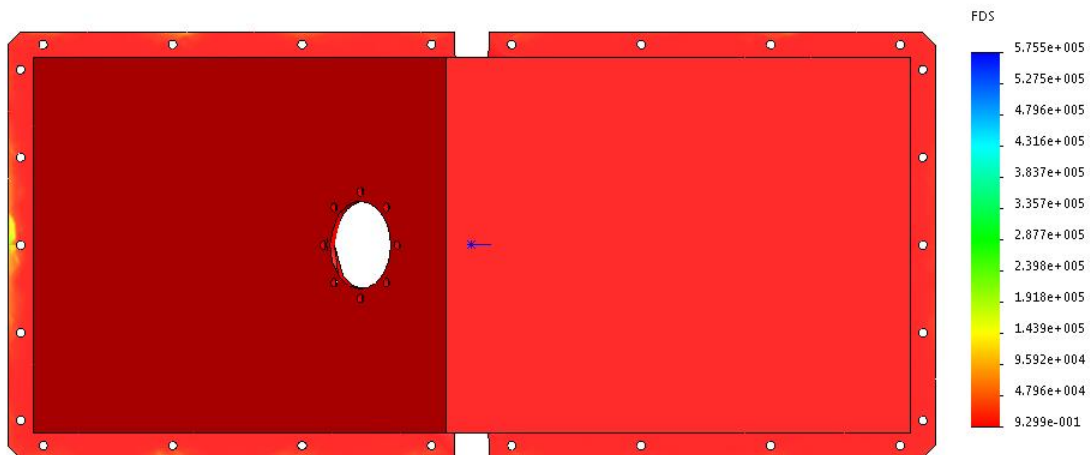
Este siendo el proceso de daño que se da en cualquier elemento mecánico el cual es sometido a diferentes cargas. Para este diseño se simulan las fatigas que se pueden producir en cada componente.

Ilustración 31 Carcasa Análisis Esfuerzos Fatiga Eje Plano

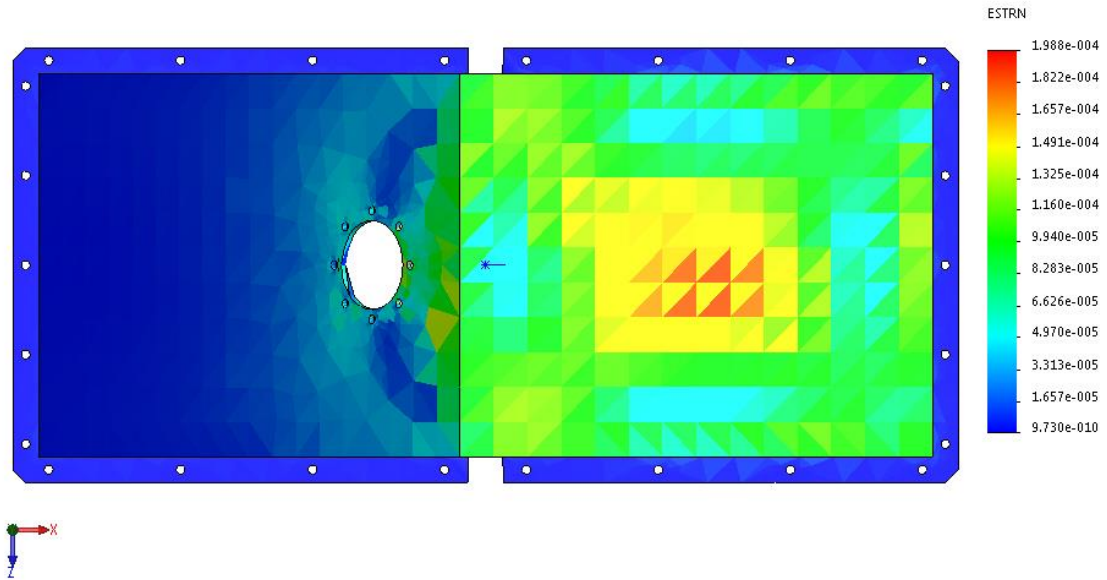
Nombre del modelo:1CARCASA
Nombre de estudio:Fatiga 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Fatiga(El factor de carga puede ocasionar fallos) Resultados2
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



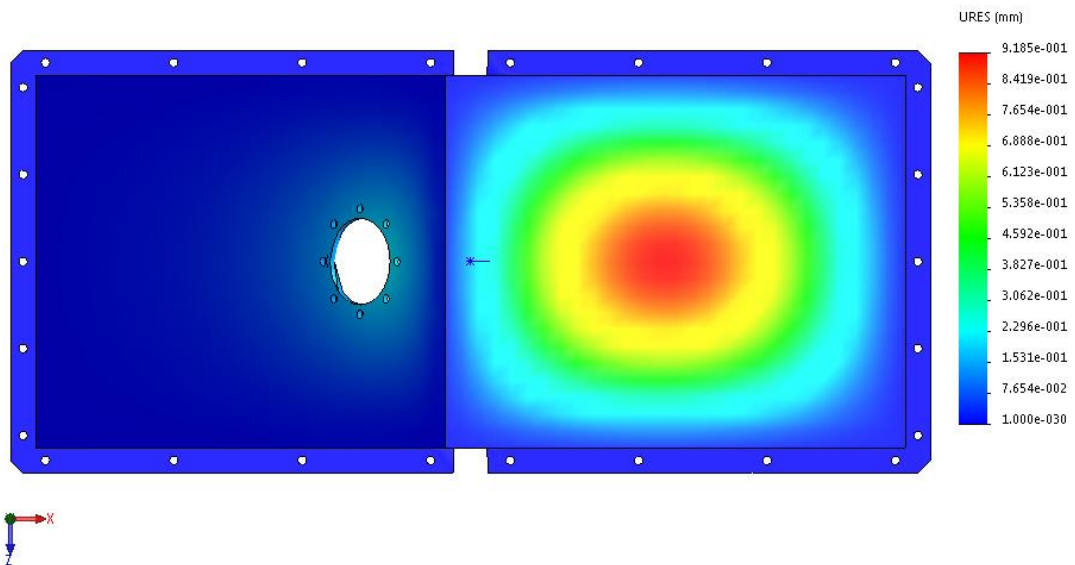
Nombre del modelo:1CARCASA
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0.93



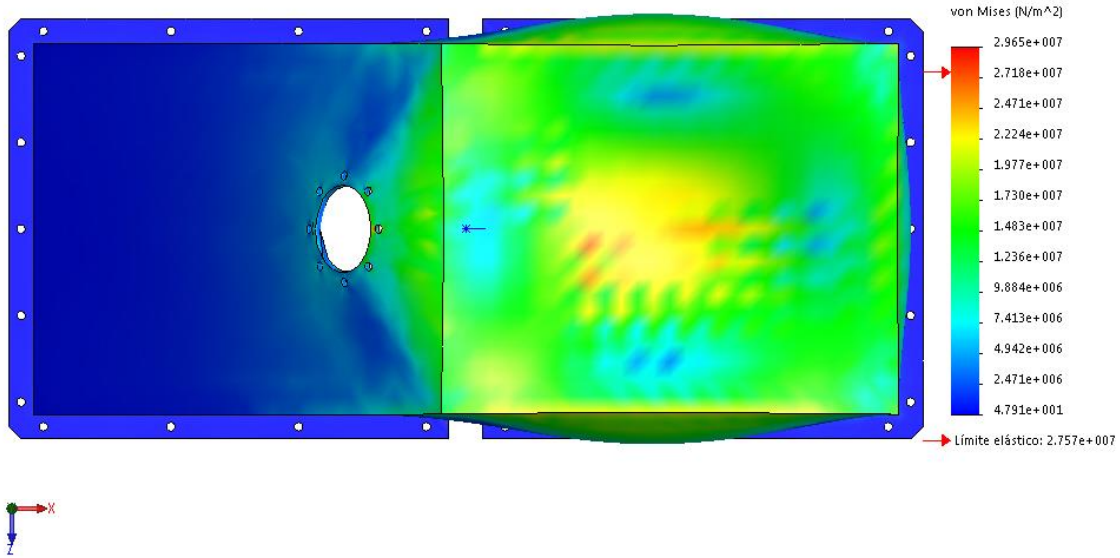
Nombre del modelo:1CARCASA
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1



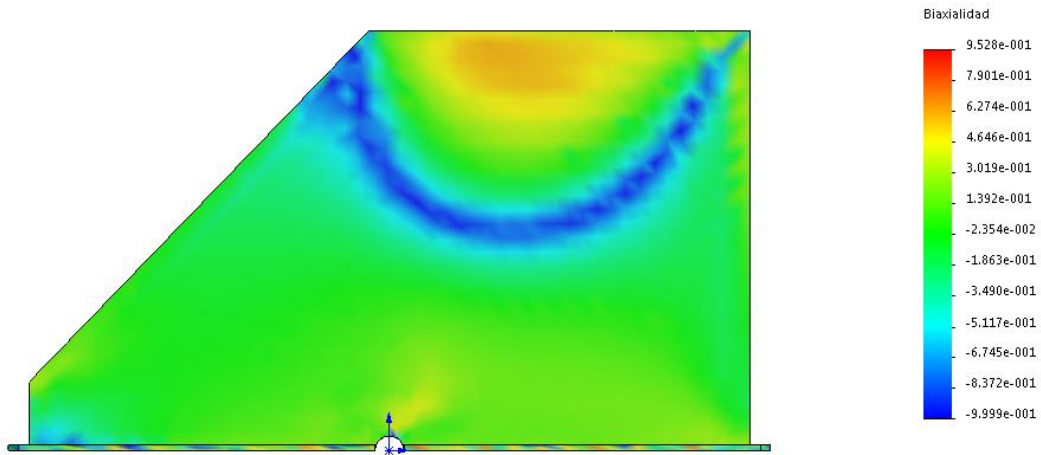
Nombre del modelo:1CARCASA
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



Nombre del modelo:1CARCASA
 Nombre de estudio:Análisis estático 1[-Predeterminado-]
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 80.5716

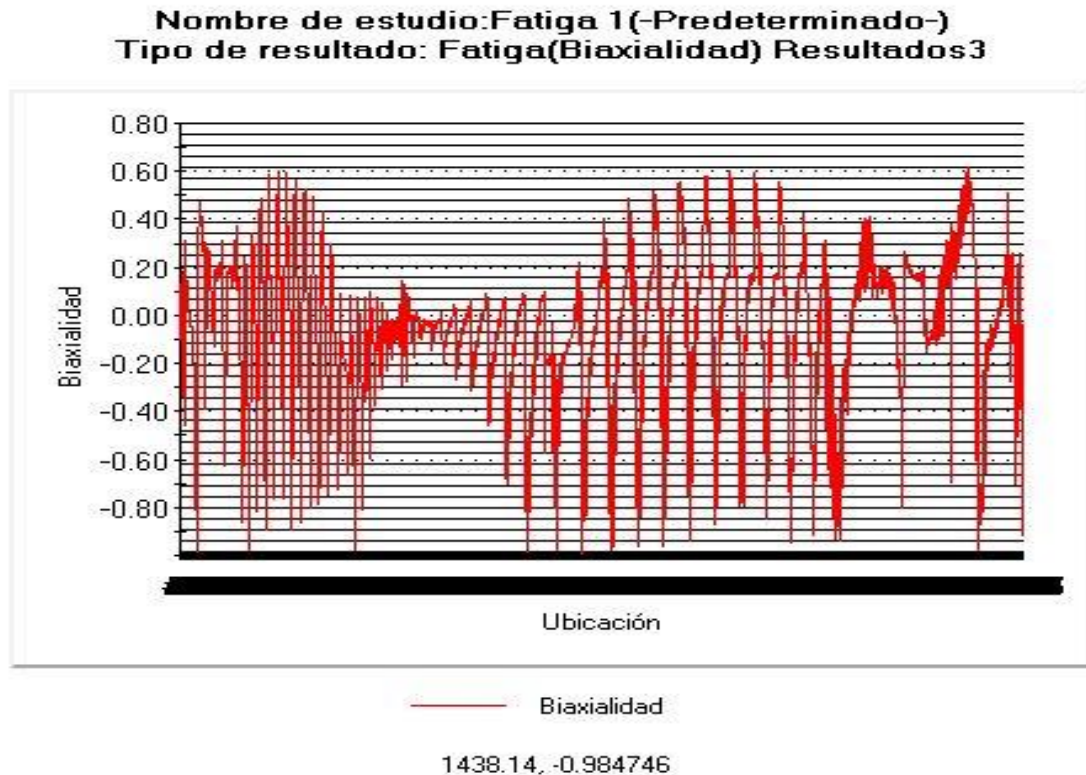


Nombre del modelo:1CARCASA
 Nombre de estudio:Fatiga 1[-Predeterminado-]
 Tipo de resultado: Fatiga[Biaxialidad] Resultados3



