



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Diseño y simulación de un prototipo de generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica en el distrito de Usquil - Otuzco - 2020”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Bacilio Corro, Vanesa Alejandra (ORCID: 0000-0002-4354-9023)

Inuma Alvan, David (ORCID: 0000-0002-1240-5959)

ASESOR:

Mg. Garzon Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO - PERÚ

2020

Dedicatoria

La presente investigación está dedicada en primer lugar a nuestros padres, quienes son nuestro motivo de seguir adelante. Así también, a nuestros compañeros de vida, por su cariño, ánimo y comprensión en cada momento y ser parte de nuestras metas.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestros padres y tíos por el apoyo económico brindado cuando lo hemos necesitado para seguir estudiando, de la misma manera a nuestros compañeros de vida, ya que sin su apoyo no hubiésemos podido continuar con normalidad. Por último, agradecer a nuestro asesor, por aportar sus conocimientos y paciencia para la culminación efectiva de la presente investigación.

Índice de contenidos

I.	INTRODUCCIÓN	10
II.	MARCO TEÓRICO	15
III.	MÉTODO	27
	3.1. Tipo y diseño de investigación	28
	3.2. Variables y operacionalización	28
	3.3. Población, muestra y muestreo	28
	3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
	3.5. Procedimientos	30
	3.6. Método de análisis de datos	31
	3.7. Aspectos éticos	33
IV.	RESULTADOS	34
V.	DISCUSIÓN	62
VI.	CONCLUSIONES	64
VII.	RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS	69

Índice de tablas

Tabla 1. Validez y confiabilidad de instrumentos.....	30
Tabla 2. Fases del desarrollo del Informe de Investigación	30
Tabla 3. Promedios mensuales de la velocidad de viento y temperatura de los años 2017, 2018 y 2019.....	35
Tabla 4: Composición de la Aleación de Aluminio EN – AW 1350a.....	37
Tabla 5. Determinación de Energía Anual y Mensual producida en el SolidWorks Simulation.....	41
Tabla 6: Simulación de la prueba estática de las modificaciones.....	42
Tabla 7: Simulación de la prueba estática de la aleta del rotor	43
Tabla 8: Parámetros de las tres modificaciones del generador eólico diseñados, en el SolidWorks	43
Tabla 9. Análisis de la prueba de Rachas	45
Tabla 10. Análisis de la Prueba de normalidad	46
Tabla 11. Análisis estadístico de Levene	48
Tabla 12. Prueba de rachas	51
Tabla 13. Pruebas de normalidad	51
Tabla 14. Prueba de rachas	55
Tabla 15. Prueba de normalidad	56
Tabla 16. Análisis estadístico de Levene	58
Tabla 17. Determinación de la modificación más optima según la prueba estática	60
Tabla 18. Determinación de la modificación más óptima según la prueba de simulación de flujo.....	61
Tabla 19. Matriz de operacionalización de variables.....	83

Índice de figuras

Figura N°1: Tipo de rodamiento seleccionado para el rotor	38
Figura N°2: Vista alzada y vista en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 1	38
Figura N°3: Vista alzada y en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 2.....	39
Figura N°4: Vista alzada y vista en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 3	39
Figura N°5. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis	49
Figura N°6. Comparación múltiple de las tres modificaciones	50
Figura N°7. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis	54
Figura N°8. Comparación múltiple de las tres modificaciones	54
Figura N°9. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis	59
Figura N°10. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis	59
Figura N°11. Tipos de generadores eólicos de eje vertical	87
Figura N°12. Coeficiencia de Potencia (C_p) vs Tip-Speed Ratio (TSR) para diferentes tipos de Turbinas eólicas.....	87
Figura N°13. Sistema de conversión de energía.....	88
Figura N°14. Ejemplo de la Base de datos del SENAMHI de enero del 2017..	89
Figura N°15. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de enero de 2017	90
Figura N°16. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de febrero de 2018	90
Figura N°17. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de marzo de 2019	91
Figura N°18: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la polea para los ejes de los rotores.....	96
Figura N°19: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa superior de los rotores.....	97
Figura N°20: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa inferior de los rotores.....	98
Figura N°21: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de los rotores.....	99
Figura N°22: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa inferior de los rotores.....	100
Figura N°23: Diámetro del rotor.....	101
Figura N°24: Altura del área de barrido.....	101

Figura N°25: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la cola del generador eólico	102
Figura N°26: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de los soportes de la cola del generador eólico	103
Figura N°27: Diseño en CAD en el programa SolidWorks del Eje del generador de la Modificación 1	104
Figura N°28: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 1	105
Figura N°29: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 1	106
Figura N°30: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 2	107
Figura N°31: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 2	108
Figura N°32: Diseño en CAD en el programa SolidWorks del eje del generador de la Modificación 2.....	109
Figura N°33: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 3	110
Figura N°34: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 3	111

Resumen

El problema de la investigación fue ¿Es factible el diseño y simulación del generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica de baja potencia? El objetivo de la investigación fue Diseñar y simular un generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica. La investigación es de enfoque cuantitativo, el tipo de la investigación es aplicada, el tipo de diseño es no experimental, transversal y de tipo descriptivo, la población y muestra es el generador eólico de eje vertical, además, el tipo de muestra es no probabilística. El tipo de muestreo es por conveniencia. Las técnicas utilizadas en este proyecto fueron la observación y análisis de documentos. Los instrumentos usados fueron: Programa SolidWorks, Ficha de recolección de datos SolidWorks y Ficha de recolección de las condiciones climáticas de Usquil. El procedimiento seguido para la investigación se dio en las siguientes fases: primero la recolección de la información sobre generadores eólicos, luego, el manejo de la información de las condiciones climatológicas del Distrito de Usquil, desde el año 2017 al 2019, seguido del diseño del prototipo del generador eólico, a continuación, la simulación del prototipo con sus tres variaciones y finalmente la Selección de la modificación del prototipo más óptima. El análisis de los datos obtenidos del software SolidWorks se realizaron en el Programa SPSS 22, utilizando el análisis de varianza ANOVA con el cual se determinó la modificación más óptima de las tres modificaciones del prototipo diseñado.

Palabras Clave: generador eólico múltiple, programa SolidWorks, velocidad de viento, energía eólica, energía eléctrica.

Abstract

The problem of the study was Is it feasible to design and simulate the multiple vertical axis wind generator using SolidWorks software for low power electrical power generation? The purpose of the study was to Design and simulate a multiple vertical axis wind generator using SolidWorks software for the generation of electrical energy. The research has a quantitative approach, the type of research is applied, the type of design is non-experimental, cross-sectional and descriptive, the population and sample is the vertical axis wind generator, in addition, the type of sample is non-probabilistic. The type of sampling is for convenience. The techniques used in this project were the observation and analysis of documents. The instruments used were: SolidWorks program, SolidWorks data collection sheet and Usquil weather conditions collection sheet. The procedure followed for the investigation took place in the following phases: first the collection of information on wind generators, then, the management of the information on the weather conditions of the District of Usquil, since year 2017 to year 2019, followed by the design of the prototype of the wind generator, then the simulation of the prototype with its three variations and finally the Selection of the most optimal prototype modification. The analysis of the data obtained from the SolidWorks software was carried out in the SPSS 22 Program, using the ANOVA analysis of variance with which the most optimal modification of the three modifications of the designed prototype was determined.

Keywords: multiple wind generator, SolidWorks program, wind speed, wind power, electric power.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas nuestro planeta ha sufrido un gran impacto en su equilibrio natural. La industrialización y el aumento de la población mundial, incrementó el uso de los combustibles fósiles como principal fuente energética para el desarrollo de los países (IPCC, 2014, p.4-6) trayendo como consecuencia la emisión desmedida de contaminantes, gases de efecto invernadero. El principal contaminante originado por los combustibles fósiles es el CO₂ que representa el 65% de los gases de efecto invernadero y si continúa sin ningún cambio, se pronostica que para el 2100 la temperatura media de la superficie terrestre incrementará de 3.7 °C a 4.8 °C (IPCC, 2014, p. 21) llegando a ser un problema crítico para la salud humana y el bienestar de los seres vivientes. Las emisiones de CO₂ para el 2018 y 2019 fueron dominados por China, EE. UU y la Unión Europea (R B Jackson et al, 2019, p. 4).

El incremento del desarrollo científico ha propiciado el desarrollo de nuevas tecnologías económicas y libres de emisiones de carbono, mejorando de esta manera la eficiencia energética y la dependencia de combustibles fósiles, denominándose esta fórmula como “teoría de demanda”, cuanto mayor sean las alternativas en costo beneficio menor será el consumo de combustibles fósiles (Covert, Greenstone, and Knittel, 2016, p. 126). En los últimos años ha habido un incremento del uso de energías renovables, la naturaleza ofrece muchos recursos entre las cuales se tiene los rayos del sol, el aire, el agua, etc., y que se pueden aprovechar para generar energía renovable, sin contaminar el ambiente y ayudando con la preservación de la misma. Según reportes de la Agencia Internacional de la Energía, la producción eléctrica a partir de energías renovables sin contar la hidroeléctrica fue de 156.082 mil millones de kilovatio hora en 1990 a 1,645 billones para el 2015 en el mundo (OECD/AIE, 2014).

Al último trimestre del 2020, el consumo de petróleo ha tenido una caída histórica debido al menor consumo de combustible por el estado de cuarentena causado por el COVID-19, además por la saturación de la oferta de petróleo (Barría, 2020, “Caída del precio del petróleo”, párr. 4), estos escenarios mundiales que evidencian la inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles sugieren también el cambio de la matriz energética en el mundo y el Perú.

La propuesta energética del Estado Peruano 2010 – 2040 (MINEM, 2010), sugiere en su objetivo que la matriz energética sea diversificada haciendo énfasis en las energías renovables con un mínimo impacto en el medio ambiente, además de la universalidad del acceso al suministro principalmente en las zonas rurales y marginales.