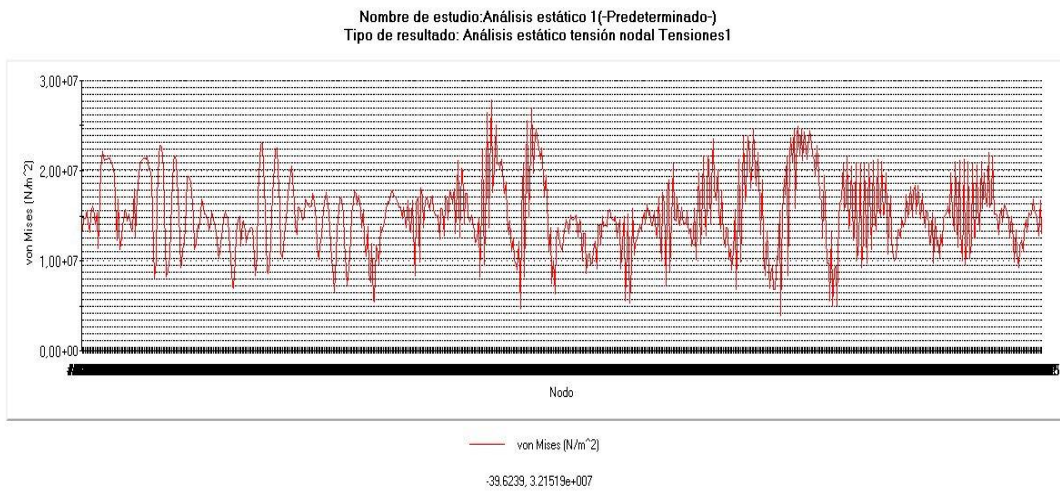
Fuente 36 Elaboración Propia

Ilustración 32 Fatiga: Biaxialidad



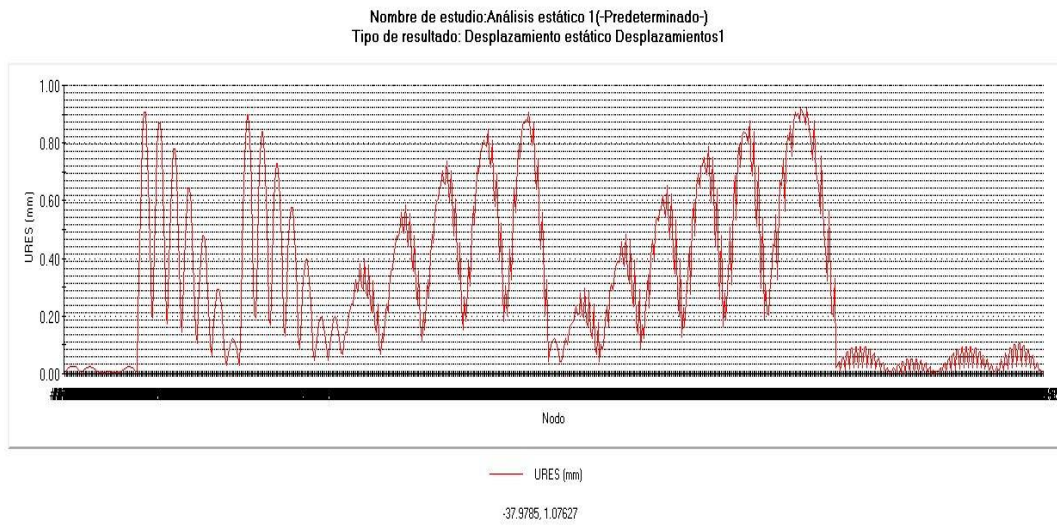
Fuente 37 Elaboración Propia

Ilustración 33 Análisis Estático Tensión Nodal



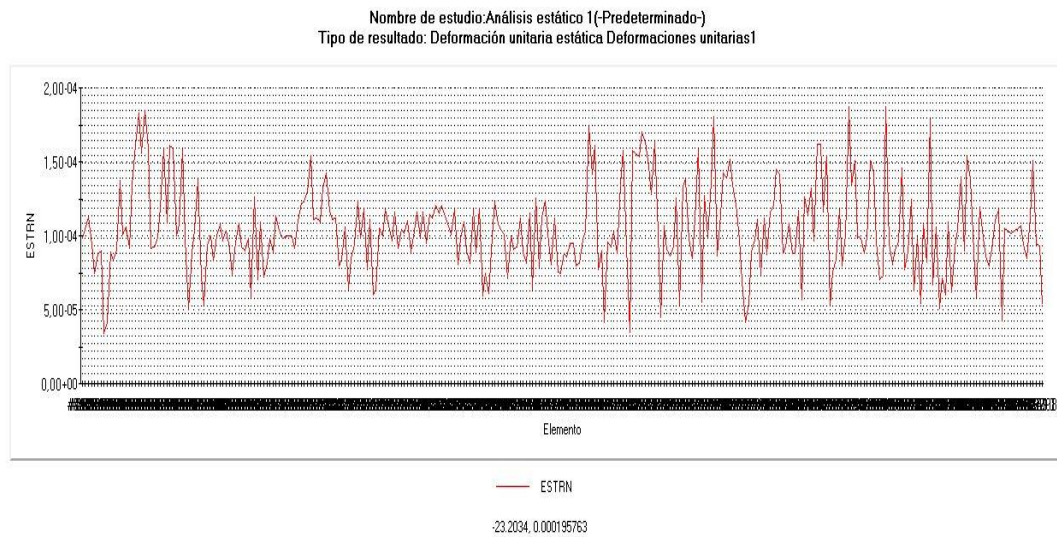
Fuente 38 Elaboración Propia

Ilustración 34 Desplazamiento Estático



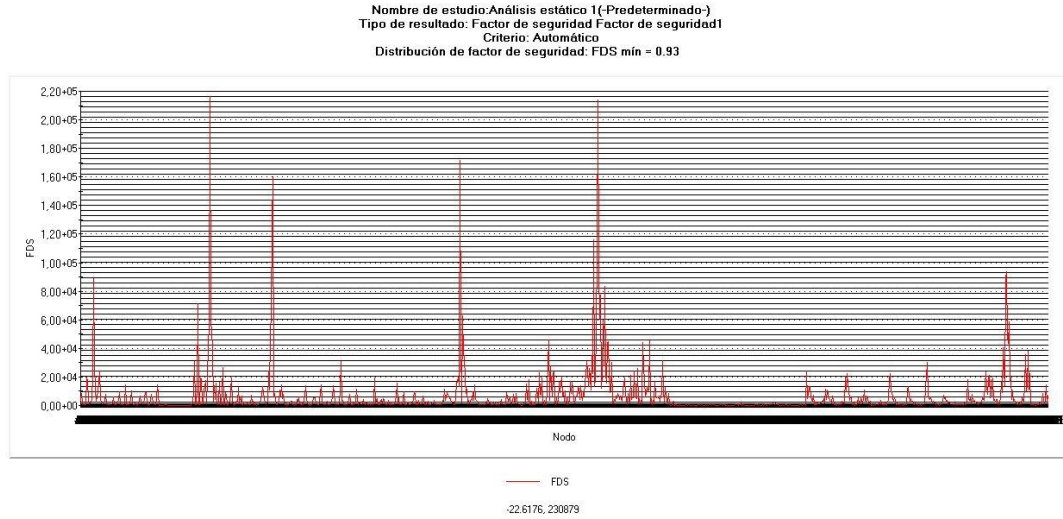
Fuente 39 Elaboración Propia

Ilustración 35 Deformación Unitaria Estática



Fuente 40 Elaboración Propia

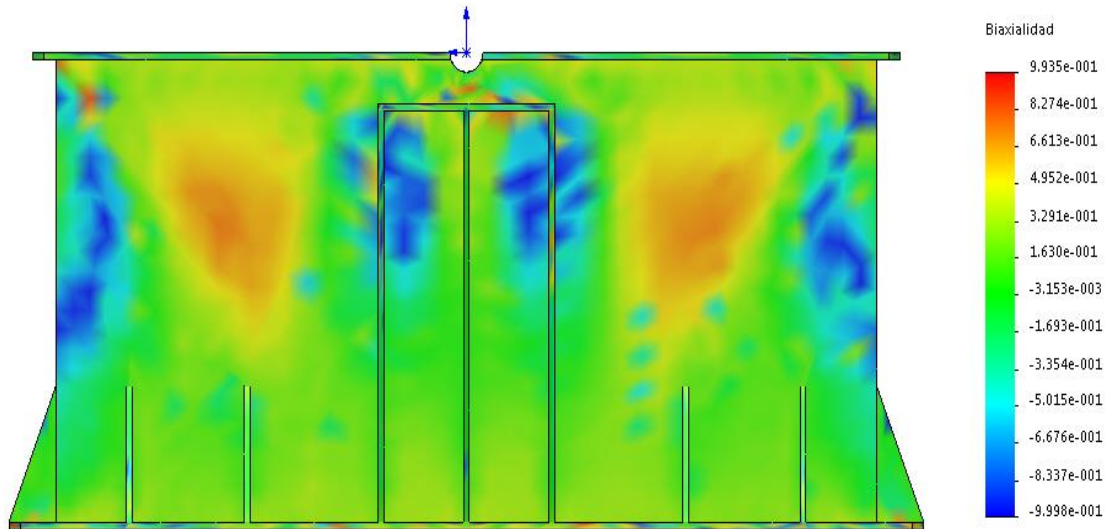
Ilustración 36 Distribución Factor de Seguridad



Fuente 41 Elaboración Propia

Ilustración 37 Carcasa Análisis Esfuerzos Fatiga Eje Plano

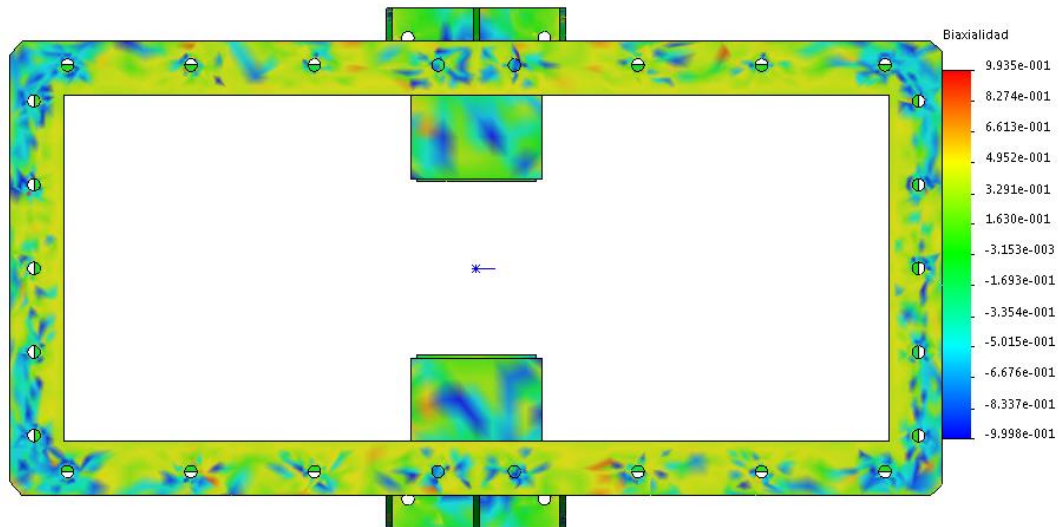
Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Fatiga 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Fatiga(Biaxialidad) Resultados3



Fuente 42 Elaboración Propia

Ilustración 38 Fatiga Biaxialidad 3

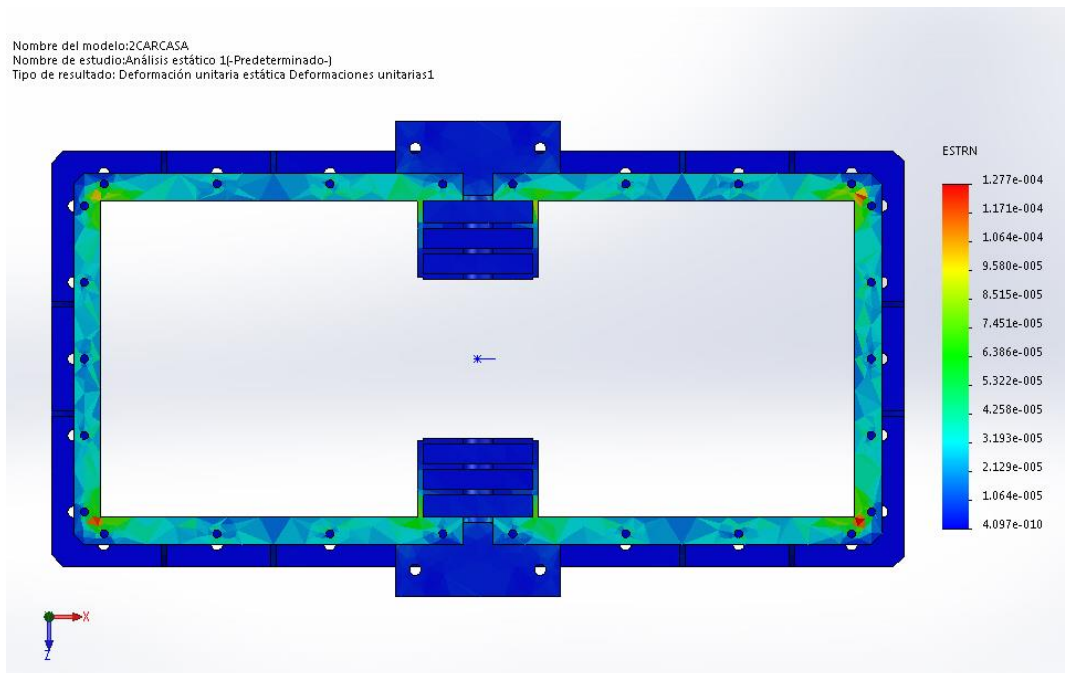
Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Fatiga 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Fatiga(Biaxialidad) Resultados3



Fuente 43 Elaboración Propia

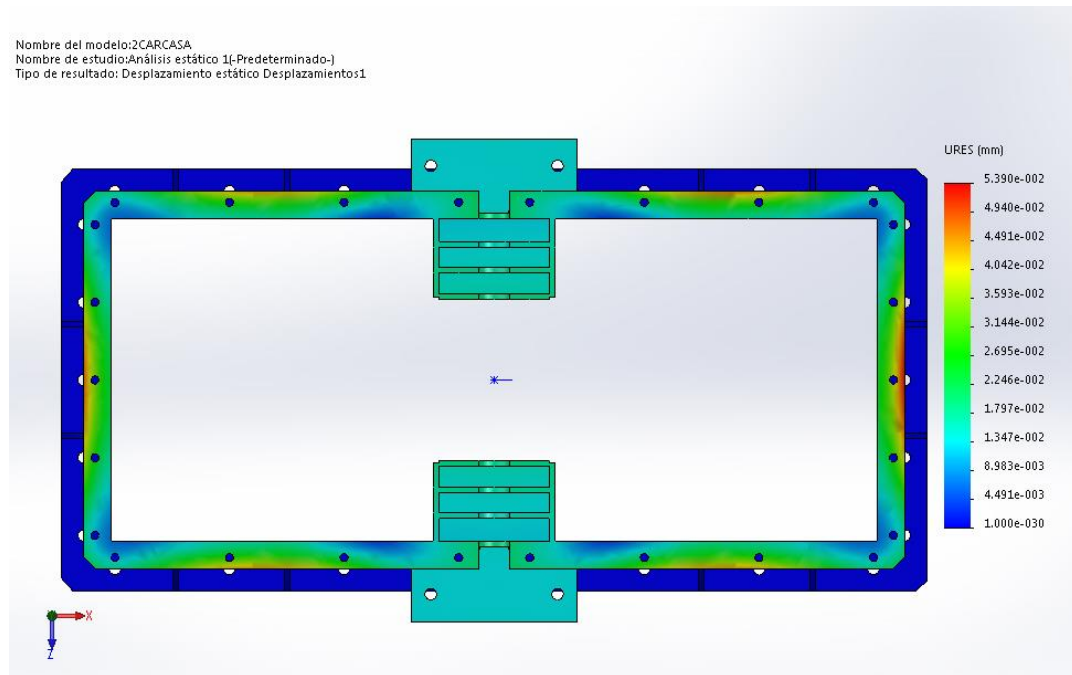
Ilustración 39 Análisis Estático 1

Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1



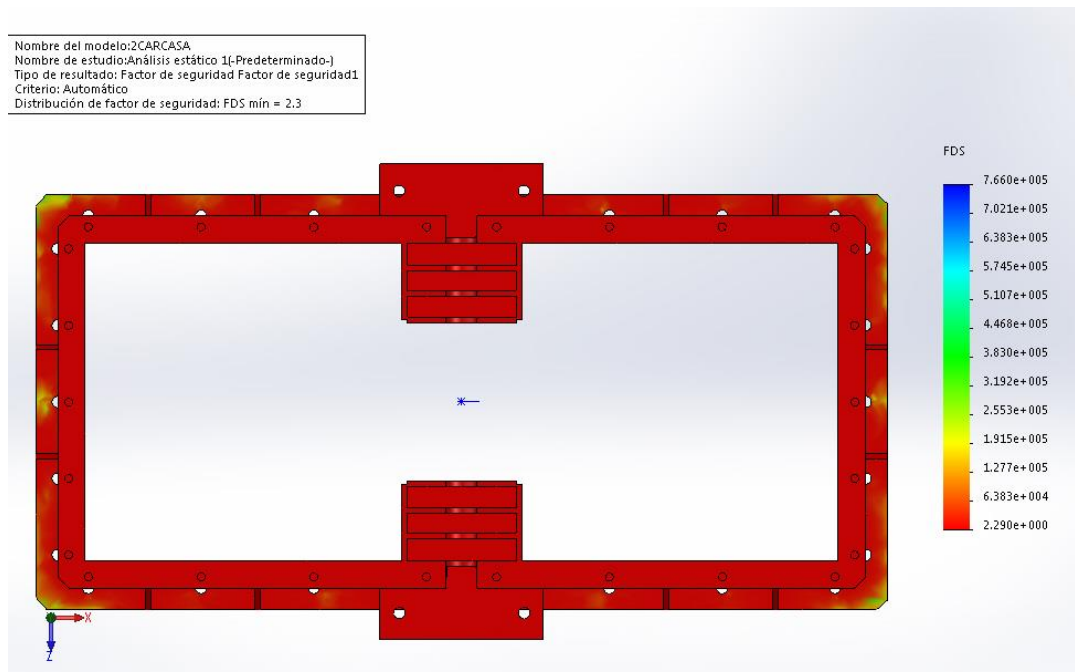
Fuente 44 Elaboración Propia

Ilustración 40 Desplazamiento Estático 1



Fuente 45 Elaboración Propia

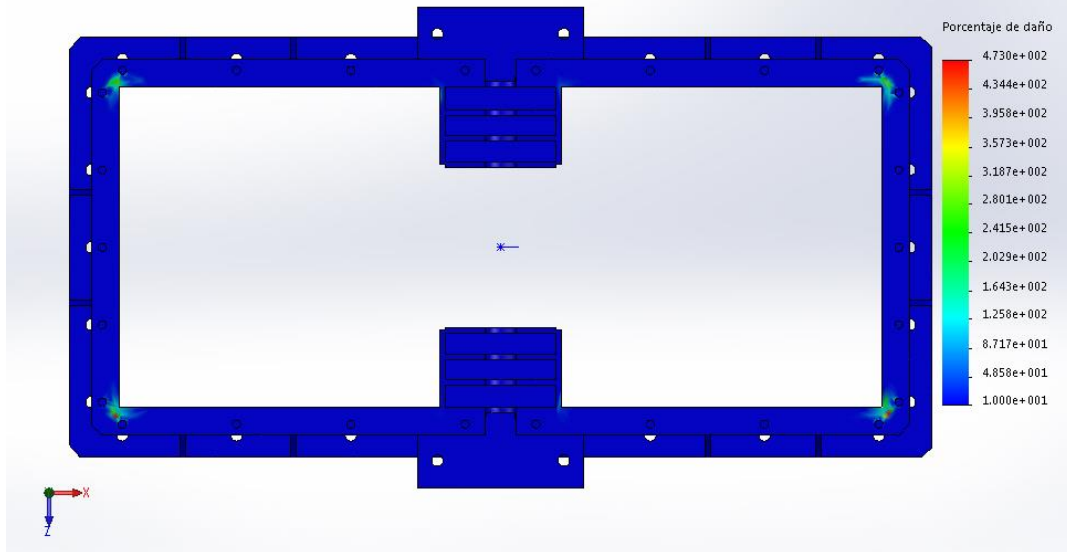
Ilustración 41 Factor de Seguridad FDS



Fuente 46 Elaboración Propia

Ilustración 42 Fatiga Daño Resultado 1

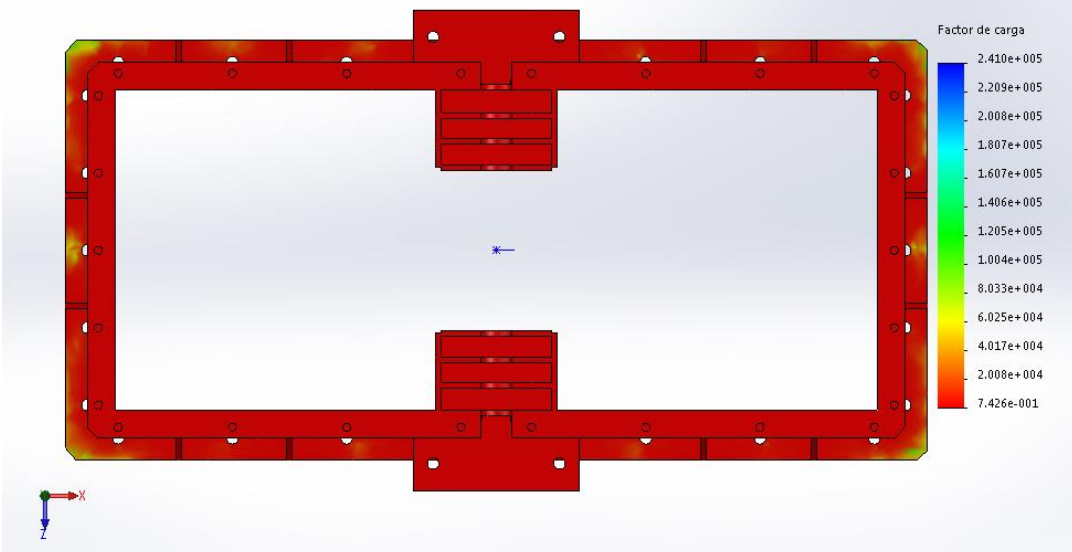
Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Fatiga 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Fatiga(Daño) Resultados1



Fuente 47 Elaboración Propia

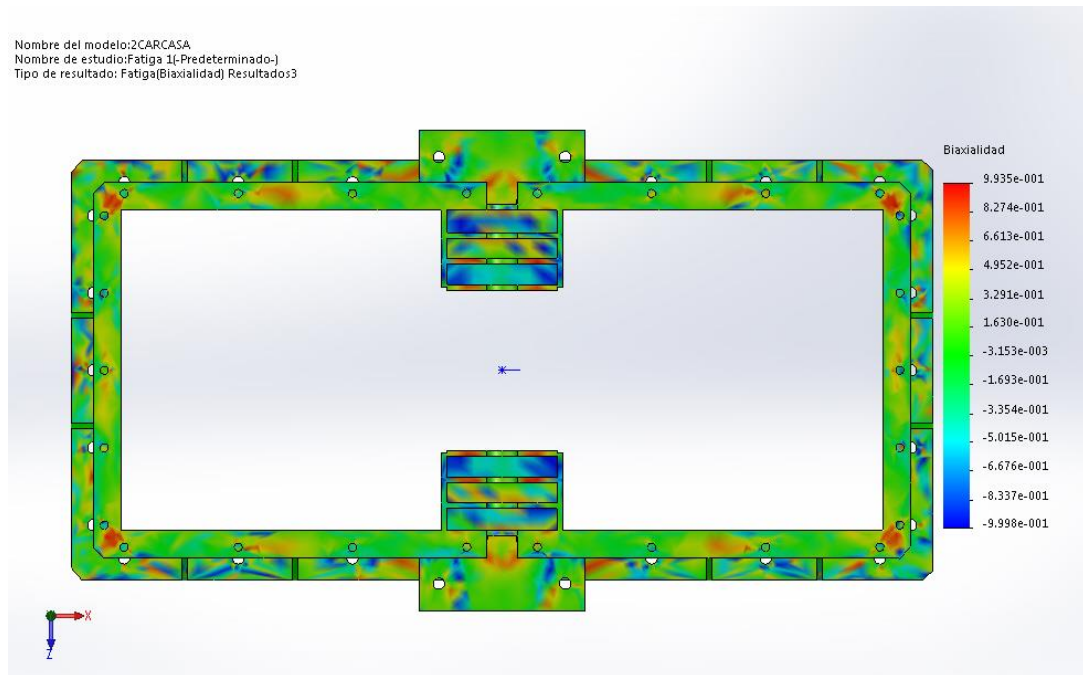
Ilustración 43 Fatiga Fallos Resultado 2

Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Fatiga 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Fatiga(El factor de carga puede ocasionar fallos) Resultados2
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



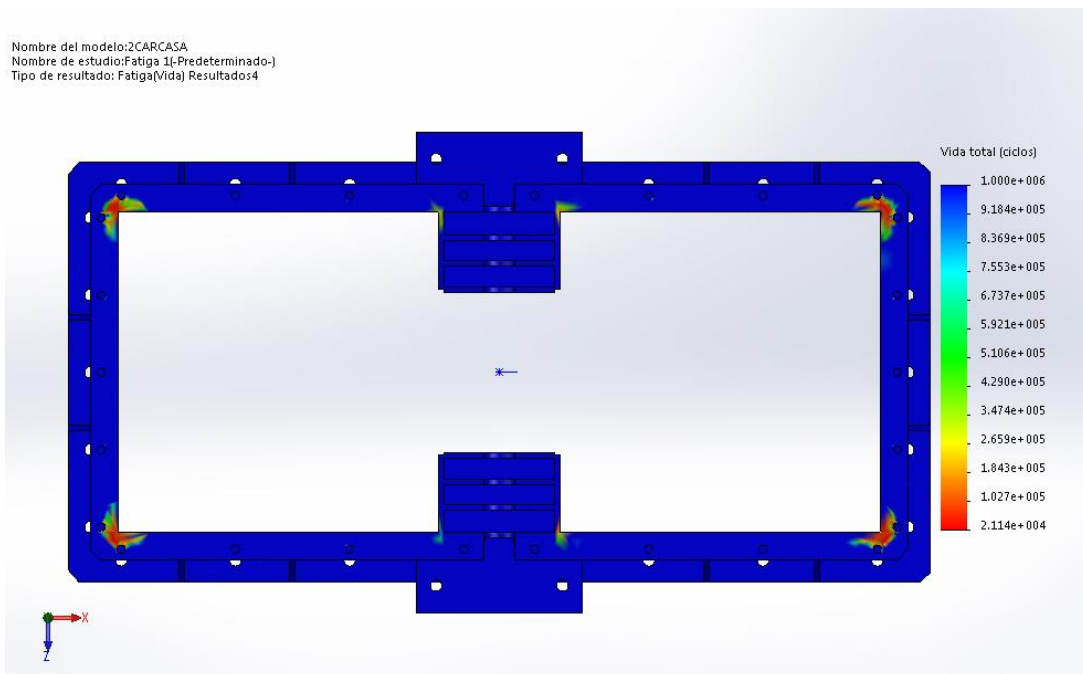
Fuente 48 Elaboración Propia

Ilustración 44 Fatiga Biaxialidad Resultado 3



Fuente 49 Elaboración Propia

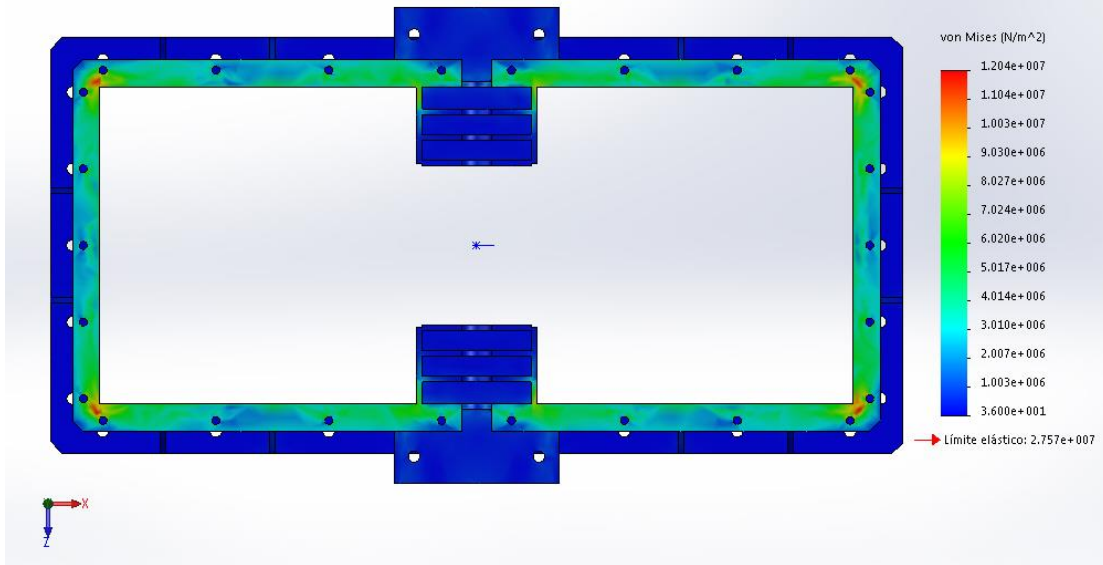
Ilustración 45 Fatiga Resultado 4



Fuente 50 Elaboración Propia

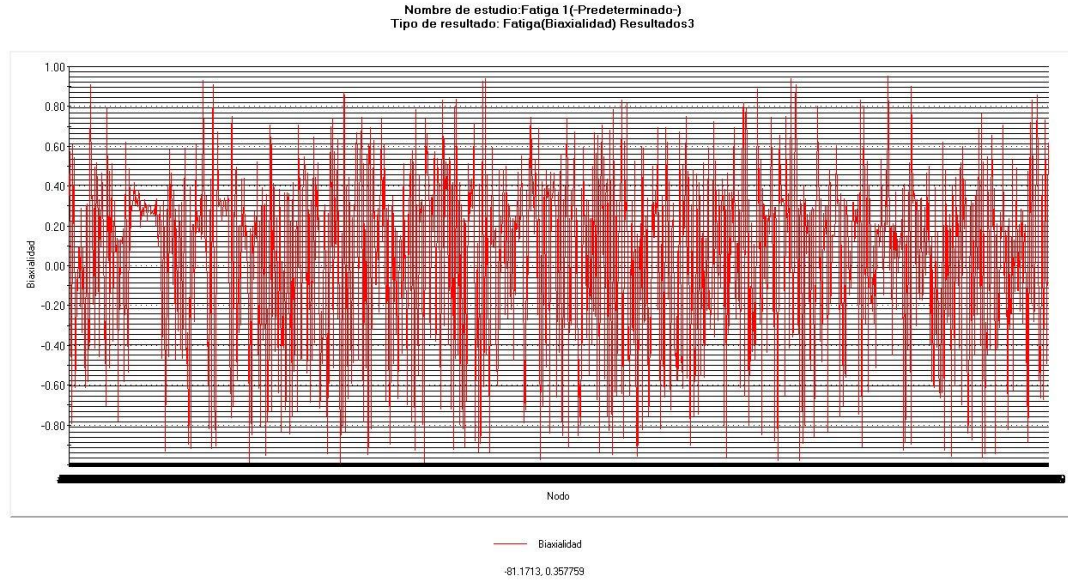
Ilustración 46 Análisis Estático Tensión Nodal 1

Nombre del modelo: 2CARCASA
Nombre de estudio: Análisis estático 1[-Predeterminado-]
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1