En el Perú se registró, hasta el 2015, una capacidad instalada de generación eléctrica de 12 GW representando el 0.2% a nivel mundial, la demanda energética creció un 200% de 10.7 TWh en 1992 a 42, 3 TWh en el 2015 (OSINERGMIN, 2016, p. 222), para enero del 2020 la producción total de energía de los Sistemas Aislados sumado al del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional fue de 4 956 GWh incrementándose a un 2.4% con respecto a enero del 2019 y la producción energética nacional anual del 2019 fue un total de 56 967 GWh, la generación por fuentes hídricas representa un 68% (MINEM, febrero 2020). En cuanto a la producción de energía proveniente de fuentes eólicas fue 1 647 GWh en el 2019 incrementándose en un 10% con respecto al del 2018 (MINEM, febrero 2020). Estos números indican un incremento en la producción energética, además de incremento en los recursos energéticos renovables, sin embargo, aún existen desigualdades en las zonas rurales.

La población rural en el Perú es de aproximadamente 6 millones 69 mil 991 personas que representan el 20.7 % de la población en el Perú (INEI, 2018, p. 16). Según el Plan Energético Nacional 2014 – 2025 del MINEM, menciona que aún existe en el Perú más de 2,2 millones de personas de las zonas rurales que no cuentan con energía y se proyecta proveerlos por medio de la extensión de las redes eléctricas y sistemas no convencionales, con el objetivo de alcanzar la cobertura al 100% (MINEM, 2014, p. 8).

La falta de energía eléctrica en muchas familias dificulta la realización de las actividades diarias, además propicia el uso de mecheros y velas que pueden afectar a la salud de las personas y contribuir al deterioro del medio ambiente; asimismo, esta deficiencia reduce el acceso a los canales de comunicación en estas familias. (RPP, 2012, “Consecuencias de la falta de electrificación”, párr. 5).

En los hogares rurales del Perú, el consumo de electricidad es relativamente bajo, alcanzando un promedio mensual de 27 kWh. Una vivienda rural en el Perú utiliza

en promedio tres luces para su iluminación, al margen del tipo de lámpara utilizada. Entre los electrodomésticos utilizados comúnmente se encuentran la radio, el televisor y la plancha eléctrica (Meier et al., 2010, p. 31-32).

El distrito de Usquil se encuentra ubicada en la provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. La distancia de Trujillo a Usquil es de 119 km. y el tiempo estimado para llegar es de 4 horas; tiene una altitud de 2500 a 3800 msnm, la temperatura mínima es de 8 °C y la temperatura máxima anual es de 20 °C; presenta un clima de templado a frío, con escasa humedad y lluvias en el verano (enero a marzo). (Municipalidad distrital de Usquil, 2015, p. 20-22).

El Censo Nacional del 2017 registró una población de 21 388 habitantes, además cuenta con 8 764 viviendas. El Distrito de Usquil tiene 123 centros poblados rurales (INEI, 2017, p. 1193). El suministro energético está a cargo de Hidrandina S. A., mediante Resolución Directorial N°119-2016-MEM-DGE, se aprobó la solicitud de concesión de energía eléctrica de este distrito a dicha empresa. (El Peruano, 2018, p. 39)

Algunos caseríos del distrito cuentan con servicio de energía eléctrica de manera parcial, es decir existen sectores que tienen energía eléctrica y otros que no, teniendo como consumo de fuentes de energía alternativas las, velas, kerosene, baterías, pilas, entre otros. (Municipalidad distrital de Usquil, 2015, p. 14).

La presente investigación está enfocada al diseño y simulación de un generador eólico de baja potencia mediante el software SolidWorks para contribuir al suministro de energía eléctrica a la población del distrito de Usquil.

Ante esta problemática se planteó el problema de investigación: ¿Es factible el diseño y simulación del generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica de baja potencia?

Un generador eólico es un tipo de energía alternativa que permite obtener electricidad y calor, que junto a las baterías se podrá hacer funcionar la mayoría de los aparatos eléctricos de una vivienda (Bridgewater, 2009, p. 60), por todo lo mencionado anteriormente, la justificación del presente proyecto de investigación se basa en la necesidad de contribuir con el acceso de electricidad al distrito de

Usquil, por ser un recurso importante para la realización de sus actividades diarias y la mejora de su estilo de vida.

La realización del proyecto será beneficioso para abastecer de energía eléctrica a la población, ya que, el generador eólico fue diseñado y simulado tomando como referencia las características meteorológicas del distrito, lo que hará que el generador se adapte eficientemente a ese ambiente.

La aplicación de energía renovable se considera la mejor opción para desechar los combustibles fósiles, debido a que es, abundante, sostenible y amigable con el medio ambiente (Rezaeiha et al., 2020, p. 1), por ende, la realización del proyecto contribuirá con la preservación del medio ambiente, pues se hará uso del recurso aire de manera natural con lo cual no hay deterioro del ambiente.

El objetivo general de la investigación fue Diseñar y simular un generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- **OE1:** Diseñar un prototipo de generador eólico múltiple de eje vertical y aplicarle tres modificaciones con el software SolidWorks.
- **OE2:** Simular a cada una de las modificaciones del prototipo diseñado en el software SolidWorks Simulation.
- **OE3:** Determinar la modificación más óptima del prototipo diseñado del generador eólico múltiple de eje vertical con el software SolidWorks.

La hipótesis planteada en la investigación, fue: Sí es factible el diseño y simulación del generador eólico múltiple de eje vertical mediante el software SolidWorks para la generación de energía eléctrica de baja potencia.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describirán los antecedentes que han ayudado al desarrollo de la investigación, además de toda la teoría relacionada a la misma.

Babayeva et al. (2020, p. 605), realizaron un análisis de la posibilidad de la utilización de turbinas eólicas en base al efecto Magnus, además del análisis de rendimiento de un generador eléctrico y flujo de viento mínimo que se necesita para cubrir los costos del generador. Sus resultados indicaron que las turbinas eólicas son potencialmente eficientes de manera energética, es decir, hay producción de energía a pesar de que la velocidad de viento sea relativamente pequeña.

Palli (2019, p. 87), su tesis consistió en el “Análisis y Simulación de la variación de las velocidades para un generador de 20 kW con el software SolidWorks”. Entre sus objetivos tuvo: Plantear la variación del viento con el software SolidWorks y aplicar el software para realizar el análisis y la simulación de la variación de las velocidades para un aerogenerador de 20 kW. Los datos de las velocidades del viento fueron simulados en el programa SolidWorks y además analizados de manera estadística en tablas de frecuencia. Según los análisis con el software SolidWorks pudo concluir que la velocidad de viento de 4 m/s es correspondiente a la energía de 10.32 kW y que para la potencia de 20 kW la velocidad requerida fue de 5 m/s.

Bernal (2019), realizó un diseño de un mini aerogenerador de 9KW para una zona rural en Colombia, utilizando un generador sincrónico de imanes permanentes el cual sustituye el bobinado inductor por un sistema de imanes, encargados de generar un campo de excitación constante, los materiales empleados para ello fueron un acero SAE 4340 usado para el eje de transmisión y aluminio 6061 para los brazos, los discos y los ángulos (p. 34-35).

Segaghat (2019, p. 626-628), la importancia de su investigación se debió a la determinación de las fuerzas de elevación y arrastre de los cilindros circulares rotativos. La teoría del momento del elemento de la pala (BEM) está formulada para las turbinas eólicas Magnus. Observaron que el ángulo relativo de incidencia del viento y el coeficiente de potencia local del cilindro Magnus son funciones independientes de la relación de giro. Debido a los resultados experimentales sobre el arrastre y elevación de los cilindros giratorios, sugieren que el valor óptimo de la

relación de arrastre a elevación sea igual a 0.2, que ofrece el coeficiente de potencia de 0.35 en la relación de velocidad de la cuchilla de la unidad.

Liu et al. (2019, p. 624), su estudio tuvo como objetivo identificar las barreras técnicas, retos de diseño y el porvenir de los VAWT en el mercado de generadores eólicos, para ello realizaron una exhaustiva comparación entre VAWT y HAWT en distintas secciones como, por ejemplo, el rendimiento aerodinámico, la eficacia y la capacidad de arranque automático; concluyendo que el principal impedimento para los VAWT es la aerodinámica cíclica de los rotores, además de que el material compuesto reforzado debe usarse para maximizar la resistencia estructural para resistir las cargas de fatiga, finalmente que hoy en día, tanto en el área urbana como rural, los kilovatios VAWT comercializados son cada vez más famosos, en parte gracias a sus formas estéticas.

Flores (2019, p. 4, 17), realizó un “Diseño de un aerogenerador que utilice bajas velocidades de viento para las zonas altoandinas de Arequipa [...]”. Para ello, primero definió el sistema eólico adecuado, luego determinó la potencia generada, las características técnicas y finalmente la optimización del rotor eólico. Su conclusión se dio en la comprobación de su hipótesis al diseñar aerogenerador para bajas velocidades de viento, es decir de 3 a 5 m/s.

Chávez-Cano et al. (2019, p. 32), realizó un “Diseño y simulación de un generador eólico vertical”, su objetivo principal fue el diseño y simulación de un generador eólico Savonius de baja potencia con el programa SolidWorks. Para eso, primero diseñó un generador de tipo Savonius que pueda ser capaz de operar con una velocidad del viento de 1.2 m/s a 2.5 m/s. La simulación de flujo fue realizada mediante el programa SolidWorks observándose el comportamiento del sistema afectado por el flujo de aire, que colisiona con las palas del generador donde se muestra la turbulencia. Llegaron a la conclusión de que las simulaciones en el software muestran el comportamiento de generador eólico en la realidad y por lo tanto poder construir dicho prototipo en el futuro.

Velarde (2017, p. 50, 71) en su tesis “Diseño y simulación de aerogeneradores para optimizar la generación de energía eléctrica en la provincia de Cajamarca - 2017”, tuvo como objetivos el diseño y simulación de cuatro prototipos de aerogeneradores

mediante el programa SolidWorks, bajo las condiciones climáticas de la provincia de Cajamarca. Su conclusión fue que la fuerza del viento de Cajamarca es de 30 Pa, además que el prototipo evaluado debe tener un generador trifásico de imanes permanentes con una potencia entre 5 kW y 6 kW de salida, para obtener un 86% de eficiencia.