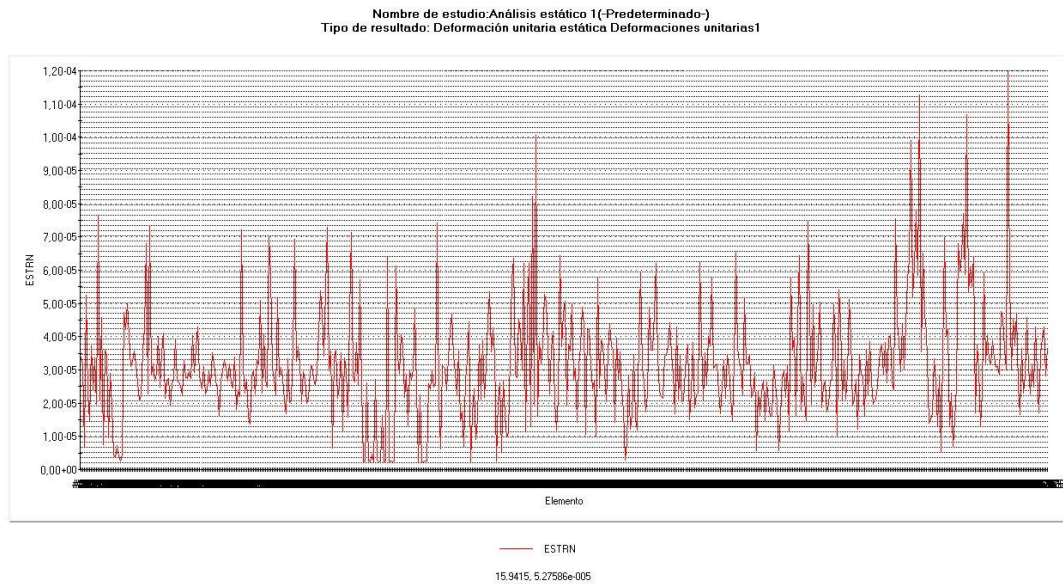
Fuente 51 Elaboración Propia

Ilustración 47 Grafico Fatiga Biaxialidad Resultado 3



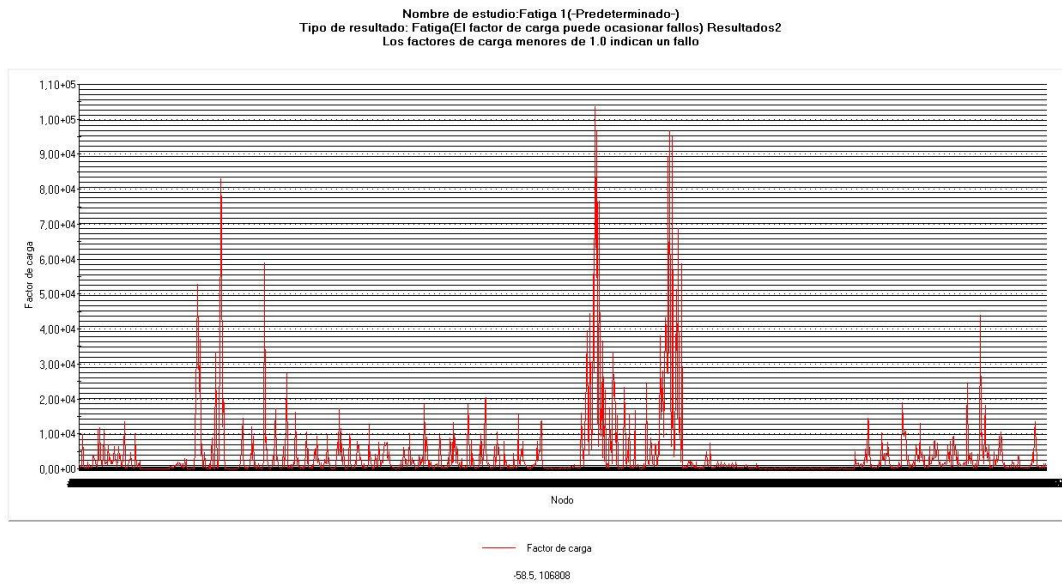
Fuente 52 Elaboración Propia

Ilustración 48 Grafica Deformación Unitaria Estática



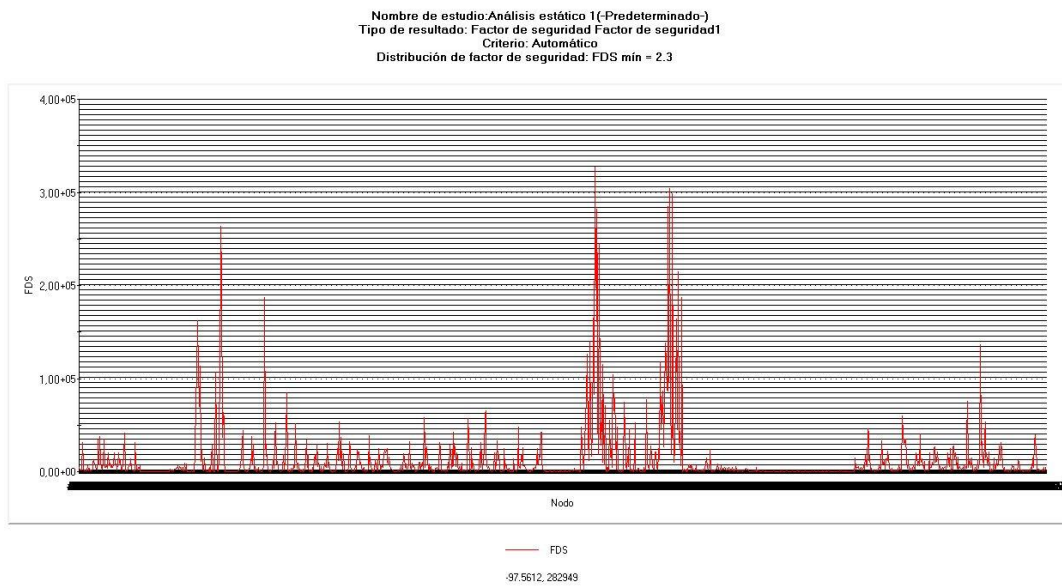
Fuente 53 Elaboración Propia

Ilustración 49 Fatiga Factor de Carga



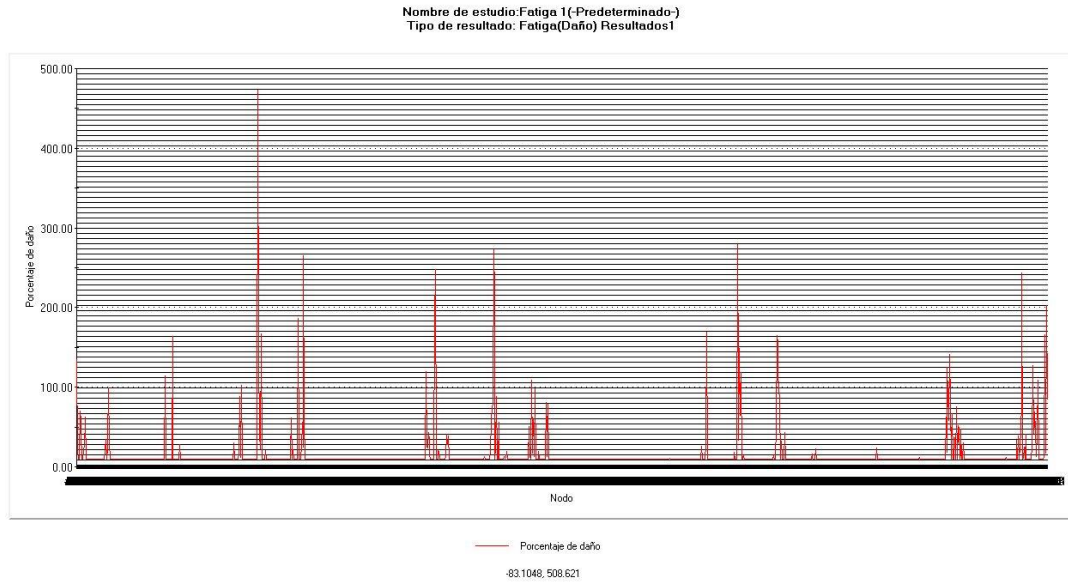
Fuente 54 Elaboración Propia

Ilustración 50 Grafica FDS



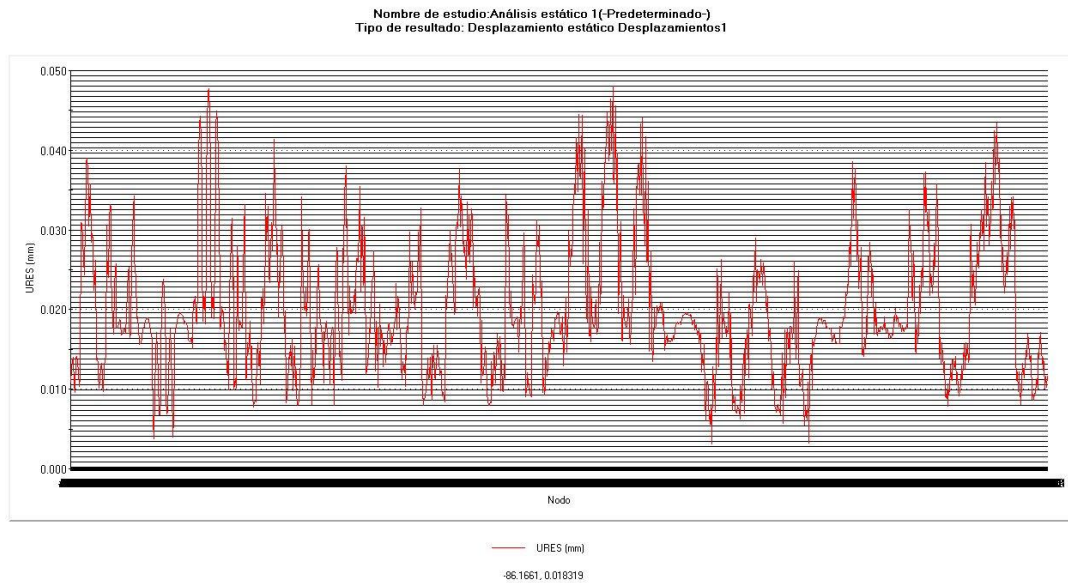
Fuente 55 Elaboración Propia

Ilustración 51 Fatiga Daño



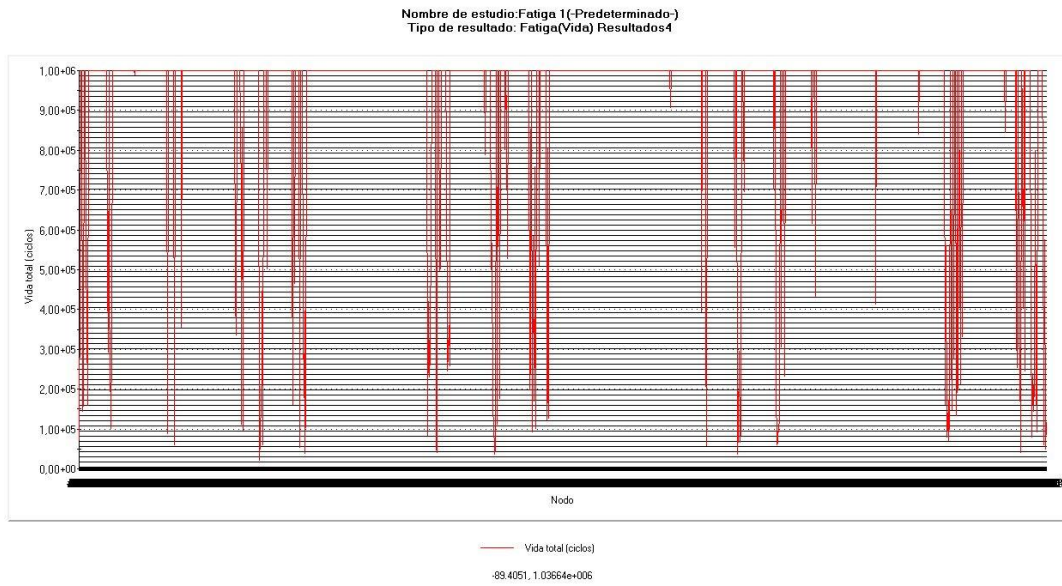
Fuente 56 Elaboración Propia

Ilustración 52 Desplazamiento Estático



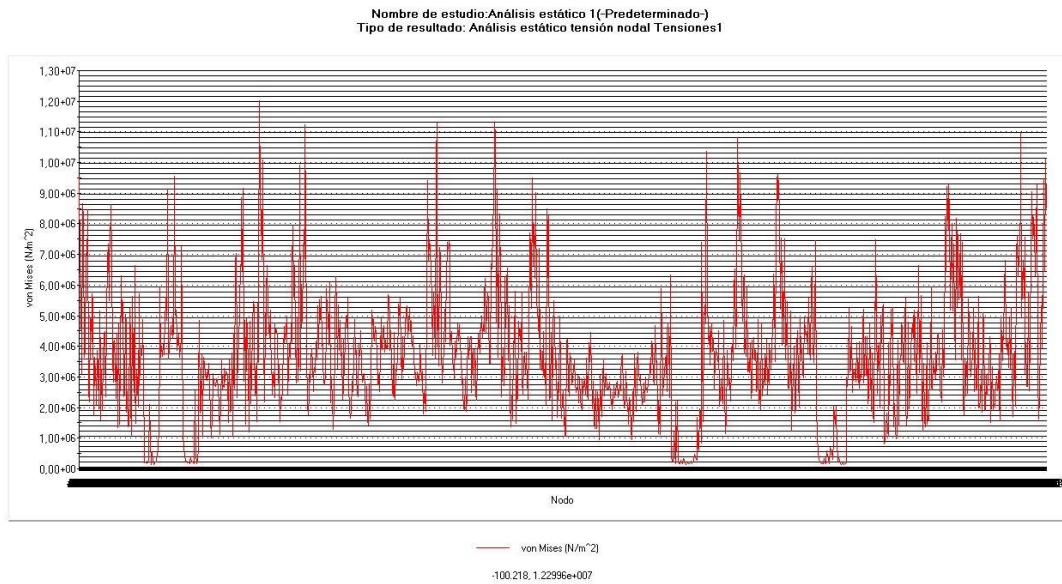
Fuente 57 Elaboración Propia

Ilustración 53 Fatiga Vida



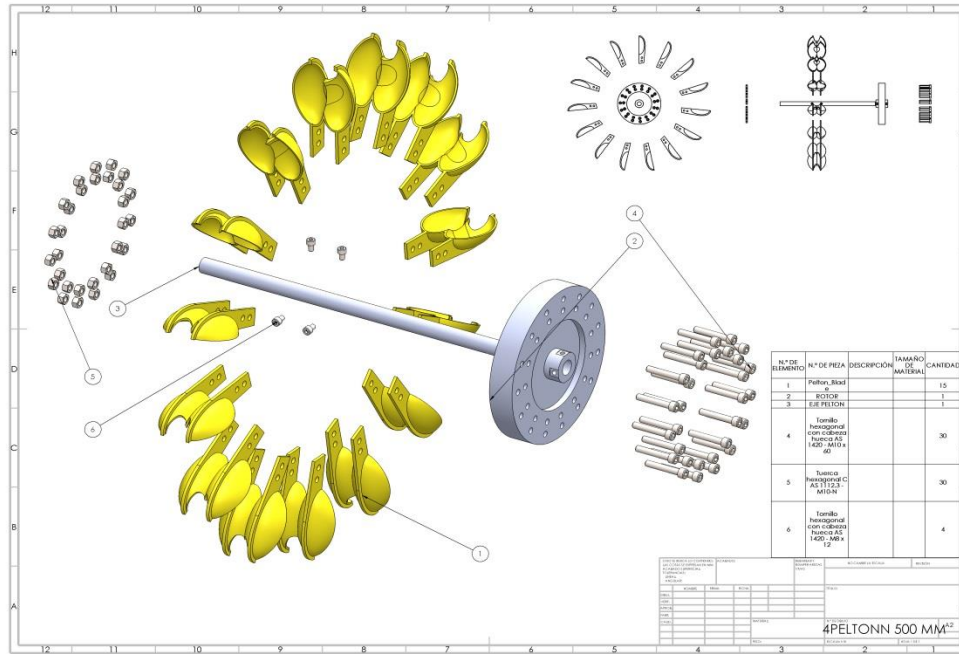
Fuente 58 Elaboración Propia

Ilustración 54 Grafico Análisis Estático Tensión Nodal



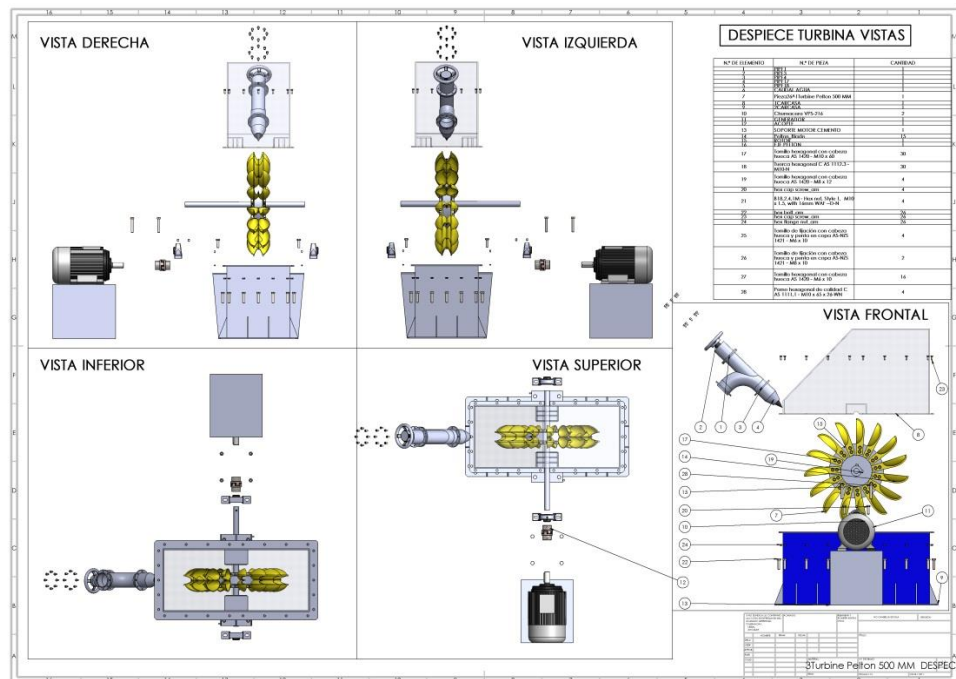
Fuente 59 Elaboración Propia

Ilustración 55 Despiece 1 Esquema Acople De Turbina Pelton



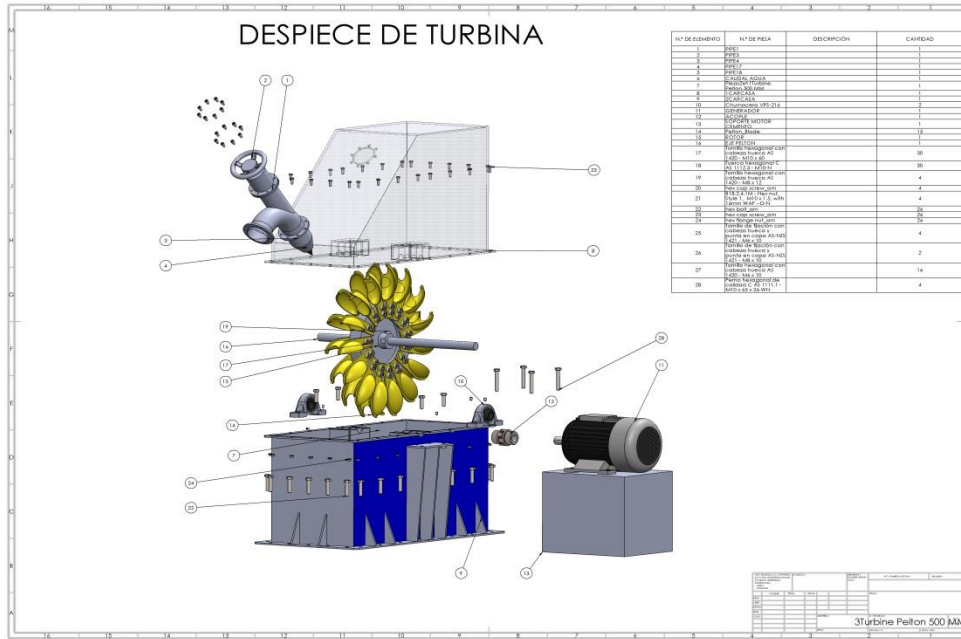
Fuente 60 Elaboración Propia

Ilustración 56 Despiece 2 Esquema Acople De Turbina Pelton



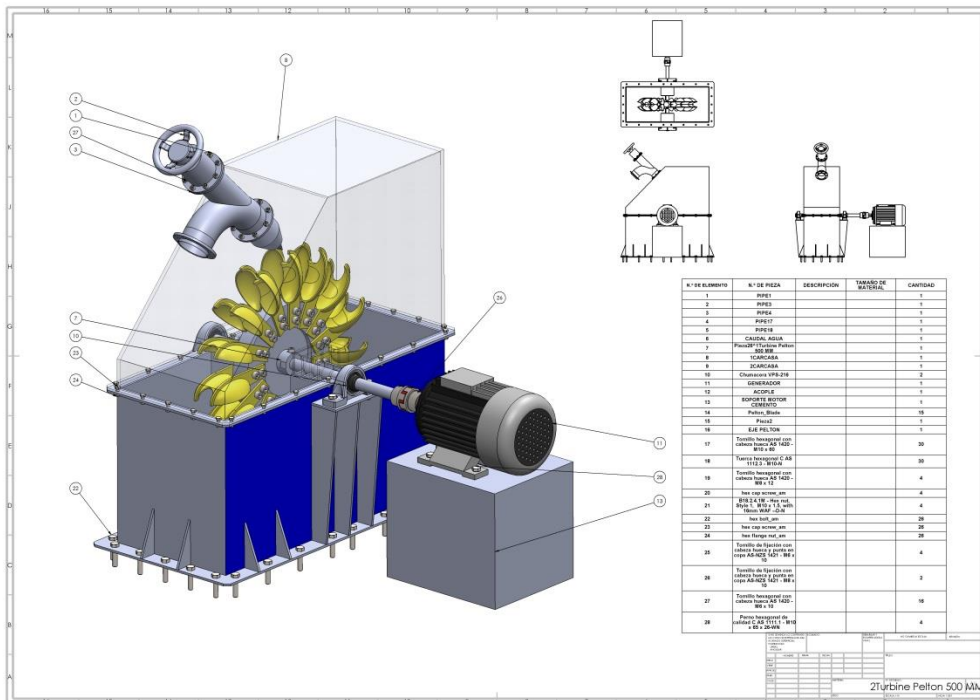
Fuente 61 Elaboración Propia

Ilustración 57 Despiece 3 Esquema de Turbina Pelton



Fuente 62 Elaboración Propia

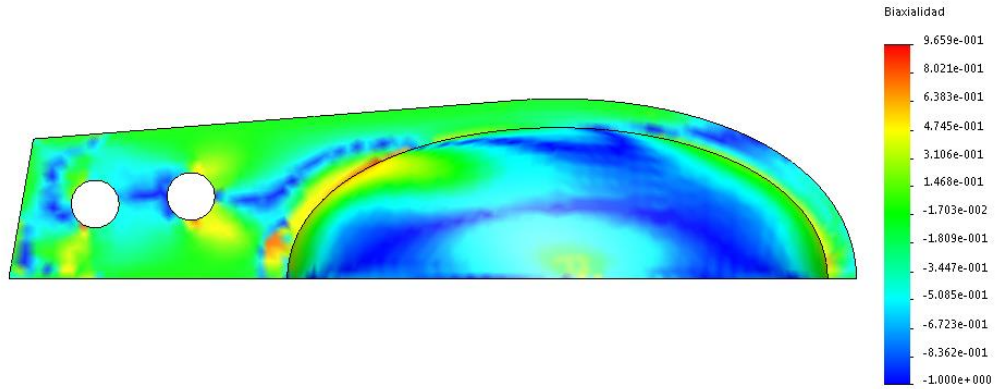
Ilustración 58 Despiece 4 Esquema de Turbina Pelton



Fuente 63 Elaboración Propia

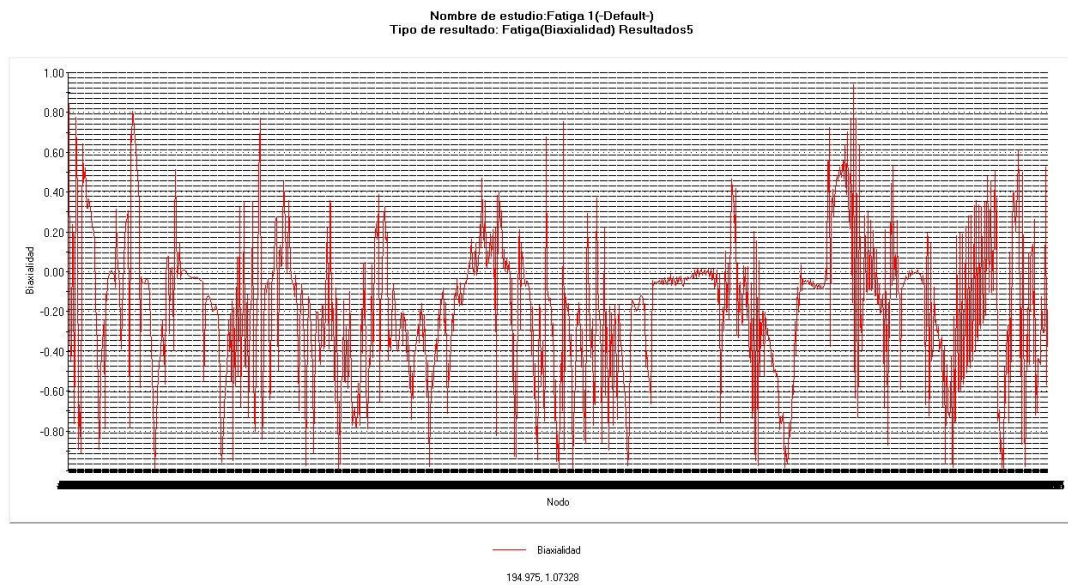
Ilustración 59 Fatiga Biaxialidad R5

Nombre del modelo: Pelton_Blade
Nombre de estudio: Fatiga 1(-Default-)
Tipo de resultado: Fatiga(Biaxialidad) Resultados5