Richmond-Navarro (2016, p. 49) Analizó el “Desempeño de turbinas eólicas Magnus de eje horizontal que utiliza cilindros en rotación, en función de sus variables geométricas y cinemáticas”, concluyendo que la turbina Magnus funciona mejor con un bajo número de cilindros, debido a que el aumento de estos reduce el máximo coeficiente de potencia que pueda alcanzar; por otro lado, la eficacia de este tipo de turbinas tiene proporción directa al diámetro del cilindro para un radio fijo de turbina; además de que la turbina tipo Magnus trabaja de manera óptima a velocidades angulares mínimas comparados a los aerogeneradores convencionales de eje horizontal.

Hernández et al. (2016, p. 123). “Construyeron un generador eólico con material reciclable para energía eléctrica a escala local”. La implementación de un generador eólico con materiales reciclables ayuda a determinar la factibilidad del aprovechamiento del recurso aire para la generación de energía eléctrica considerando las características meteorológicas, utilizando un multímetro, un anemómetro, entre otros. El aerogenerador funciona de tal manera que el viento es transformado de energía mecánica rotacional a energía eléctrica, al mover las hélices, las cuales están conectadas a un generador.

Milotinovic et al. (2015, p. 164), efectuaron un estudio de optimización de las variables de control para un sistema de producción de energía eólica en el aire. El sistema abarca un módulo teletransportado de aspecto de cilíndrico giratorio flotante, en la que la rotación en una corriente de viento induce el ascenso aerodinámico fundamentado en el efecto Magnus, demostrando que el ciclo óptimo de producción de energía del sistema de energía eólica aerotransportada basado en el efecto Magnus debe estar en una posición lejana del cabrestante, para así producirse un trayecto vertical o ligeramente inclinado hacia arriba por un período de ciclo razonablemente largo.

Atsushi (2014), Patentó un invento de un prototipo de un generador eólico de eje vertical que aprovecha el principio del efecto Magnus, teniendo como característica principal el de contar con rotadores múltiples.

Yicheng et al. (2005, p. 1621-1626) tuvieron como objetivo comparar generadores eólicos de imanes permanentes (PM) de diferentes topologías, eligiendo siete configuraciones para dicha comparación, compuesto por máquinas de flujo radial y de flujo axial, la comparación lo realizó a siete niveles de potencia de 1 a 200 kW; concluyendo que las máquinas ranuradas de flujo axial tienen menor volumen para una potencia nominal dada, lo cual hace que la densidad de potencia sea muy alta, además que la construcción de flujo radial del rotor externo es superior a la construcción de flujo radial del rotor interno, finalmente que para la mayoría de las comparaciones, las construcciones de baja velocidad son superiores a las de alta velocidad, es decir, se prefieren generadores de imanes permanentes (PM) multipolo en la aplicación de pequeños sistemas de viento de baja velocidad sin engranajes.

Martínez (2016) en su investigación “Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica basado en la utilización de las energías solar y eólica, e integrado en el medio natural”, propuso la elaboración de un generador eólico de eje vertical tipo Savonius de dos cuerpos, hizo un diseño previo en 3d SolidWorks para ser sometido a una prueba de deformación en el complemento de Simulation del mismo software. La prueba de rendimiento energético lo realizó en un túnel de viento con el diseño a escala real, la potencia obtenida es 0.6452 W a una velocidad de viento de 4 m/s.

Se le denomina energía renovable a aquella obtenida de fuentes inagotables permitiendo un aprovechamiento indefinido en el tiempo. Entre las principales fuentes de este tipo de energía, se tienen: solar, hidroeléctrica, eólica, geotérmica, la biomasa y las energías del mar. (Jarauta, 2004, p. 6)

Energía eólica es aquella originada de la circulación de las masas de aire. No todas las masas de aire tienen la misma presión y temperatura; debido a que las radiaciones solares calientan la atmósfera de diferente forma, sólo el 2% de la energía solar que obtiene el planeta es transformada en viento. Desde el punto de

vista energético y de su disposición como suministro, el viento, posee propiedades específicas, ya que es una fuente con variaciones momentáneas, a escalas grandes y pequeñas de tiempo (González y Sánchez, 2019, p. 26)

Energía eólica es una fuente de energía renovable y limpia, deriva de la materia prima utilizada, es decir, el viento, por otro lado, el aprovechamiento de la misma no ocasiona contaminación alguna, gracias a los beneficios que genera. Visto ambientalmente, se tiene que, por cada MWh de energía eólica, se evita la expulsión de 600 Kg de CO₂, responsable del calentamiento global, 1.33 kg de SO₂, causante de lluvia ácida y 1.67 kg de NO₂, contaminantes que reducen la calidad de aire (Talayero y Telmo, 2011, p.19).

La energía eólica se obtiene a partir de turbinas eólicas, existiendo diversos tipos, permitiendo la obtención de electricidad y calor; las turbinas, al ser unas piezas de ingeniería sofisticada necesita ser monitorizada, controlada y mantenida constantemente. La eficiencia del generador eólico será efectiva según el tipo de vivienda y lugar de la zona, al igual que la turbina con respecto a la velocidad del viento (Bridgewater, 2009, p. 56).

Un generador eólico es un dispositivo capaz de transformar, en las condiciones adecuadas, a la energía cinética que está contenida en el viento, en energía eléctrica o mecánica para ser usadas. Su diseño y uso varía y se adapta a diferentes requerimientos (Talayero y Telmo, 2011, p. 69).

Los generadores eólicos se pueden clasificar según su potencia nominal: Microturbinas (<3 kW), usadas por pequeños consumidores de energía, generalmente producen electricidad para la carga de baterías de almacenamiento; también son conocidos como generadores de baja potencia; Pequeños aerogeneradores (<50 kW), cubre el mismo tipo de demanda que los anteriores, pero con mayor potencia, usados en sistemas híbridos para abastecer núcleos de población aislados combinando la energía eólica con otro tipo ya sea grupos electrógenos Diesel o fotovoltaica; Grandes aerogeneradores (<850 kW), cuya función es la producción de electricidad para su inyección en la red, son rápidos, de eje horizontal; Generadores multimegavat (4 y 3 MW), con diámetros en el rango de unos 50 a 90 m de altura del buje entre 60 y 100 m, son grandes máquinas

eólicas introducidas comercialmente en el año 2000 y particularmente en instalaciones marinas. Se distinguen dos grandes campos de aplicación: sistemas aislados o autónomos, conformados por aerogeneradores pequeños que cubren la demanda de energía de pequeños consumidores y los parques eólicos, formados por un conjunto de aerogeneradores de gran potencia, actuando como una central de producción eléctrica para su inyección a la red de alta tensión (Villarrubia, 2013, p. 10-12).

Existen dos tipos básicos de aerogeneradores, los de eje vertical (VAWT) y los de eje horizontal (HAWT).

Para Minh and Subbaram (2016, p. 5), un HAWT moderno consta de diferentes subsistemas, dividiéndose en dos categorías: subsistemas mecánicos y subsistemas eléctricos. Los subsistemas mecánicos contienen: el rotor de la turbina eólica, el tren de transmisión, la estructura de la góndola y la torre. Los subsistemas eléctricos contienen: el generador y el convertidor electrónico de potencia.

Hay varios tipos de VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). Sin embargo, los dos más populares son los VAWT Savonius y Darrieus. Los VAWT no dependen de la dirección del viento, sino que giran igualmente en cualquier dirección del viento. Además, el tren de transmisión y los subsistemas de generación se colocan en el suelo, y no necesariamente en posiciones altas que requieren plataformas de góndola costosas para soporte. (Minh and Subbaram, 2016, p. 6-7)

Un aerogenerador múltiple es aquella que cuenta con distintos rotores, cada rotor funciona independiente del otro, con sus propios generadores eléctricos, pero que al final suman la energía generada. El concepto en que se enmarcan estos diseños es la búsqueda de unir los distintos rotores en una sola estructura mecánica, sin que se produzca sombra de viento entre los rotores, por lo cual cada rotor debe estar dirigida con cara al viento (Douglas, 2010, p. 4).

Para Seifert (2012, p. 20), El efecto Magnus, muy conocido en deportes como en el llamado "bola curva". Con respecto a la dirección de la pelota, Thomson explica que la pelota que gira frecuentemente se desvía en la dirección hacia donde se gira la "nariz" de la pelota, es decir, si un cuerpo de revolución se encuentra girando en flujo cruzado, una trayectoria perpendicular temprana de su fuerza actúa sobre la

superficie del cuerpo, este efecto es posible por el cambio de presión que existe por la diferencia de velocidades en el fluido, entre el lado inferior y superior del cuerpo en rotación (Richmond-Navarro, 2016, p. 41).

Según la teoría potencial de Bernoulli, la mayor velocidad en una parte del cuerpo conduce a una presión de aire más baja en comparación con la parte opuesta, en la que se reduce la velocidad del aire. La teoría potencial está basada en un flujo sin fricción y es una explicación abreviada del efecto Magnus, generada debido a la fricción dentro de la capa límite.

En la instalación de un generador eólico y su consiguiente uso se debe tener en cuenta los siguientes componentes: baterías para el almacenamiento de la energía generada, un controlador o regulador de la carga de energía para evitar sobrecarga en las baterías, y finalmente un inversor de corriente que convierte el voltaje generado de 12 V a 240 V, además de convertir la corriente continua a corriente alterna, de tal manera que la energía generada pueda ser usada en casa (Bridgewater, 2009, p. 60).

La forma de energía interna, debida a la velocidad y masa, está representada por la energía potencial y se define: $E_p = mgh$; como forma de energía externa, se tiene que la energía cinética es debida al movimiento, cuya ecuación, es: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$; la energía mecánica del cuerpo de masa m es la suma de ambas $E_m = E_c + E_p$. La transformación de energía cinética en mecánica actualmente es utilizada para la producción de energía eléctrica, la cual es una fuente secundaria. La conversión de energía mecánica en eléctrica, descubierta por Faraday, se basa en la variación del flujo de un campo magnético por medio de un circuito conductor induciendo en este una fuerza electromotriz que produce una corriente eléctrica. (De Juana et al., 2003, p. 5).

Por la bobina del estator, se hace pasar una corriente eléctrica en los motores eléctricos, creando un campo magnético, el cual, en oposición con el del rotor produce el giro. Si la corriente de alimentación es alterna, la polaridad de las bobinas del estator cambia continuamente, produciendo atracciones y repulsiones de los polos del rotor, haciéndolo girar. Modificando la frecuencia de la corriente

alterna del estator se logra regular la velocidad de giro del rotor (Alonso, 2013, p. 36).

La Ley de Betz, propuesto por el físico alemán Albert Betz en 1919, se aplican a todos los fluidos newtonianos; de esta ley se deriva el principio conocido como Límite de Betz, hace referencia a la cantidad de energía mecánica máxima que puede obtener un generador eólico, este porcentaje es de 59,26%, un factor de 16/27, es decir un Coeficiente de potencia (C_p) de 0.59 (Chávez, 2010; Hernández, 2012, p. 22).

La velocidad del viento es muy variable, debido a muchos factores climatológicos, del tiempo, entre otros, es por ello que no se puede aprovechar la energía al 100%. La Potencia Disponible del viento (P_d) se calcula teniendo en cuenta el flujo de la energía cinética por el tiempo (Torres, 2015, p. 47), resultando la siguiente ecuación con la siguiente ecuación:

$$P_d = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3$$

Donde:

m: flujo másico del aire.

ρ : densidad del aire, teniendo en cuenta la presión y temperatura.

A: superficie o área donde incide el viento. $A = D \cdot H$;

Donde, D: diámetro del rotor y H: altura del rotor.

V: velocidad del viento.

La Potencia mecánica Extraída del viento (P_m) se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_m = V \cdot I$$

Donde:

V = voltaje nominal.

I = corriente en amperios

La potencia mecánica, también se calcula a partir del torque y la velocidad angular (Wong, 2015), mediante la siguiente fórmula:

$$P_m = T \cdot \omega$$

Donde:

T = Torque en N.m

ω = Velocidad angular en rad/s. $\omega = \frac{2\pi \cdot N}{t}$, donde N = a rpm (revoluciones por minuto) y t = al tiempo en minutos.

La potencia mecánica máxima, conforme a la ley de Betz, la potencia mecánica obtenida de forma teórica ideal, sin considerar algunos aspectos reales del prototipo del generador (Earnest y Rachel, 2019, p. 90); Veers et al, 2020, p. 2), es:

$$P = C_p \cdot P_d$$

Donde:

$C_p = 0.593$ (aprovechamiento máximo de la potencia del viento según el límite de Betz.

P_d = Potencia disponible del viento.

Conforme a la ecuación anterior se determina que el Torque es:

$$T = \frac{P_m}{\omega}$$

La intensidad de turbulencia, la presencia de turbulencia se manifiesta con fuertes cambios de dirección del viento y su velocidad. Estas ráfagas bruscas del viento golpean los rotores del aerogenerador, ocasionando fracturas y deformaciones en la infraestructura del aerogenerador, además disminuye su rendimiento (Medrano y Moreno, 2018). Se describe por la siguiente fórmula:

$$I_u = \left(\frac{\sigma}{v_z} \right) * 100\%$$

Donde:

σ = Desviación estándar de la velocidad horizontal del viento

v_z = Velocidad media del viento.

El Coeficiente de Potencia del rotor (C_p), describe la eficiencia que alcanza una turbina eólica, siendo este la relación que existe entre la potencia del viento y la energía disponible del viento (Arroyo et al, 2017, p. 26; Earnest y Rachel, 2019, p. 90). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{P_m}{P_d}$$

Donde:

P_m = Potencia mecánica extraída.

P_d = Potencia disponible.

La Velocidad específica o por sus siglas en ingles TSR (Tip-Speed Ratio) es la velocidad en la punta de los alabes (palas) siendo el punto más alejado del eje de rotación; es la relación existente entre la velocidad máxima del generador y la velocidad del viento (Muyeen, 2012, p. 157,):

$$\lambda = \frac{\omega D}{V}$$

Donde:

ω = Velocidad angular

R = Radio en metros

V = Velocidad del aire

Relación entre el coeficiente de Potencia del Rotor y el TSR. La curva de Potencia Eólica permite la predicción la energía que generará un generador eólico conforme a las distintas características de la velocidad del viento que incide en los bordes de los álabes (Candia, 2012, p. 113). El coeficiente de potencia cambia con el TSR (Muyeen, 2012, p. 157).

Según Nelson (2013, p. 86-88), la energía anual producida se obtiene de la siguiente fórmula:

$$EAP = (P_d) * (A) * (FC) * \left(\frac{8760h}{\text{año}}\right) / \left(\frac{1000W}{kW}\right)$$

Donde:

A = Área de barrido

P_d = Potencia disponible del viento

FC = Factor de capacidad estimada

El Sistema de análisis de diseño SolidWorks brinda simulaciones para análisis estáticos de manera lineal y no lineal, y de optimización. Permitiendo la resolución de problemas intuitivamente durante el diseño al mostrar programas de resolución de problemas rápidos y precisos. Gracias a esto se ahorra tiempo y esfuerzo en los resultados de diseños óptimos. El ciclo de desarrollo, comprende: construcción de modelo, construcción del prototipo del diseño y la prueba del prototipo en el campo. (Vera, 2014, p. 9).

III. MÉTODO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo, según Hernández-Sampieri et al (2013, p. 4), este enfoque recolecta datos para probar una hipótesis, basado en mediciones numéricas además del análisis estadístico, para la comprobación de teorías. El tipo de la investigación es aplicada, según Lozada (2014, p. 35), se ocupa del proceso de vinculación entre la teoría y el resultado, con la búsqueda de la generación de conocimientos aplicados a los problemas sociales apoyada en descubrimientos tecnológicos de la investigación básica.

El tipo de diseño es no experimental, debido a que no hubo manipulación intencionada de la variable, sino que se observaron las manifestaciones en su entorno natural, y luego fueron analizados; además es transversal puesto que se recolectaron los datos en un momento dado (Hernández-Sampieri et al. (2013, p. 152-154) y de tipo descriptivo, debido a que se realizó una descripción del comportamiento del generador eólico con los datos obtenidos.

3.2. Variables y operacionalización

Según Hernández-Sampieri et al. (2013, p. 105): Una variable es susceptible a cambios, los cuales se pueden medir u observar, así se detalla en Anexo 3.

Para la investigación, se consideraron 2 variables:

Variable 1: Diseño y simulación del generador eólico y sus tres modificaciones mediante el programa SolidWorks.

Variable 2: Generación de energía bajo las condiciones climáticas del distrito de Usquil.

3.3. Población, muestra y muestreo

Hernández-Sampieri et al. (2013, p. 173-174), manifiesta que la población son el conjunto de elementos o individuos con características similares. La muestra es la parte representativa de la población de la cual se obtienen los datos; en la presente investigación, la población y muestra es el generador eólico de eje vertical; además el tipo de muestra es no probabilística.

El muestreo, según Hernández-Sampieri et al. (2013), es un procedimiento en el que se extrae una parte de la población y permite generalizar los resultados a toda la población. El tipo de muestreo es por conveniencia dado que el diseño del generador eólico no se guio de ningún otro modelo establecido, sino por idea propia.

Según el (Vicerrectorado de Investigación UCV, 2020), la unidad de análisis es cada elemento que presentan características comunes y que serán los sujetos de medición, por lo tanto, en este estudio está representada por el generador eólico de eje vertical diseñado y simulado.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica, según Abanto (2014, p. 47), abarcan métodos que dan solución a dilemas prácticos. Las técnicas utilizadas en este proyecto son la observación y análisis de documentos, ya que se observó y analizó el comportamiento del generador eólico diseñado.

Para Hernández-Sampieri et al. (2013, p. 199), los instrumentos son recursos utilizados por el investigador, los cuales utiliza para el registro de información de las variables que tiene en mente. Los instrumentos usados para la presente investigación, son los que se detalla en la Tabla 1.

Hernández-Sampieri et al. (2013, p. 200), menciona que la validez es el nivel en el que un instrumento mide la variable sometida a medición y la confiabilidad es el nivel en el cual un instrumento genera resultados coherentes y consistentes, por lo tanto, ambos no se miden, sino se prueban.

Tabla 1. Validez y confiabilidad de instrumentos

Instrumento	Validez	Confiabilidad
Programa SolidWorks	El sistema de análisis de diseño SolidWorks permite la resolución de problemas de manera rápida y precisa (Vera, 2014, p. 9).	Se efectuó aplicando una encuesta realizada a un experto en el tema. (Anexo 4)
Ficha de recolección de datos SolidWorks (Anexo 4)	Los datos recolectados son los necesarios para el diseño y simulación en SolidWorks.	
Ficha de recolección de las condiciones climáticas de Usquil (Anexo 4)	El SENAMHI proporciona datos de manera diaria y precisas al poseer estaciones meteorológicas automáticas.	A través de la validación de los equipos utilizado por el SENAMHI.

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos

Los procedimientos indican el desarrollo de un trabajo, es decir, los procesos a utilizar, constituyendo así una guía de acción.

Tabla 2. Fases del desarrollo del Informe de Investigación

FASE DE ESTUDIO	FUENTE DE INFORMACIÓN	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
FASE 1: Recolección de la información sobre generadores eólicos.	Internet, Libros virtuales.	Análisis documentario	Análisis crítico, resumen crítico, Laptop y sus unidades de almacenamiento	Información verídica seleccionada, resumida y parafraseada.

FASE 2: Manejo de la información de las condiciones climatológicas del Distrito de Usquil, año 2017, 2018 y 2019.	Internet, registro de la Estación Meteorológica del SENAMHI en Usquil.	Análisis documentario	Ficha de recolección de datos en formato Excel 2020.	Obtención de las Velocidades promedios del viento en un año.
FASE 3: Diseño del prototipo del generador eólico.	Los autores	Simulación	Software SolidWorks 2020	Diseño en 3D del prototipo del generador eólico.
FASE 4: Simulación del prototipo con sus tres variaciones.	Los autores	Simulación	Simulación de flujo de SolidWorks.	Datos de los indicadores del diseño y simulación.
FASE FINAL: Selección de la modificación del prototipo más óptima.	Los autores	Análisis de Varianza (ANOVA)	Software SPSS 25	La modificación más óptima del Prototipo diseñado para el Distrito de Usquil.