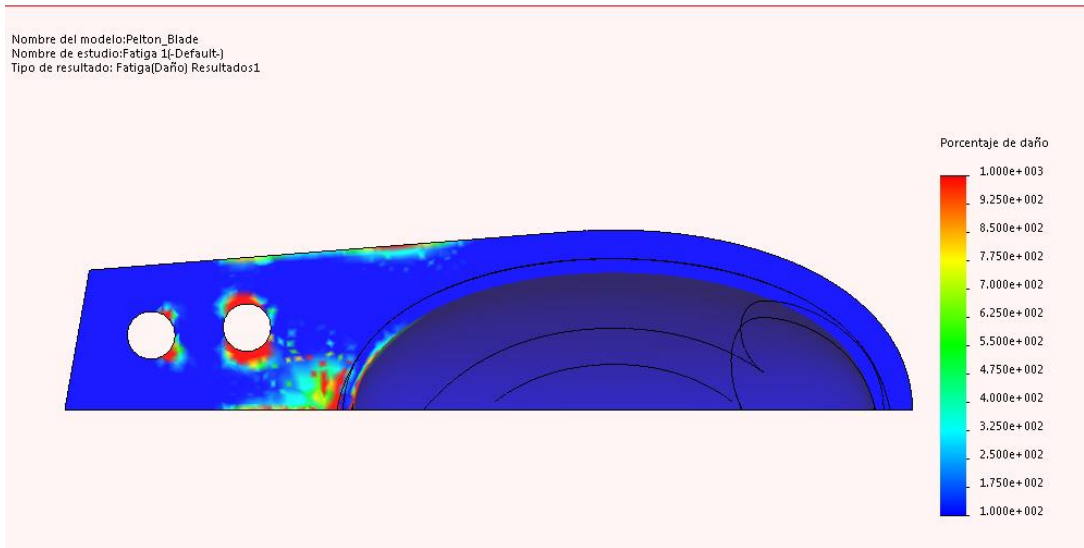
Fuente 64 Elaboración Propia

Ilustración 60 Grafico Fatiga Biaxialidad R5



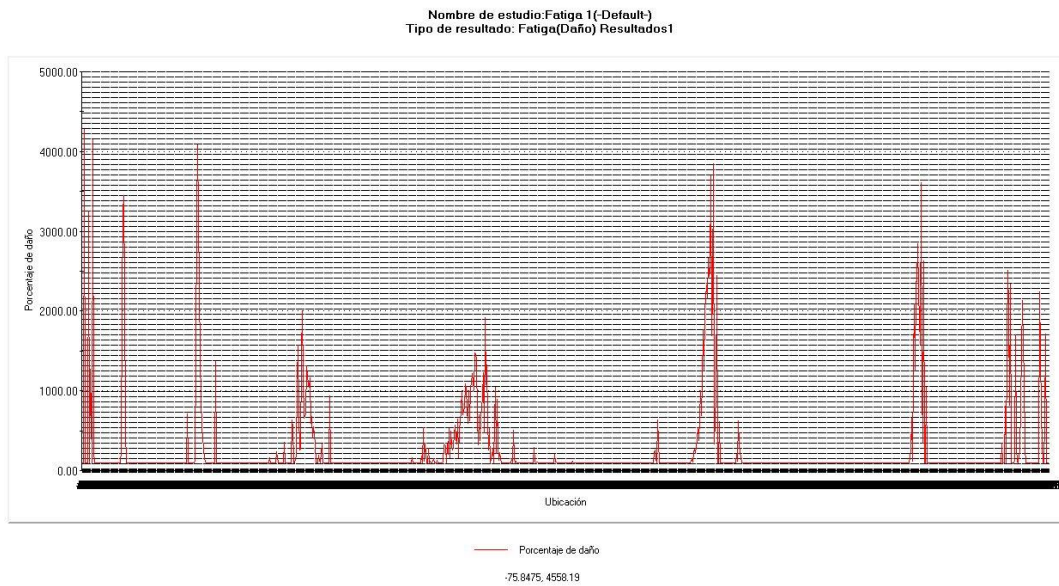
Fuente 65 Elaboración Propia

Ilustración 61 Fatiga Daño R1



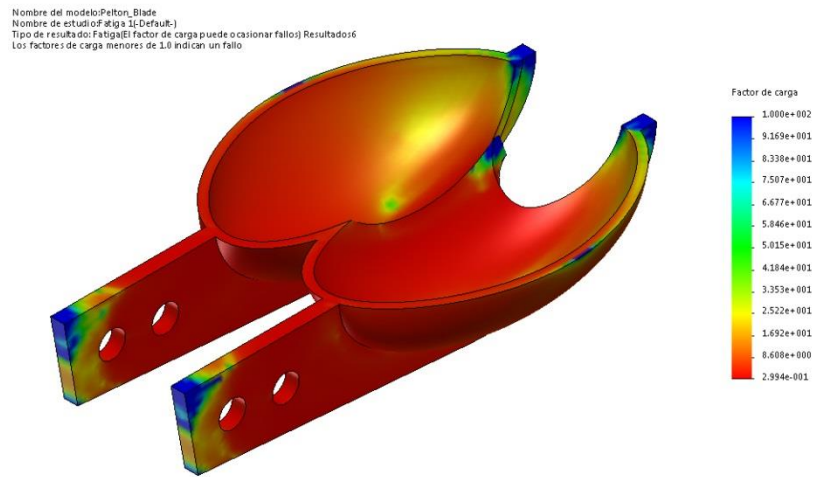
Fuente 66 Elaboración Propia

Ilustración 62 Grafico Fatiga Daño R1



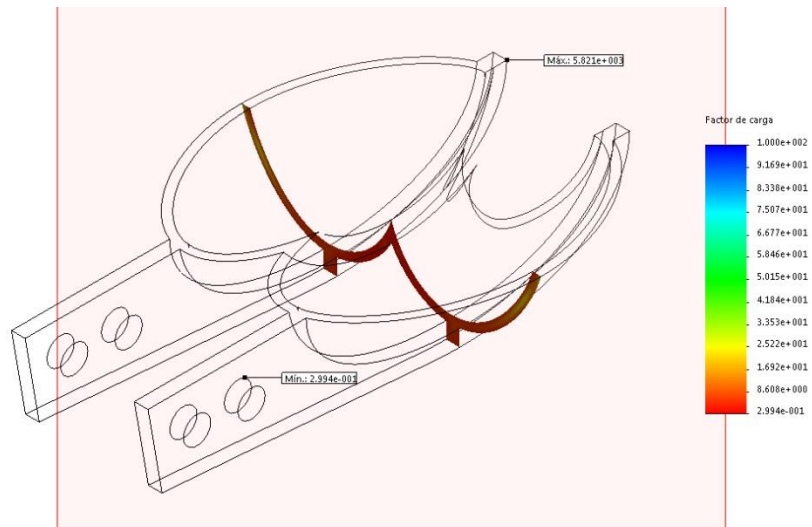
Fuente 67 Elaboración Propia

Ilustración 63 Fatiga Factor de Carga R6



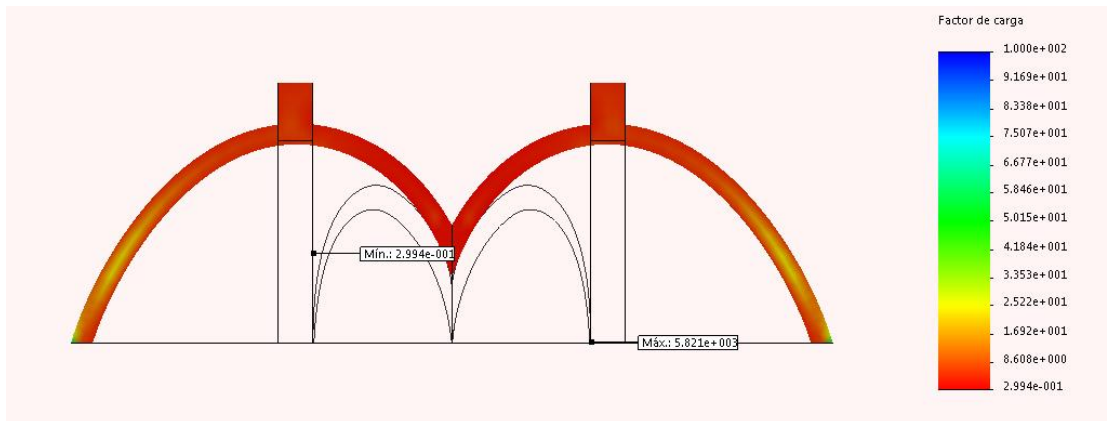
Fuente 68 Elaboración Propia

Ilustración 64 Vector Fatiga Factor de Carga R6



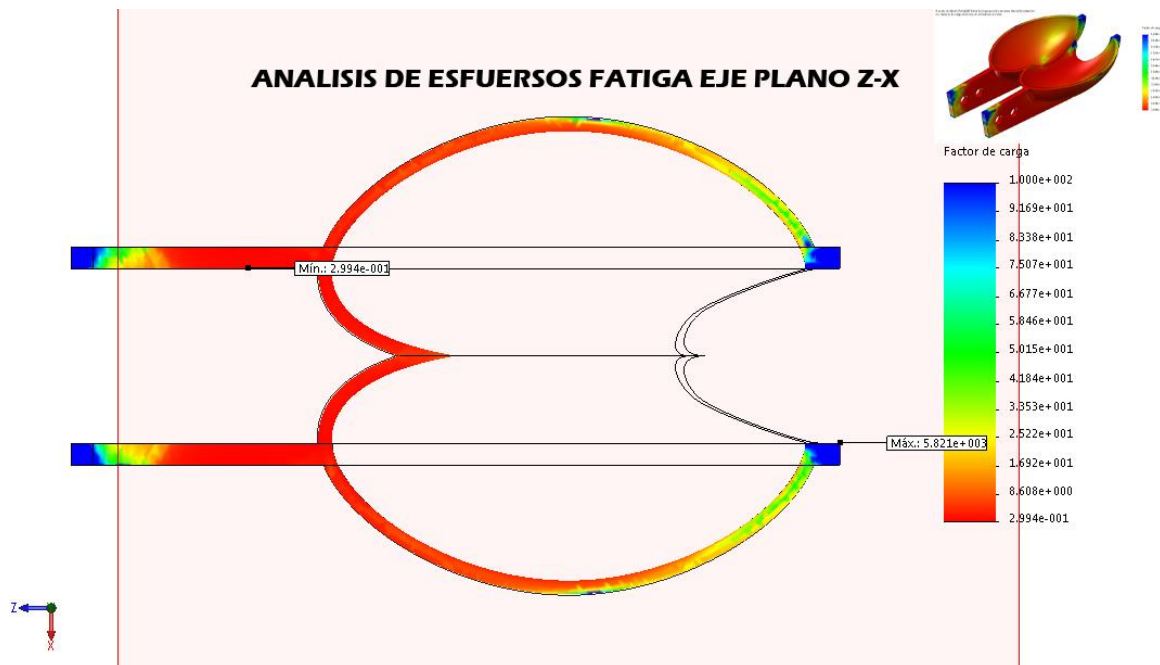
Fuente 69 Elaboración Propia

Ilustración 65 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Y-X



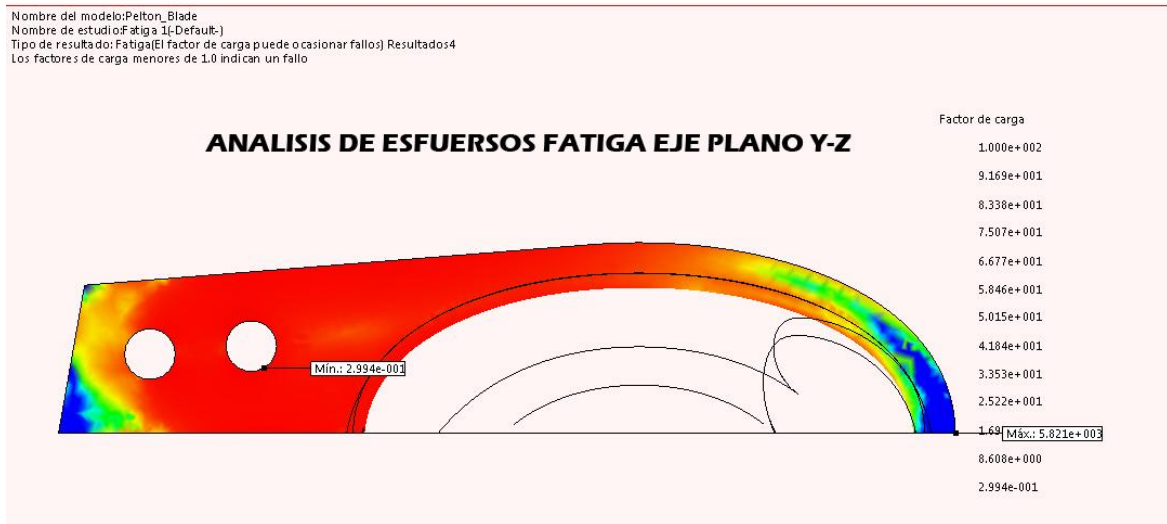
Fuente 70 Elaboración Propia

Ilustración 66 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Z-X



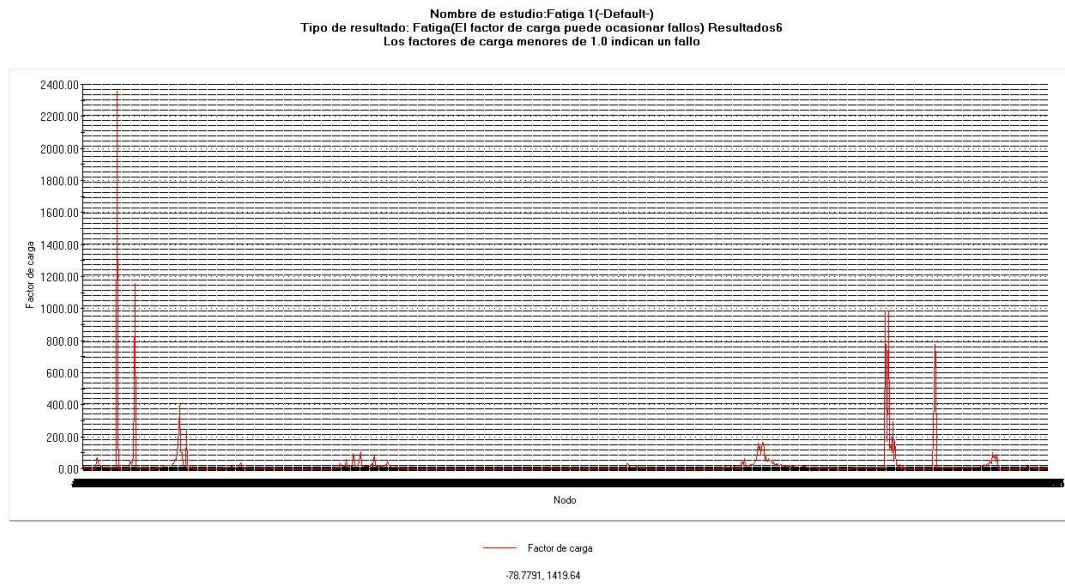
Fuente 71 Elaboración Propia

Ilustración 67 Análisis de Esfuerzos de Fatiga eje Plano Y-Z



Fuente 72 Elaboración Propia

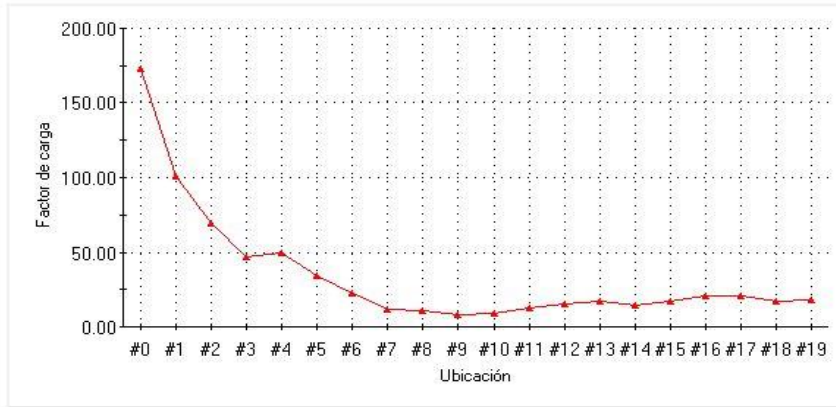
Ilustración 68 Grafica Fatiga R6



Fuente 73 Elaboración Propia

Ilustración 69 Grafica Fatiga R4

Nombre de estudio: Fatiga 1 (-Default)
Tipo de resultado: Fatiga (El factor de carga puede ocasionar fallos) Resultados4
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