Fuente: Adaptado de Velarde (2017, p. 54)

3.6. Método de análisis de datos

Al terminar la obtención de los datos requeridos para la investigación, se procede a analizarlos, mediante un programa computacional (Hernández-Sampieri et al., 2013, p. 272). Para analizar los datos obtenidos del simulador SolidWorks, es decir la fuerza de viento, se aplicó el análisis de varianza ANOVA en el Programa SPSS 25, con el fin de determinar la modificación más óptima de las tres modificaciones del prototipo diseñado, de los cuales se obtuvieron 36 datos en total, es decir 12 resultados para cada modificación.

Para ello, se realizaron los siguientes pasos:

1. Determinación de la bondad de ajuste, el cual debe cumplir con 3 requisitos:

a) Supuesto de independencia, mediante la prueba de Rachas, para determinar la aleatoriedad de las muestras, para eso se formulan las siguientes hipótesis:

H_0 : Los datos no están correlacionados o los datos son aleatorios.

H_1 : Los datos están correlacionados o los datos no son aleatorios.

Nivel de significancia: 0.05

Un resultado con una $p < 0.05$ indica que no hay aleatoriedad de las muestras, por lo que, se rechaza la hipótesis nula, mientras que para $p > 0.05$ significa que hay aleatoriedad, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

b) Supuesto de normalidad, para lo cual se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, para muestras menores de 50, con el propósito de determinar si los datos son normales.

H_0 = Los datos tienen distribuciones normales.

H_1 : = Los datos no tienen distribuciones normales.

Nivel de significancia: 0.05

c) Supuesto de homogeneidad, mediante la prueba de Levene, con el cual se busca determinar que las varianzas de las muestras son homogéneas.

H_0 : $\sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2_3$. No existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia

H_1 : al menos una varianza es diferente. Si existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia.

Nivel de significancia: 0.05

2. Se espera que los datos cumplan la bondad de ajuste, así se realizará la prueba paramétrica de ANOVA. Si los datos no cumplen con los pasos de la bondad de ajuste, entonces se realizará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

3.7. Aspectos éticos

Hay respeto a la autoría de las fuentes de información, ya que las citas se realizaron adecuadamente mediante el estilo ISO 690.

Se cumplen con las indicaciones y protocolos de la UCV en la elaboración de proyecto, con el uso del Turnitin para no incurrir en el plagio.

IV. RESULTADOS

4.1. VELOCIDAD DE VIENTO Y TEMPERATURA AÑOS 2017, 2018 y 2019

Para determinar presión del viento hacia el generador, así como la obtención de los datos que se requieren para la simulación del generador en el programa SolidWorks, se tomaron los datos de ciertas condiciones meteorológicas, como la velocidad del viento y temperatura, de los años 2017, 2018 y 2019 (SENAMHI, 2020).

Características de la estación meteorológica Usquil:

- Ubicación: Lat.:7°49'6.97"; Long.:78°24'53.9"; Alt.: 3143 m.s.n.m.
- Tipo: Automática – Meteorológica
- Código: 472D60B4

Dichos datos previamente analizados se encuentran representados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Promedios mensuales de la velocidad de viento y temperatura de los años 2017, 2018 y 2019

MES	PROMEDIO VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDADES MÁXIMAS DEL VIENTO REGISTRADAS (m/s)	PROMEDIO DE LA TEMPERATURA (°K)
ENERO	1.19	11.8	284.55
FEBRERO	1.37	8.1	284.45
MARZO	1.2	9.9	284.85
ABRIL	1.1	7.3	285.15
MAYO	1	6.3	285.35
JUNIO	1.18	8.4	285.95
JULIO	1.41	10.9	285.95
AGOSTO	1.57	12.6	286.15
SETIEMBRE	1.42	10.5	286.15

OCTUBRE	1.5	9.6	285.15
NOVIEMBRE	1.46	9	284.95
DICIEMBRE	1.3	7.7	285.25

Fuente: Elaboración Propia

4.2. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

A continuación, se determinó la presión ejercida por el viento al generador eólico en el promedio de los meses de enero a diciembre de los años 2017, 2018 y 2019, el cual servirá para determinar la resistencia del generador eólico.

Para la cual se aplica la siguiente fórmula:

$$P_{dinámica\ del\ viento} = \frac{1}{2} \rho V^2$$

Donde:

$$\rho = 1.225 \text{Kg/m}^3$$

Para determinar la presión del viento se consideró el dato de la velocidad máxima del viento más desfavorable, con el objetivo de determinar la resistencia del generador en situaciones extremas registradas en el distrito de Usquil, el cual es de 12.6m/s, mostrado en el cuadro anterior.

$$P_{dinámica\ del\ viento} = \frac{1}{2} (1.225 \text{Kg/m}^3) (12.6 \text{m/s})^2$$

$$P_{dinámica\ del\ viento} = 97.2405 \text{ Pa}$$

4.3. DISEÑO DEL GENERADOR EÓLICO EN SOLIDWORKS

4.3.1. TIPO DE MATERIALES USADOS EN EL DISEÑO

1. Plástico PET (Tereftalato de polietileno)

Se obtiene a partir del ácido Tereftalato y Etilenglicol, su fórmula química es: $(C_{10}H_8O_4)_n$.

Material caracterizado por ser ligero, resistente a la compresión y a los golpes, además de ser reciclable. Es una buena barrera contra los gases, es por ello que se usa en la industria alimentaria (HACHI y RODRIGUEZ, 2010).

2. Plástico PVC Rígido (Cloruro de polivinilo)

El Cloruro de polivinilo se produce mediante cuatro procesos: suspensión, emulsión, masa y solución. Su fórmula química es $(C_2H_3Cl)_n$. En la industria existen de dos tipos: los rígidos que se utilizan para elaborar tuberías, ventanas, envases, entre otros. Los flexibles, utilizados en la elaboración de juguetes, cables, calzados, entre otros. Para la elaboración de este proyecto se utilizó el PVC rígido.

Tiene una buena resistencia a los impactos, es resistente al agua, además de una baja densidad (1,32 -1,42 g/cm³).

3. Aleación de Aluminio EN – AW 1350A

Pertenece a las series 1xxx, estas series de grados de aluminio se caracterizan por su buena resistencia a la corrosión, y su excelente trabajabilidad. Sus principales composiciones son el Hierro y silicio.

Tabla 4: Composición de la Aleación de Aluminio EN – AW 1350a

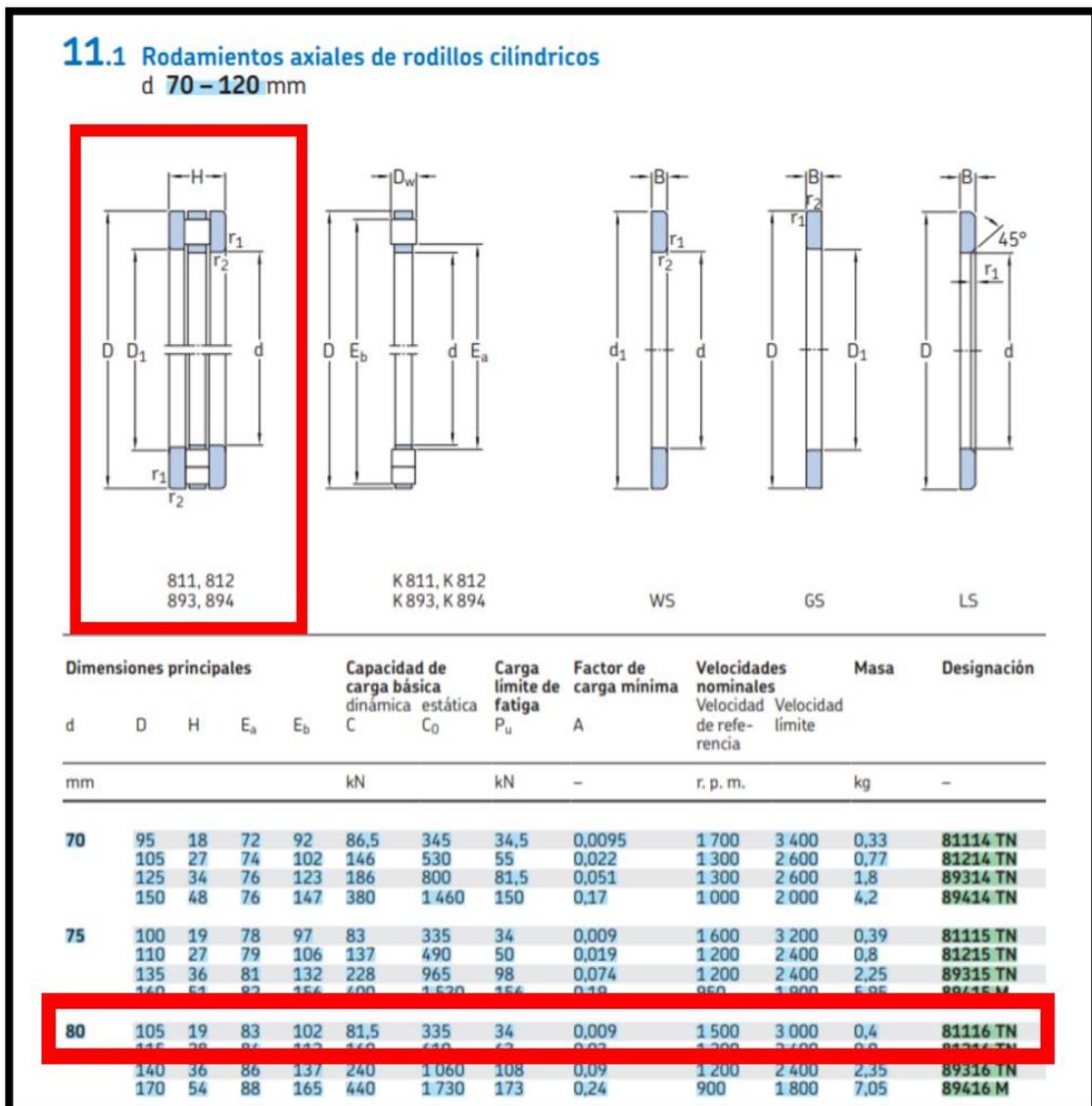
Numérica	Simbólica	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
EN – AW 1350A	EN AW- EAI 99,5 (A)	0,25	0,4	0,02	—	0,05	—	0,05	—

Fuente: ALONSO, Carlos (2014)

4. Tipo de rodamiento

El tipo de rodamiento seleccionado es un rodamiento axial de rodillos cilíndricos de la marca SKF, modelo 81116 TN. A continuación, se muestran las especificaciones técnicas:

Figura N°1: Tipo de rodamiento seleccionado para el rotor

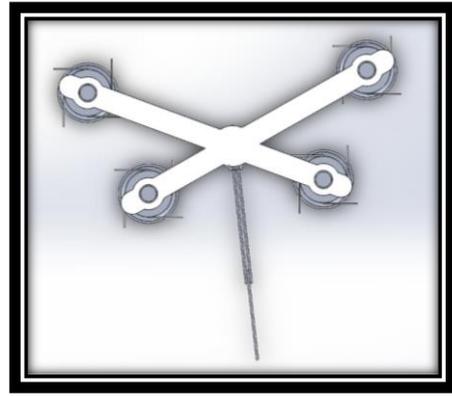
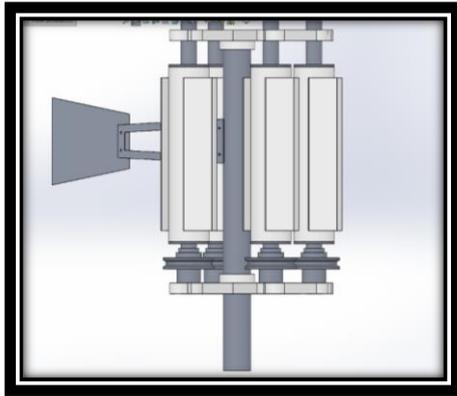


Fuente: SKF (2015, pág. 1048)

*En la figura se muestra que el rodamiento seleccionado tiene 105 mm de diámetro total, 80 mm de diámetro interno hueco, un ancho de 19 mm y un peso de 0.4 kg.

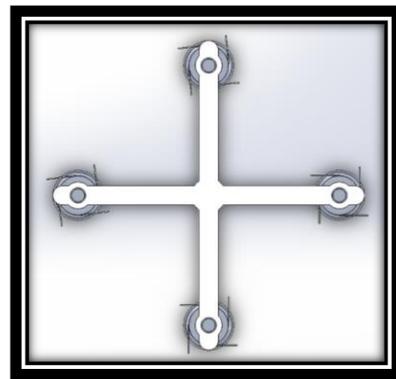
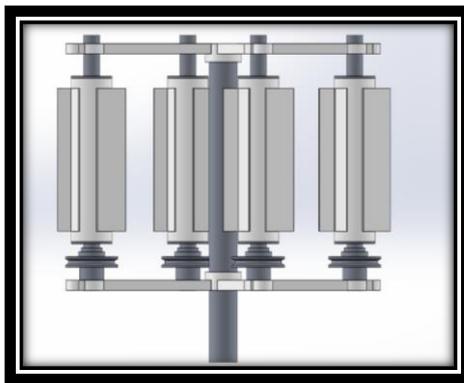
5. DISEÑO DEL GENERADOR EÓLICO Y SUS TRES MODIFICACIONES

Figura N°2: Vista alzada y vista en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 1



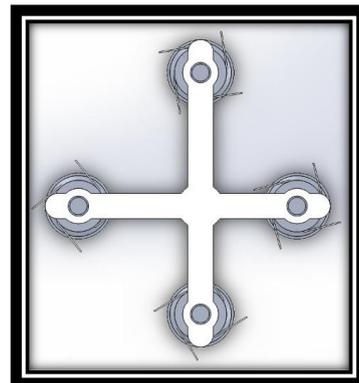
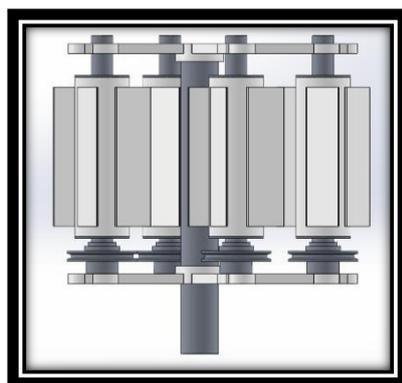
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3: Vista alzada y en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 2



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°4: Vista alzada y vista en planta en el programa SolidWorks del generador de la Modificación 3



Fuente: Elaboración Propia

4.4. DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DEL VIENTO

A continuación, se realizaron los cálculos para la determinación la energía del viento, los cuales primero de determinaron de manera mensual y finalmente de manera anual.

❖ **Energía mensual producida:**

$$EMP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (30h/mes) / (1000 W/kW)$$

❖ **Energía anual producida:**

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8760h/año) / (1000 W/kW)$$

Para determinar la energía del viento, primero se deben calcular los siguientes datos:

➤ **Área de barrido:**

$$\text{Área} = D \cdot H$$

Donde:

Diámetro= 36.40cm

Altura= 70cm

$$\text{Área} = 2548cm^2 * 4$$

$$\text{Área} = 1.0192m^2$$

Se observa la medición en el anexo 8.

➤ **Potencia del viento: (P/A) y Energía Mensual Producida (EMP)**

Se calculó la densidad de potencia de cada mes, con la siguiente fórmula:

$$P_{(P/A)} = \frac{1}{2} \rho (FC) V^3$$

Donde:

ρ = Densidad del viento= 1.225Kg/m³

A= Área del generador = 1.0192m²

Reemplazando los datos obtenidos anteriormente, se procede a calcular la energía anual producida en la fórmula:

$$EMP = (P/A) \times (\text{rendimiento total}) \times (30h/mes) / (1000 W/kW)$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

➤ **Energía Producida de las tres modificaciones**

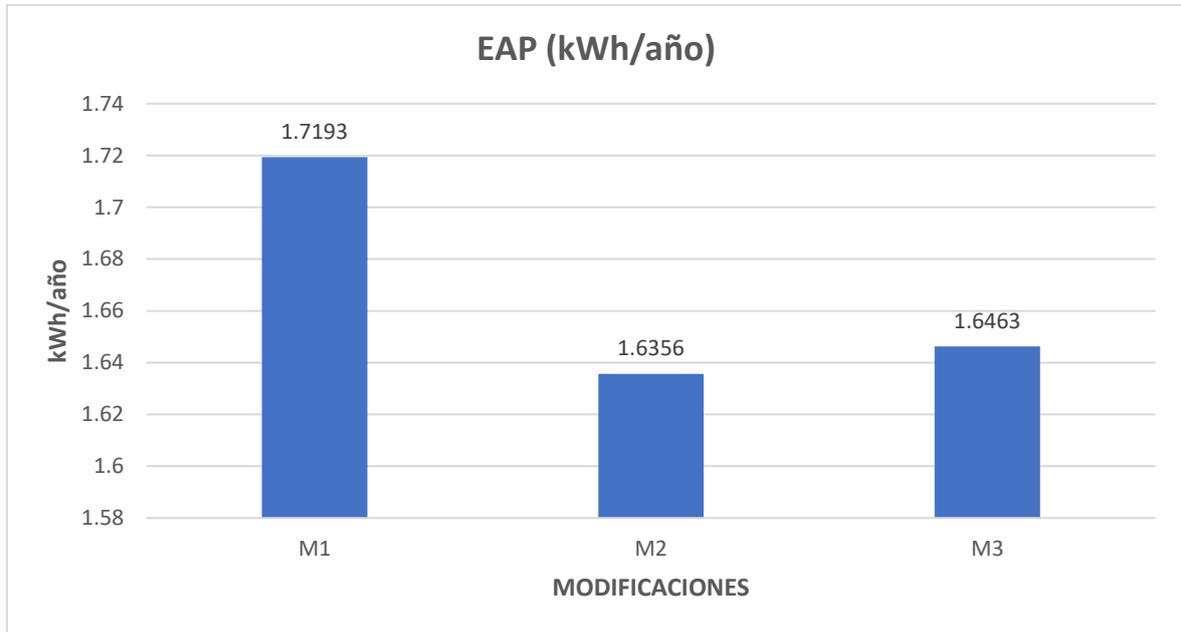
En la simulación de la energía producida se tuvo en cuenta la presión atmosférica de Usquil en pascales equivalente a 70116.9 Pa. ya que el distrito de Usquil se encuentra a una altura promedio de 3000 m.s.n.m., se asume una capacidad de potencia del 20 % y una rotación de 500 rpm.

Tabla 5. Determinación de Energía Anual y Mensual producida en el SolidWorks Simulation

MESES	PROMEDIO VELOCIDAD DEL VIENTO	TEMPERATURA PROMEDIO	MODIFICACIÓN 1		MODIFICACIÓN 2		MODIFICACIÓN 3	
			EMP (kWh/mes)	EAP (kWh/año)	EMP (kWh/mes)	EAP (kWh/año)	EMP (kWh/mes)	EAP (kWh/año)
ENERO	1.19	284.55	0.1028		0.0980		0.0987	
FEBRERO	1.37	284.45	0.1570		0.1498		0.1502	
MARZO	1.2	284.85	0.1055		0.1004		0.1011	
ABRIL	1.1	285.15	0.0813		0.0771		0.0778	
MAYO	1	285.35	0.0610		0.0577		0.0584	
JUNIO	1.18	285.95	0.1001	1.7193	0.0950	1.6356	0.0958	1.6463
JULIO	1.41	285.95	0.1708		0.1624		0.1636	
AGOSTO	1.57	286.15	0.2357		0.2242		0.2257	
SETIEMBRE	1.42	286.15	0.1744		0.1658		0.1670	
OCTUBRE	1.5	285.15	0.2062		0.1964		0.1975	
NOVIEMBRE	1.46	284.95	0.1903		0.1813		0.1822	
DICIEMBRE	1.3	285.25	0.1342		0.1275		0.1284	

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO N°1: COMPARACIÓN ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA DE LAS TRES MODIFICACIONES



Interpretación: Se observa que la máxima energía obtenida lo obtiene la modificación 1 con 1.7193 kWh/año.

4.5. RESULTADOS SIMULADOR DE PRUEBA ESTÁTICA

Se procedió a determinar la tensión, desplazamiento y deformación de las bases que sostienen los rotores, además de las aletas, con el complemento de Simulación de SolidWorks.