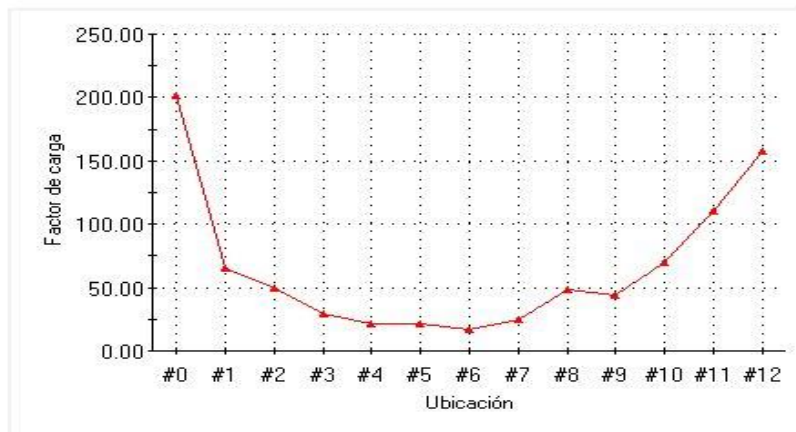
Factor de carga

19.9574, 141.441

Fuente 74 Elaboración Propia

Ilustración 70 Grafica Fatiga R6

Nombre de estudio: Fatiga 1 (-Default)
Tipo de resultado: Fatiga (El factor de carga puede ocasionar fallos) R6
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



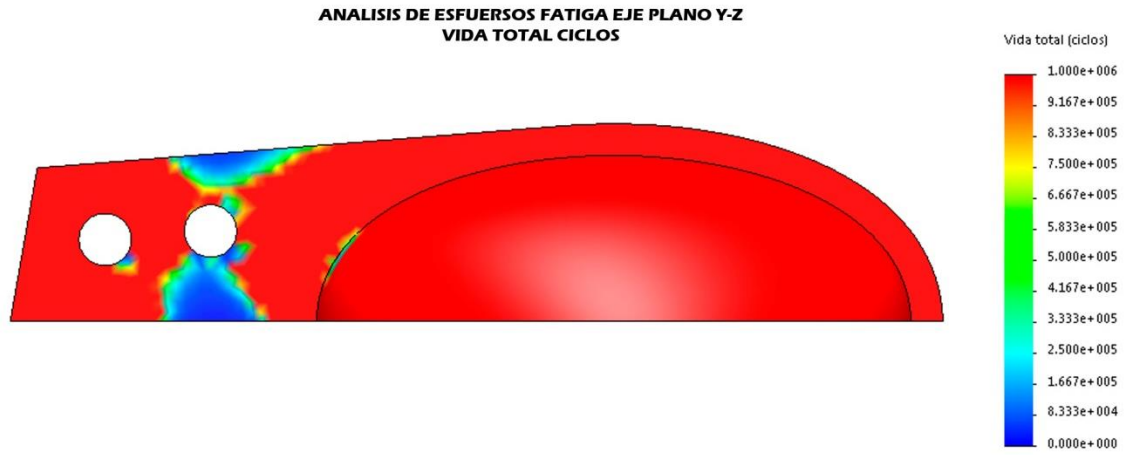
Factor de carga

9.13793, 265.766

Fuente 75 Elaboración Propia

Ilustración 71 Vida Total Ciclos Fatiga Eje Plano Y-Z

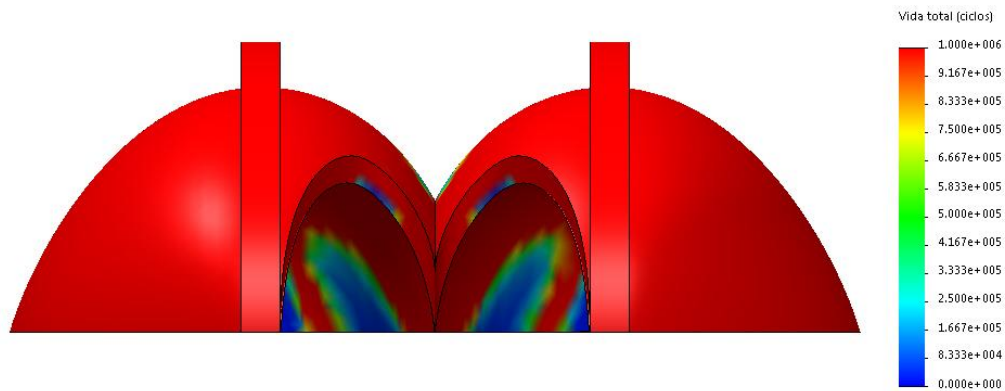
Nombre del modelo: Pelton_Blade
Nombre de estudio: [Fatiga 2] (Default)
Tipo de resultado: Fatiga(Vida) Resultados2



Fuente 76 Elaboración Propia

Ilustración 72 Fatiga Vida R2

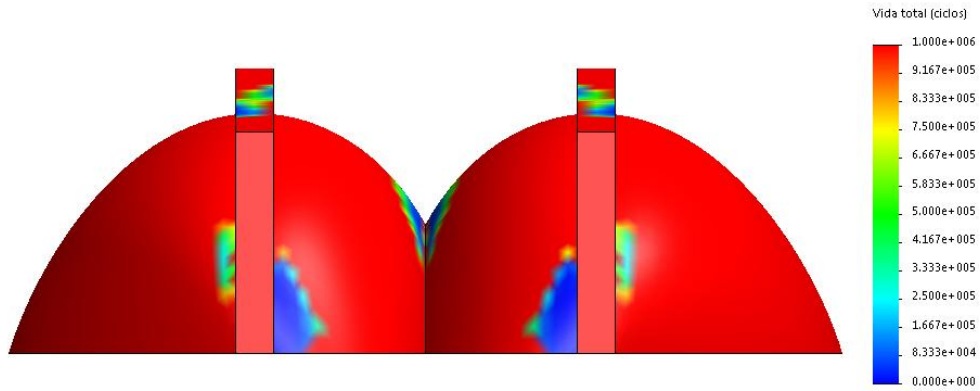
Nombre del modelo: Pelton_Blade
Nombre de estudio: [Fatiga 2] (Default)
Tipo de resultado: Fatiga(Vida) Resultados2



Fuente 77 Elaboración Propia

Ilustración 73 Fatiga Vida Total R2

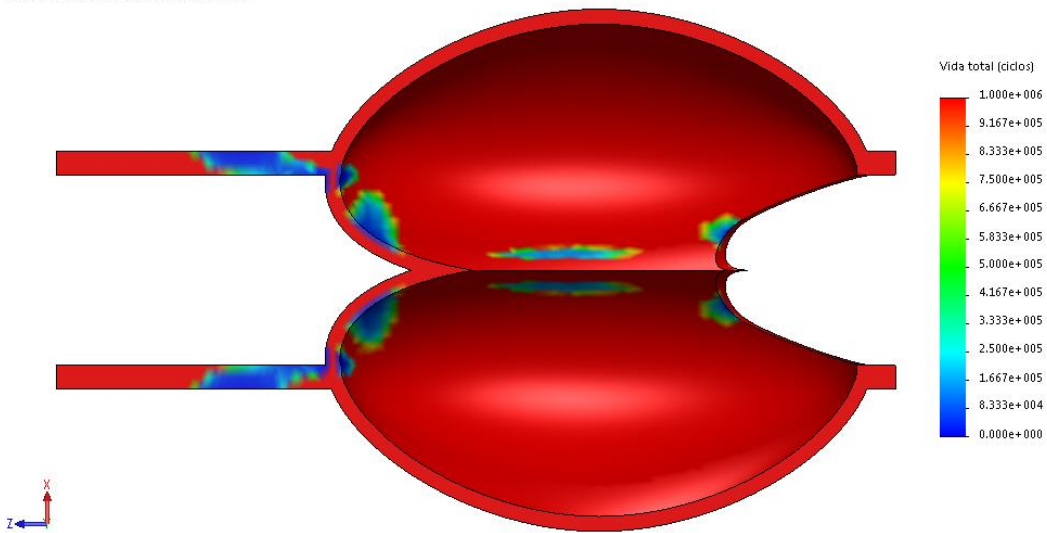
Nombre del modelo: Pelton_Blade
Nombre de estudio: [Fatiga 2] (Default)
Tipo de resultado: Fatiga (Vida) Resultados2



Fuente 78 Elaboración Propia

Ilustración 74 Fatiga Vida Total R2-2

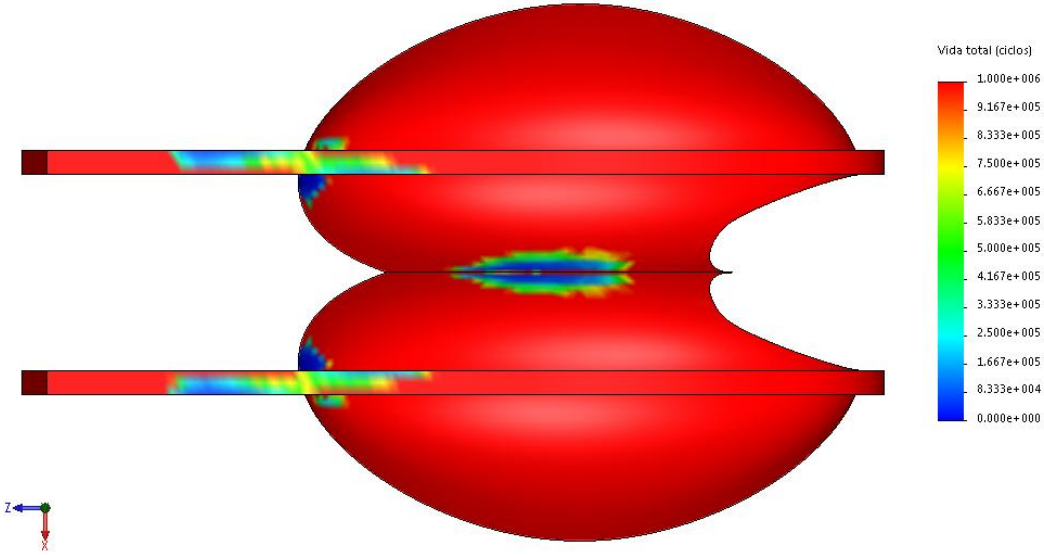
Nombre del modelo: Pelton_Blade
Nombre de estudio: [Fatiga 2] (Default)
Tipo de resultado: Fatiga (Vida) Resultados2



Fuente 79 Elaboración Propia

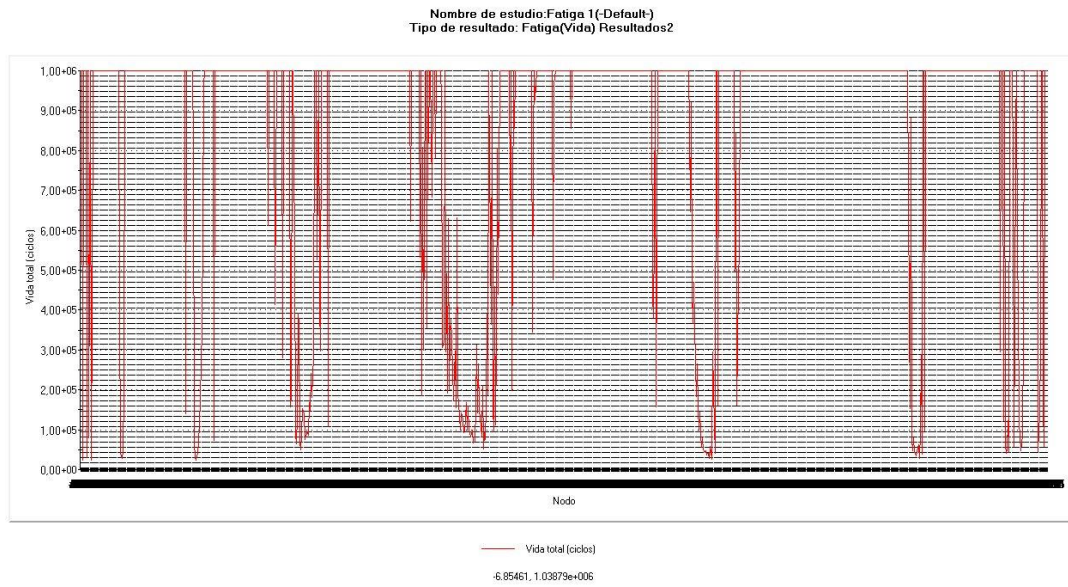
Ilustración 75 Fatiga Vida Total R2-3

Nombre del modelo: Pelton_Blade
 Nombre de estudio: [Fatiga 2] (Default)
 Tipo de resultado: Fatiga(Vida) Resultados2



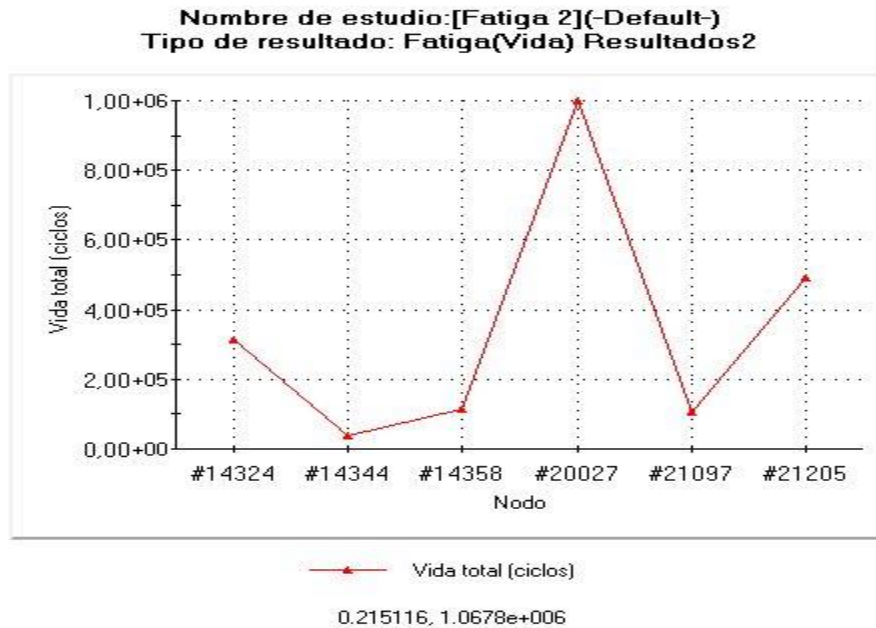
Fuente 80 Elaboración Propia

Ilustración 76 Grafica Fatiga Vida Total R2-2



Fuente 81 Elaboración Propia

Ilustración 77 Grafica Fatiga Vida R2



Fuente 82 Elaboración Propia

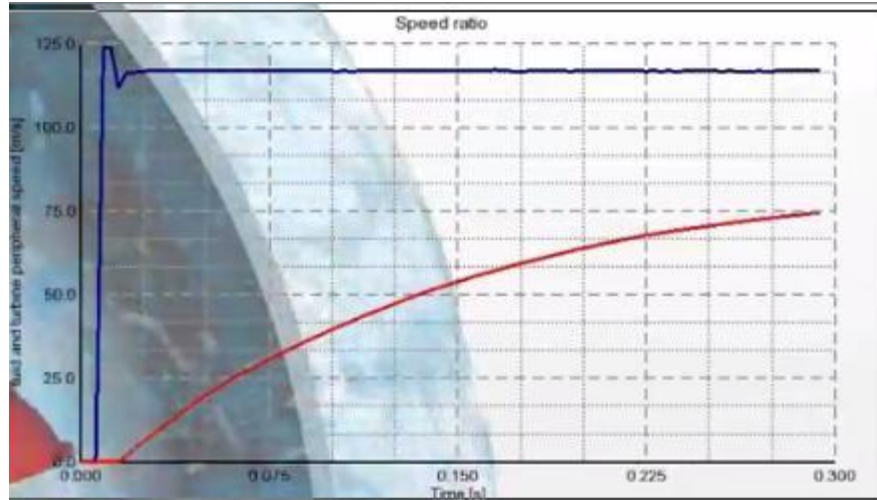
4.3.3. Velocidad optima para la turbina

En el programa de Soliword se simula la velocidad optima para la turbina, demostrando graficamente su funcionamiento y resultados.

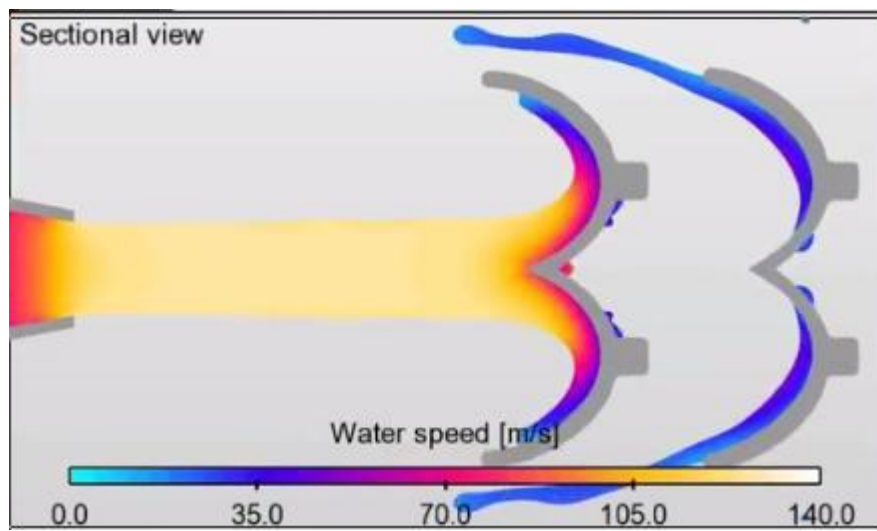
Ilustración 78 Velocidad óptima para la turbina

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------|---------|
| Altura Neta H_n | 22 m |
| Caudal Q | 7 l/s |
| Potencia en el eje | 1.5 kW |
| Velocidad Específica (ns_q) | 22.8 |
| Velocidad de rotación n | 750 rpm |
| Diámetro Característico D | 220 mm |
| Diámetro de la Boquilla d | 35 mm |
| Nº de álabes | 15 |
| Relación de Transmisión | 1:2 |