Tabla 6: Simulación de la prueba estática de las modificaciones

TIPO	PIEZA	PRUEBA ESTÁTICA: PESO ROTORES: FUERZA=150.136 N			PRUEBA ESTÁTICA: PRESION DEL VIENTO USQUIL: 97.2405 Pa		
		TENSIÓN MAX. (VONMISE S N/m ²)	DESPLAZAMIENTO MAYOR (URES mm)	DEFORMACION MAX. (ESTRN)	TENSIÓN MAX. (VONMISE S N/m ²)	DESPLAZAMIENTO MAYOR (URES mm)	DEFORMACIONES (ESTRN)
M-1	BASE INFERIOR PIEZA 09	1.602x10 ⁵	4.936x10 ⁻³	1.945x10 ⁻⁶	1.386x10 ⁴	4.751x10 ⁻⁴	1.740x10 ⁻⁷
M-2	BASE INFERIOR PIEZA 11	1.144x10 ⁶	5.155x10 ⁻²	1.264x10 ⁻⁵	1.349x10 ⁴	5.335x10 ⁻⁴	1.612x10 ⁻⁷

M-3	BASE INFERIOR R PIEZA 13	8.819x10 ⁵	6.249x10 ⁻¹	2.453x10 ⁻⁴	7.980x10 ³	5.022x10 ⁻³	2.242x10 ⁻⁶
-----	-----------------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Se observa que la modificación 3 en su base inferior recibe mayor tensión, además sufre mayor desplazamiento, de una mayor deformación máxima del peso de los rotores y de la fuerza del viento.

Tabla 7: Simulación de la prueba estática de la aleta del rotor

PRUEBA ESTÁTICA ALETA	
TIPO	VALOR MAX.
TENSIÓN (VONMISES N/m ²)	1.986x10 ⁵
DESPLAZAMIENTO (URES mm)	1.601x10 ⁻¹
DEFORMACION (ESTRN)	4.050x10 ⁻⁵

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS SIMULADOR DE FLUJO

A continuación, se muestran tres parámetros evaluados en el Complemento de Simulador de flujo del Programa SolidWorks, los cuales son: Intensidad de turbulencia, Torque y Presión del viento. Dichos parámetros han sido evaluados para las tres modificaciones del generador eólico también diseñado en SolidWorks. Se considero una presión atmosférica de 0.692 atm. equivalente a 70116.9 Pa. ya que el distrito de Usquil se encuentra a una altura promedio de 3000 m.s.n.m.

Tabla 8: Parámetros de las tres modificaciones del generador eólico diseñados, en el SolidWorks

MESES	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°K)	Intensidad Turbulencia Promedia (%)			TORQUE PROMEDIO eje x (N*m)			PRESIÓN DEL VIENTO (N)		
			M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
ENERO	1.19	284.55	5.72	9.06	3.17	3.33125	6.22885	1.14446	2.96635	3.11879	1.71141
FEBRERO	1.37	284.45	5.7	13.09	3.27	9.27961	10.7205	7.00206	3.83091	4.75634	2.30082
MARZO	1.2	284.85	12.07	9.24	3.22	5.22787	7.66503	1.14802	3.48662	3.29823	1.74399

ABRIL	1.1	285.15	5.6	10.78	3.15	5.86383	5.59154	1.15497	2.58441	3.56753	1.47318
MAYO	1	285.35	5.47	10.45	3.22	7.89696	10.7498	1.15382	4.88299	5.12905	1.21791
JUNIO	1.18	285.95	5.29	8.99	3.21	3.8389	7.75506	1.15183	2.88221	3.40188	1.6989
JULIO	1.41	285.95	11.15	10.95	3.19	8.84456	9.09011	1.13938	4.06583	4.29396	2.41783
AGOSTO	1.57	286.15	10.07	8.63	3.4	9.70669	8.79047	1.11889	4.59242	4.38573	3.05074
SETIEMBRE	1.42	286.15	11.15	12.13	3.2	9.08127	9.78542	1.12905	3.99886	4.72052	2.45961
OCTUBRE	1.5	285.15	10.93	9.87	3.21	8.97392	11.1698	1.12851	3.88667	5.11177	2.77719
NOVIEMBRE	1.46	284.95	10.99	10.83	3.29	9.22923	10.435	1.13904	4.01539	4.88524	2.61397
DICIEMBRE	1.3	285.25	5.6	6.97	3.24	4.50053	6.98957	1.13995	3.53199	3.52031	2.05061

Fuente: Elaboración propia

Análisis Estadísticos de datos

Para determinar la modificación más óptima de las tres modificaciones del prototipo diseñado, se procedió a realizar el análisis de varianza ANOVA en el Programa SPSS 25, de los 36 datos obtenidos en total (12 de cada modificación), evaluándolos en tres parámetros diferentes: Intensidad turbulencia, Torque y Presión del viento:

6. Determinación de la bondad de ajuste: el cual debe cumplir con 3 requisitos:

a) Supuesto de independencia, mediante la prueba de Rachas, para determinar la aleatoriedad de las muestras, para eso se formulan las siguientes hipótesis:

H_0 : Los datos no están correlacionados o los datos son aleatorios.

H_1 : Los datos están correlacionados o los datos no son aleatorios.

Nivel de significancia: 0.05

Un resultado con una $p < 0.05$ indica que no hay aleatoriedad de las muestras, por lo que, se rechaza la hipótesis nula, mientras que para $p > 0.05$ significa que hay aleatoriedad, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

- b) Supuesto de normalidad, para lo cual se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, para muestras menores de 50, con el propósito de determinar si los datos son normales.

H_0 = Los datos tienen distribuciones normales.

H_1 : = Los datos no tienen distribuciones normales.

Nivel de significancia: 0.05

- c) Supuesto de homogeneidad, mediante la prueba de Levene, con el cual se busca determinar que las varianzas de las muestras son homogéneas.

H_0 : $\sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2_3$. No existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia.

H_1 : al menos una varianza es diferente. Si existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia.

Nivel de significancia: 0.05

❖ **INTENSIDAD DE TURBULENCIA:**

- a) Supuesto de independencia

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Hay aleatoriedad.

H_1 : No hay aleatoriedad.

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 9. Análisis de la prueba de Rachas

	INT_TURB
Valor de prueba ^a	6,35
Casos < Valor de prueba	18
Casos >= Valor de prueba	18
Casos totales	36
Número de rachas	7
Z	-3,889
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Mediana

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia para la Intensidad de turbulencia es de 0.000, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, los datos obtenidos no son aleatorios.

b) Supuesto de normalidad

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Los datos tienen distribuciones normales.

H_1 : Los datos no tienen distribuciones normales.

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 10. Análisis de la Prueba de normalidad

	MODIFICACION	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		ES	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INT_TURB	1		,314	12	,002	,756	12	,003
	2		,133	12	,200*	,979	12	,978
	3		,232	12	,074	,865	12	,057

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

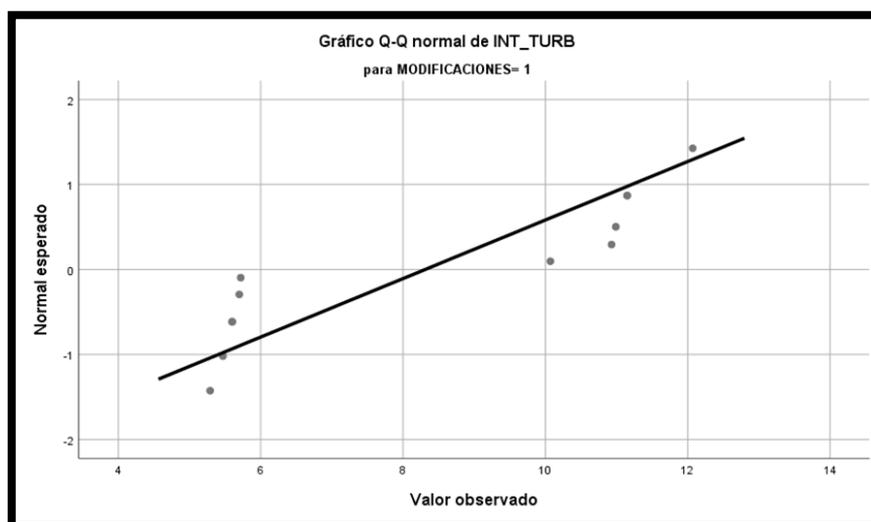
a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia de la Intensidad de turbulencia para la Modificación 1 es de 0.003, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, que los datos no tienen distribuciones normales. El nivel de significancia de la Intensidad de turbulencia para la Modificación 2 es de 0.978, es decir mayor a 0.05, lo cual indica que se acepta la hipótesis nula, es decir los datos tienen distribuciones normales. El nivel de significancia de la Intensidad de turbulencia promedia para la

Modificación 3 es de 0.057, es decir mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir los datos tienen distribuciones normales.

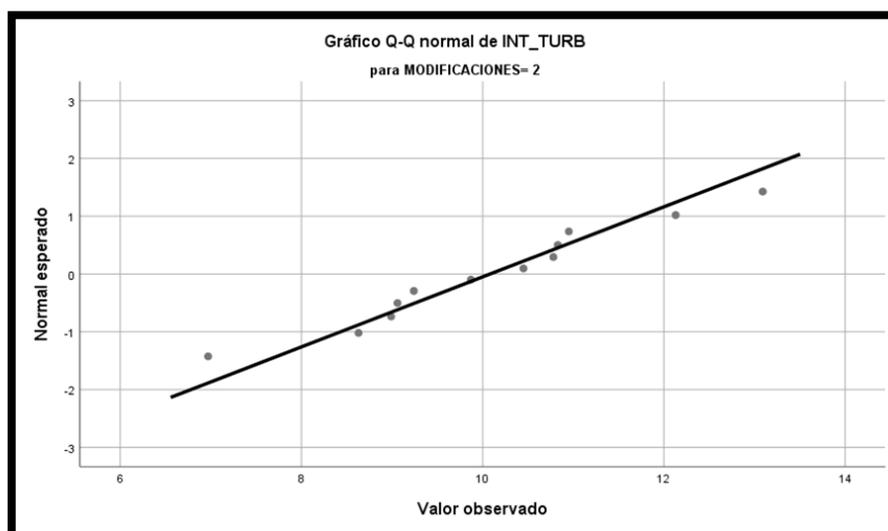
Gráfico N°2. Gráfico de la normalidad en la Modificación 1



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: No hay normalidad en los datos para la modificación 1 de la Intensidad de turbulencia.