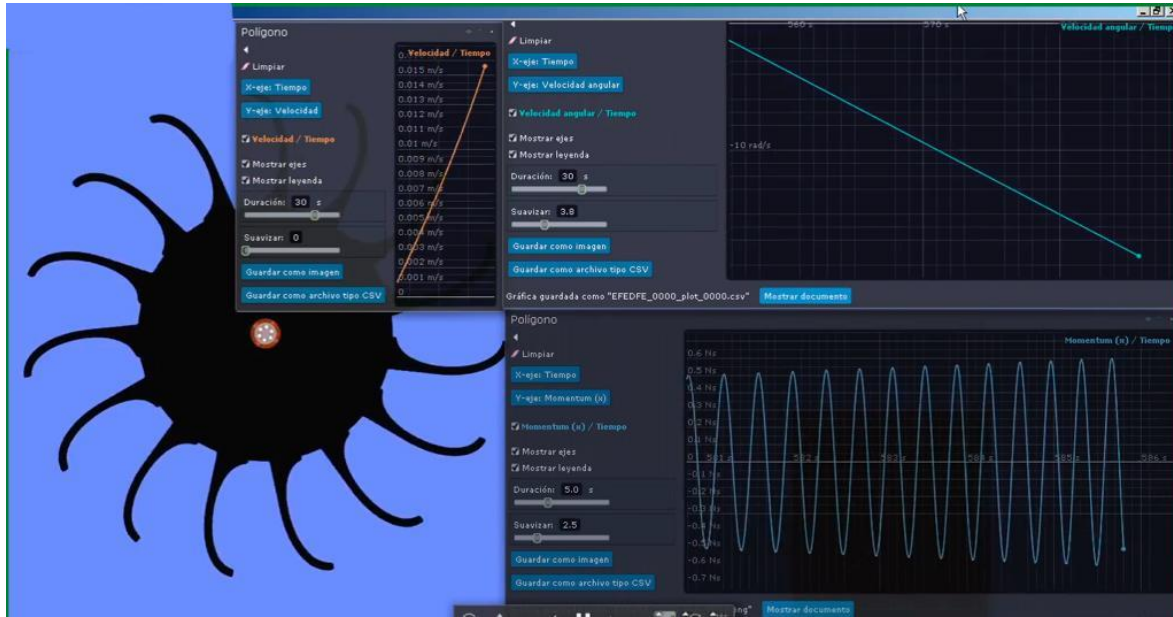
Fuente 83 Elaboración Propia



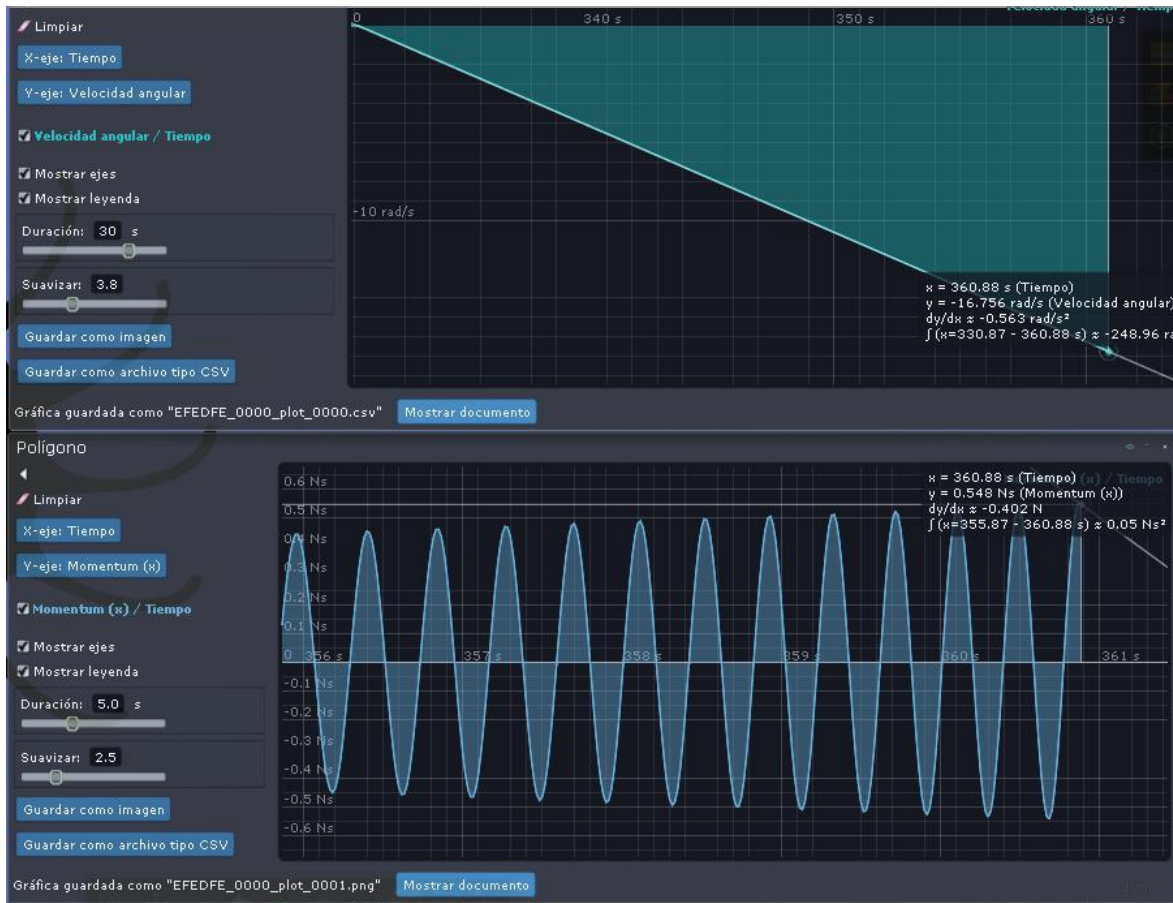
Fuente 84 Elaboración Propia



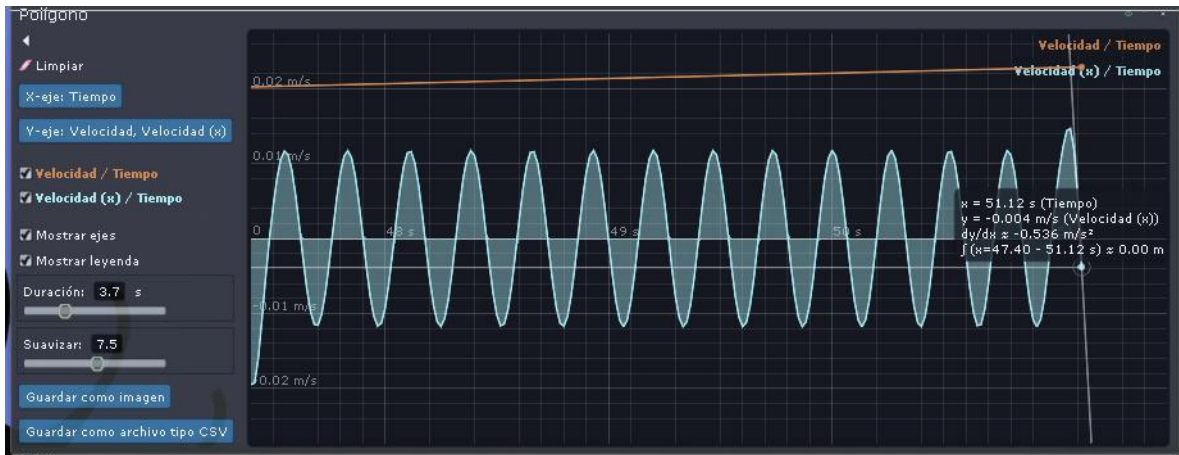
Fuente 85 Elaboración Propia



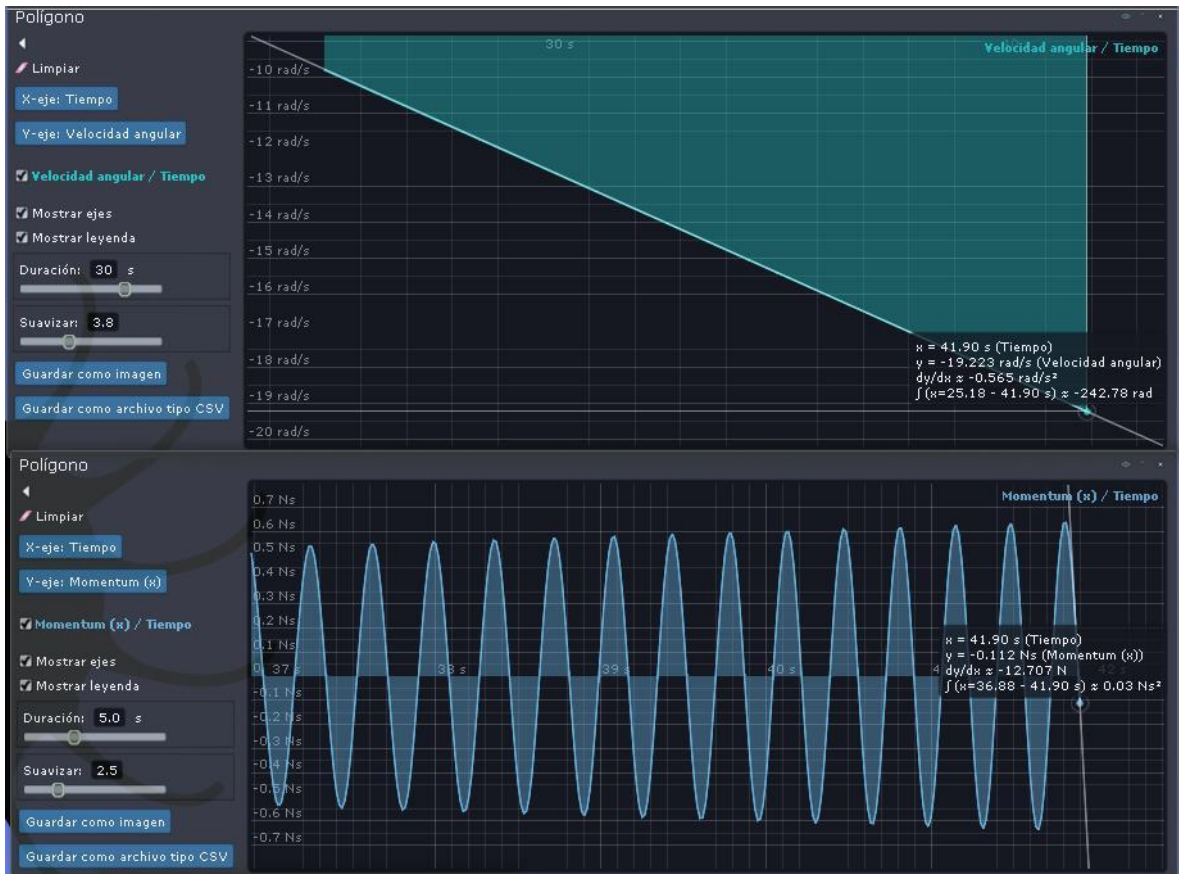
Fuente 86 Elaboración Propia



Fuente 87 Elaboración Propia



Fuente 88 Elaboración Propia



Fuente 89 Elaboración Propia

4.3.4. Conclusión del Objetivo 3

Basado en el conocimiento adquirido en esta investigación sobre la hidrología de Colombia, se pudo determinar el prototipo adecuado para el aprovechamiento de la generación de energía a través de la fuerza que el Río Piedra produce; de esta forma con este diseño pequeño ajustable a las necesidades de los hogares de la región; esto puede conseguir que se reduzca un poco el consumo de combustible que es utilizado en los hogares, además del ruido que provoca una planta eléctrica convencional. Concretamente esta investigación con su base teórica desarrolla una modelación en el Software Solidword validando su diseño caracterizando el micro generador como eficiente para la función casera de abastecer de energía eléctrica a una vivienda.

De este modo se desarrolló un prototipo turbina Pelton teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos obtenidos de esta región La turbina puede ser construida con materiales comerciales y de bajo costo, y el suministro de agua puede ser de bajo caudal, se tiene como una alternativa viable para aquellas regiones apartadas o con acceso restringido a las industrias que son operadores de transmisión del recurso eléctrico convencional.

4.4. Determinar los costos de fabricación de una turbina de baja potencia para generar energía hidráulica para el abastecimiento de viviendas residenciales en la Sierra Nevada de Santa Marta.

Con el fin de poder determinar los costos de materiales de fabricación de la Turbina Pelton y demostrar que los componentes que la integran son económicos y de buena calidad tenemos que conocer la fluctuación que tiene la tasa representativa del mercado o el TRM y a su vez conocer en el mercado extranjero modelos parecidos los cuales serán los competidores de nuestro prototipo.

4.4.1. Tasa Representativa del Mercado (TRM)

Siendo esta el valor monetario que se utiliza para realizar la finalización de una transacción, “la TRM se calcula con base en las operaciones de compra y venta de divisas entre intermediarios financieros que transan en el mercado cambiario colombiano, con cumplimiento el mismo día cuando se realiza la negociación de las divisas” (banrep.gov.co, 2021). Para determinar los cálculos del proyecto se toma la tasa del 30 de Octubre en 3.784,44

Ilustración 79 TRM



Fuente 90 (banrep.gov.co, 2021).

Nota: Comportamiento de la TRM en el tiempo.

4.4.2. Costo Turbina Pelton

En el mercado existen Turbinas Generadoras de energía para la comparación se toman los modelos de las turbinas Pelton que hay en el mercado.

Tabla 6 Precio de Turbinas Pelton en el Mercado

| Tipo | Valor | Web |
|------|-------|-----|
|------|-------|-----|

| | | |
|---|------------------------------|---|
| La generadora hidroeléctrica 10 kVA Pelton turbina generadora | US \$ 6.600,00 - 12.000,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_10kVA-Hydro-Generator-Pelton-Generator-Turbine-Price_osgoniurg.html |
| Alternativa Hydro Turbina generadora de energía de agua de 100kw 380V | US \$ 66.000,00 - 160.000,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_Alternative-Hydro-Water-Power-Generator-Turbine-Wheel-100kw-380V_osergsurg.html |
| Mini Tubular hidroeléctrica generador de turbina de agua 10Kw | US \$ 6.000,00 - 50.000,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_Mini-Hydroelectric-Tubular-Water-Turbine-Generator_eruryuryy.html |
| Turgo generador de energía eléctrica 100kw | US \$ 35.000,00 - 120.000,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_Turgo-Water-Turbine-Electric-Generator-for-Sale-of-Chinese-Manufacturer_ouhnusnog.html |
| Mini 100kw Mpeller turbina Pelton y de la turbina Pelton 50kw | US \$ 12.800,00 | https://es.made-in-china.com/productSearch?keyword=turbina+pelton+50kw&encodeCateCode=&inputkeyword=&type=Product&currentTab=1&historywords=Sus+Palabras+claves+Recientes&currentCat=&currentRegion=&currentProp=&submitPageUrl=&parentCat=&otherSearch=&currentAllCatalogCodes=&sgsMembership=&memberLevel=&topOrder=&size=&more=m%C3%A1s&less=Menos |
| Generador de energía de la turbina Pelton Turbina de Agua de 10kw a 250 kw | US \$ 8.000,00 - 66.000,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_Power-Generator-Pelton-Turbine-Water-Turbine-10kw-to-250kw-for-Free_osoooinhg.html |
| Cabeza de 100m de 50kw - 100kw Pelton turbina para planta de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas | US \$ 19.520,00 | https://es.made-in-china.com/co_cdforster/product_100m-Head-50kw-100kw-Pelton-Turbine-for-Small-Hydro-Power-Plant_oseouieog.html |

Fuente 91 (es.made-in-china.com, 2021)

Nota: Modelos en el mercado extranjero de Turbinas Pelton.

4.4.3. Presupuesto de Fabricación Turbina Pelton

Para poder crear este prototipo se estipula un presupuesto de creación y se relacionan los materiales para su construcción.

Tabla 7 Presupuesto de Fabricación Turbina Pelton

| Cantidad | Detalle | Valor \$ Unidad | Valor \$ | Valor US |
|----------|---------|-----------------|----------|----------|
| 1 | Rodete | 220.000 | 220.000 | 58,13 |

| | | | | |
|--------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 15 | Cuchara de Impulso | 180.000 | 2.700.000 | 713,45 |
| 1 | Carcasa Inferior | 450.000 | 450.000 | 118,91 |
| 1 | Carcasa Superior | 380.000 | 380.000 | 100,41 |
| 1 | Inyector o pipeta | 150.000 | 150.000 | 39,64 |
| 2 | Chumacera VPS-216 | 90.000 | 180.000 | 47,56 |
| 1 | Acople fluido 3 lit/s | 25.000 | 25.000 | 6,61 |
| 1 | Generador | 4.500.000 | 4.500.000 | 1.189,08 |
| 1 | Soldadura | 180.000 | 180.000 | 47,56 |
| 1 | Pintura | 220.000 | 220.000 | 58,13 |
| 1 | Tornillos | 30.000 | 30.000 | 7,93 |
| Total | | 6.425.000,00 | 9.035.000,00 | 2.387,41 |

Fuente 92 Elaboración Propia

Nota: Se detalla el presupuesto de fabricación.

4.4.4. Conclusión del Objetivo 4

En cuanto a lo abordado con anterioridad se determinó los costos para la construcción de la turbina Pelton, se demostro que los costos beneficios son muy favorables para la aplicación siendo estos económicos, nos permitió conocer otros prototipos en otros países, teniendo en cuenta la tasa representativa del mercado, se comparan algunas turbinas Pelton que existen en el mercado en cuanto a los precios, se dispone un presupuestado para su construcción eligiéndose los materiales.

Como prototipo el cual es suficiente para abastecer el consumo normal de una vivienda sus beneficios es entregar la potencia necesaria para suplir la necesidad del cliente en su vivienda. Algo interesante de esta investigación fue el costo de fabricación del prototipo el cual comparado en el mercado con diferentes tipos de generadores de energía eléctrica estuvo por debajo. Esta disminución en ellos se logró ya que se utilizaron elementos reciclables. Dándole a las familias de la zona un mejor estilo de vida.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Este tipo de investigaciones la cual ha apoyado el beneficio de darle al ser humano la opción de poder suplir unas de sus necesidades básicas de comodidad, en el cual como futuros ingenieros mecánicos podemos suplirla, con este prototipo de turbina Pelton casero el cual generará 1.5Kw de energía eléctrica, suministrando a una vivienda el soporte necesario de abastecimiento en los elementos básicos que la componen; Tras ese análisis desarrollado, podemos deducir que este proyecto se enfoca en la parte económico-ambiental dirigido a cumplir con las necesidades básicas de conexión en las viviendas lejanas ubicadas en la Sierra nevada de Santa Marta donde la energía eléctrica convencional no llega y es generada con motobombas a base de combustible generando monóxido de carbono que sube a la superficie.

Además de ser un prototipo que ayudara en el cuidado del planeta al no generar gases tóxicos de efecto invernadero y según las simulaciones desarrolladas del mismo, además de la información recolectada del afluente hídrico Rio Piedra, demostró que es factible su construcción a un bajo costo, todo esto impulsara el buen desarrollo económico promoviendo el turismo en la región impactando positivamente en el progreso a sus habitantes.

5.2. Recomendaciones

Este proyecto es muy importante en su implementación por ser un sistema amigable con el ambiente en la no utilización de combustibles derivados del petróleo, además satisface las necesidades básicas normales de conexiones eléctrica en viviendas, pudiendo utilizar por primera vez en sus casas elementos como bombillos para la iluminación, licuadoras,

televisor hasta una nevera mediana, es por eso que gracias a los ricos recursos hídricos que allí se encuentran podemos desarrollar este prototipo..

6. Bibliografía

acolgen.org.co. (2021). Obtenido de <https://www.acolgen.org.co/>

areatecnologia.com. (2020). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

banrep.gov.co. (2021). Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

Beltran, J., Huertas, G., & Riaño, J. (2017). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15440/1/Generaci%C3%B3n%20de%20Energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20con%20fuentes%20alternativas.pdf>

Beltran, Y. (2020). Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17779/1/2020_estudio_localizacion_lagos.pdf

bp.com. (2021). Obtenido de https://www.bp.com/es_es/spain/home/noticias/notas-de-prensa/bp_Statistical_Review_of_World_Energy_2021.html

celsia.com. (2021). Obtenido de <https://www.celsia.com/es/quienes-somos/centrales-hidroelectricas/?country=colombia-centrales-hidroelectricas>

CEPAL. (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. Santiago: Naciones Unidas, Santiago.

ceupe.com. (2020). Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/turbinas-de-accion.html>

ceupe.com. (2020). Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/turbinas-de-reaccion.html>

Colina, I., & Ordoñez, L. (2017). Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14646/1/2017_diseno_construccion_caracterizacion.pdf

colparques.net. (2021). Obtenido de <http://www.colparques.net/SIERRA>

como-funciona.co. (2021). Obtenido de <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>

- corpamag.gov.co. (2017). Obtenido de https://www.corpamag.gov.co/archivos/riesgosAmbientales/2017_Doc05_Inundaciones.pdf
- cvc.gov.co. (2018). Obtenido de https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/InfoRendimientos_2018_0.pdf
- Chica, Y. (2017). Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13109/ChicaRomeroYilmarAlexander2018.pdf;jsessionid=E5675FBD5CD797467F767A2705B0BFE1?sequence=1>
- ecured.cu. (2021). Obtenido de https://www.ecured.cu/Sierra_Nevada_de_Santa_Marta
- eltiempo.com*. (2018). Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-128543>
- eltiempo.com*. (2021). Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13107369>
- enelgreenpower.com*. (2020). Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/turbina-hidroelectrica>
- energiyahoy.com*. (2020). Obtenido de <https://energiyahoy.com/2020/06/01/turbinas-hidroelectricas-y-sus-aplicaciones-ii-de-viii-2/>
- energiyahoy.com*. (2021). Obtenido de <https://energiyahoy.com/2021/02/04/irena-busca-impulsar-energia-hidroelectrica-sostenible/>
- Fernández, P. (2018). Obtenido de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf
- Forero, J., Moreno, J., & Neuta, S. (2019). Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboraci%C3%B3n_de_un_prototipo_de_turbina.pdf
- García, L. (2016). Obtenido de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Garcia-Hernandez-Luis-Salvador.pdf>
- García, L. (2016). Obtenido de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Garcia-Hernandez-Luis-Salvador.pdf>
- google.com/maps*. (2021). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Sierra+Nevada+de+Santa+Marta/@11.0207136,->

73.9536131,10z/data=!4m5!3m4!1s0x8ef52666f2cf342b:0x6319df3735fd572b!8m2!3d10.8292413!4d-73.6923443

Guzman, N., & Valdes, N. (2020). Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9479/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20HIDROEL%C3%89CTRICA%20%20BASADO%20EN%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DEL%20MODELO%20PASO%20RIO%20ESCONDIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ideam.gov.co. (2021). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia>

informesanuales.xm.com.co. (2017). Obtenido de <http://informesanuales.xm.com.co/2017/SitePages/operacion/3-5-Capacidad-efectiva-neta.aspx>

investigaliacr.com. (2020). Obtenido de <https://investigaliacr.com/investigacion/nueve-consejos-practicos-para-desarrollar-el-marco-teorico-o-de-referencia-de-una-investigacion/>

larepublica.co. (2016). Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/gobierno-invirtio-1600-millones-en-hidroelectrica-de-la-sierra-nevada-de-santa-marta-2430866>

larepublica.co. (2021). Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/la-demanda-de-energia-viene-presentando-senales-de-recuperacion-en-marzo-de-2021-3158924>

members.tripod.com. (2019). Obtenido de https://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm

meteoblue.com. (2021). Obtenido de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/sierra-nevada-de-santa-marta_colombia_3673867

metropol.gov.co. (2019). Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/Energias-Renovables.aspx>

Molina, B. (2020). Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10999/Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortega, J., & Valdivia, G. (2018). Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2940/Jibrail%20Ortega_Gabriel%20Valdivia_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Osorio, I. (2017). Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11732/OsorioLondo%C3%B1o_lverson_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ossberger.de*. (2020). Obtenido de <https://ossberger.de/es/tecnologia-hidraulica/turbina-ossbergerr-de-flujo-cruzado/>
- prosierra.org*. (2021). Obtenido de <http://www.prosierra.org/index.php/la-sierra-nevada/la-sierra-parte-1/geografia>
- reporteroindustrial.com*. (2017). Obtenido de <https://www.reporteroindustrial.com/temas/Tendencias-en-sistemas-hidraulicos-y-neumaticos+121935?pagina=2>
- researchgate.net*. (2020). Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Eschema-de-funcionamiento-de-la-turbina-Pelton_fig3_323907454
- rhydroingenieros.com*. (2021). Obtenido de <https://rhydroingenieros.com/blog/determinar-la-curva-hipsometrica-en-qgis>
- santamarta.gov.co*. (2020). Obtenido de https://www.santamarta.gov.co/sites/default/files/diagnostico_anexodimensionambiental.pdf
- semana.com*. (2021). Obtenido de <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/generacion-de-energia-en-colombia-aumento-357-en-junio-de-2021/202108/>
- solar-energia.net*. (2021). Obtenido de <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/turbina-francis>
- solar-energia.net*. (2021). Obtenido de <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/kaplan>
- Vargas, J., & Velásquez, C. (2016). Desarrollo del prototipo de un hidrogenerador eléctrico como alternativa de generación de energía limpia en zonas rurales. *Ingeniare*, N^o. 20, 91-101.
- victoryepes.blogs.upv.es*. (2019). Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/15/turbina-pelton/>
- weatherspark.com*. (2021). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/23482/Clima-promedio-en-Santa-Marta-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