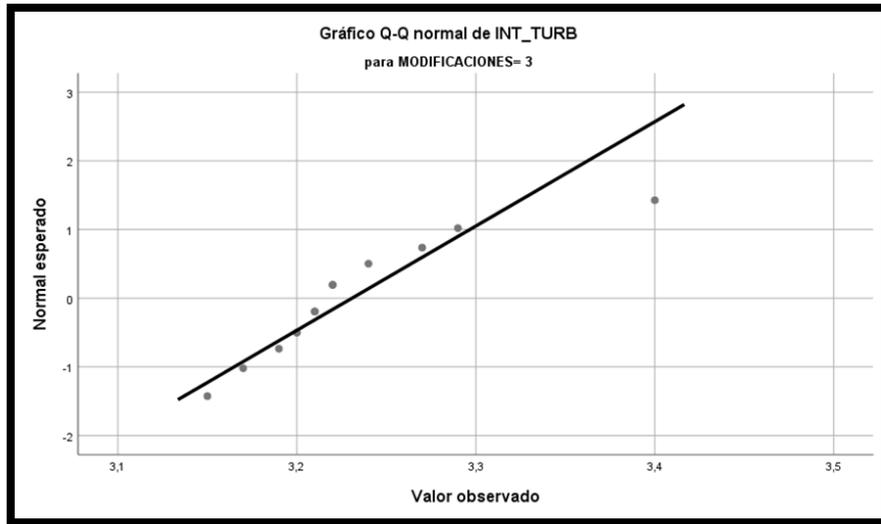
Gráfico N°3. Gráfico de la normalidad en la Modificación 2



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Si hay normalidad en los datos para la modificación 2 de la Intensidad de turbulencia promedio.

Gráfico N°4. Gráfico de la normalidad en la Modificación 3



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Si hay normalidad en los datos para la modificación 3 de la Intensidad de turbulencia promedio.

c) Supuesto de homogeneidad:

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$. No existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia.

H_1 : al menos una varianza es diferente. Sí existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia

Nivel de significancia: 0.05.

Tabla 11. Análisis estadístico de Levene

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
INT_TURB	Se basa en la media	59,342	2	33	,000
	Se basa en la mediana	50,544	2	33	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	50,544	2	18,948	,000
	Se basa en la media recortada	59,302	2	33	,000

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.
 a. Variable dependiente: INT_TURB
 b. Diseño: Intersección + MODIFICACIONES

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia de la Intensidad de turbulencia es de 0.000, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, al menos una varianza es diferente.

Los datos de la Intensidad de turbulencia de las tres modificaciones no cumplen con la bondad de ajuste, ya que según la prueba de rachas no son aleatorias y según la prueba de Levene las varianzas no son homogéneas, por lo tanto, los datos son No Paramétricos y por consiguiente se realizará una prueba de Kruskal-Wallis.

Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Población 1: Modificación 1

Población 2: Modificación 2

Población 3: Modificación 3

1. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Existen diferencias significativas entre las tres modificaciones.

H_1 : No existen diferencias significativas entre las tres modificaciones.

Nivel de significancia: 0.05

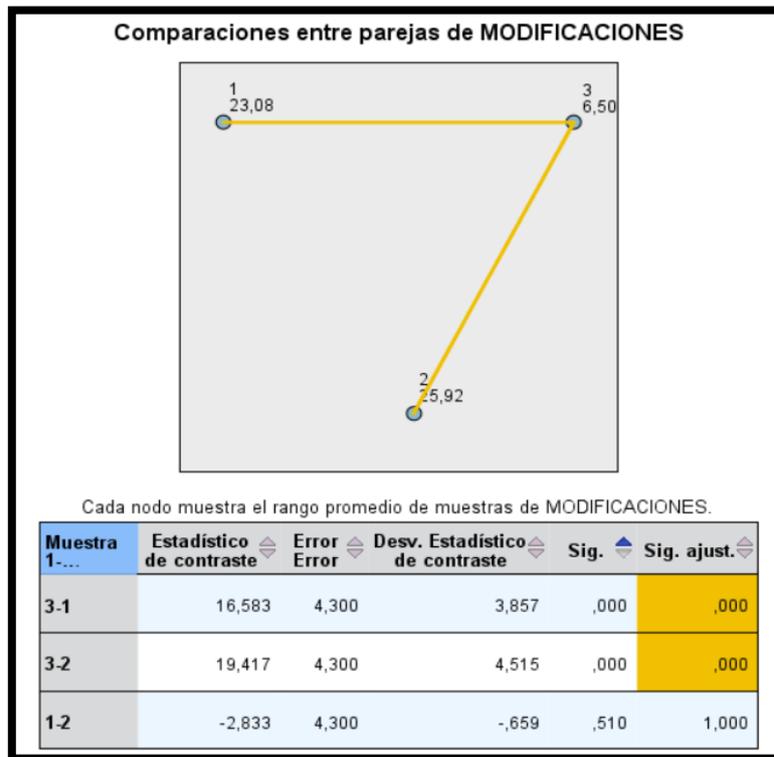
Figura N°5. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de INT_TURB es la misma entre las categorías de MODIFICACIONES.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Según el resultado dado por el SPSS, la hipótesis nula se rechaza, por lo que se considera que no existen diferencias significativas.

Figura N°6. Comparación múltiple de las tres modificaciones



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: En la relación de la modificación 3 con la modificación 1 y con la modificación 2 existen diferencias significativas ya que la significancia es menor a 0,05. En la relación entre la modificación 1 y 2 no existen diferencias significativas ya que la significancia es mayor a 0,05. Por lo tanto, la modificación que presenta menor porcentaje de intensidad de turbulencia la modificación 3 con un rango de 6.50.

❖ TORQUE

a) Supuesto de Independencia:

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Hay aleatoriedad.

H_1 : No hay aleatoriedad.

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 12. Prueba de rachas

TORQUE	
Valor de prueba ^a	5,6993
Casos < Valor de prueba	18
Casos >= Valor de prueba	18
Casos totales	36
Número de rachas	12
Z	-2,198
Sig. asintótica(bilateral)	,028

a. Mediana

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia para el torque es de 0.028, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, los datos obtenidos no son aleatorios.

b) Supuesto de normalidad:

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Los datos tienen distribuciones normales.

H_1 : Los datos no tienen distribuciones normales.

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 13. Pruebas de normalidad

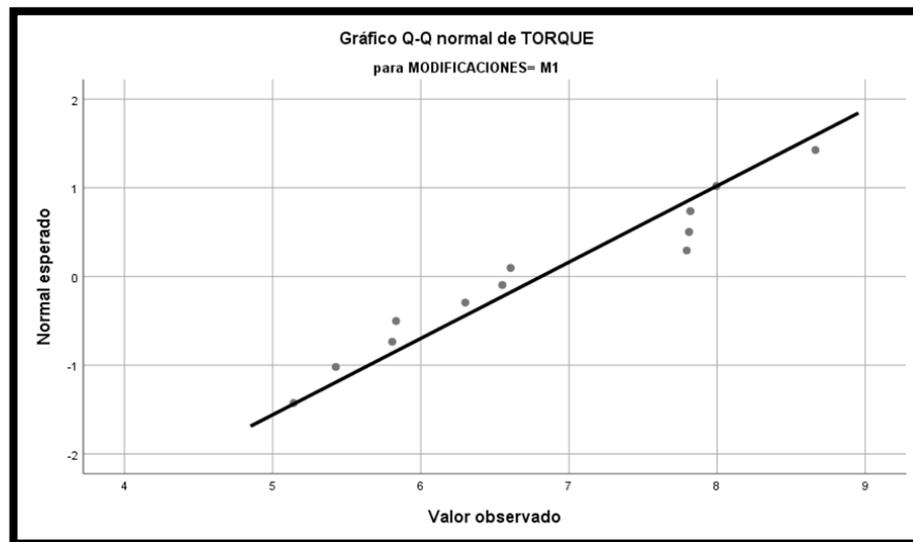
	MODIFICACION	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		ES	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TORQUE	M1		,218	12	,121	,926	12	,336
	M2		,231	12	,078	,835	12	,024
	M3		,527	12	,000	,333	12	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia del torque para la modificación 1 es de 0.336, es decir mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, los datos son normales. El nivel de significancia del torque para la Modificación 2 es de 0.024, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos no tienen una distribución normal. El nivel de significancia del torque para la Modificación 3 es de 0.000, es decir menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos no son normales.

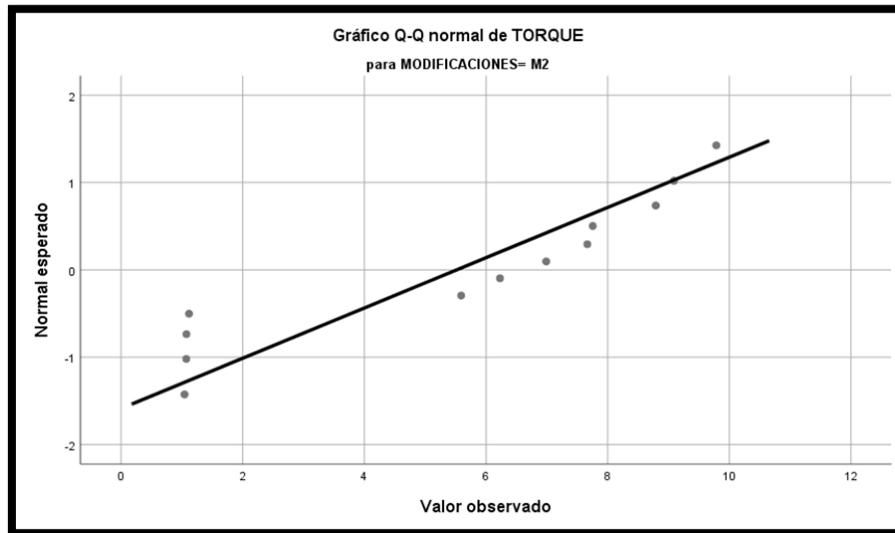
Gráfico N°5. Gráfico de la normalidad en la Modificación 1



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Existe una distribución normal de los datos para la modificación 1 del Torque.

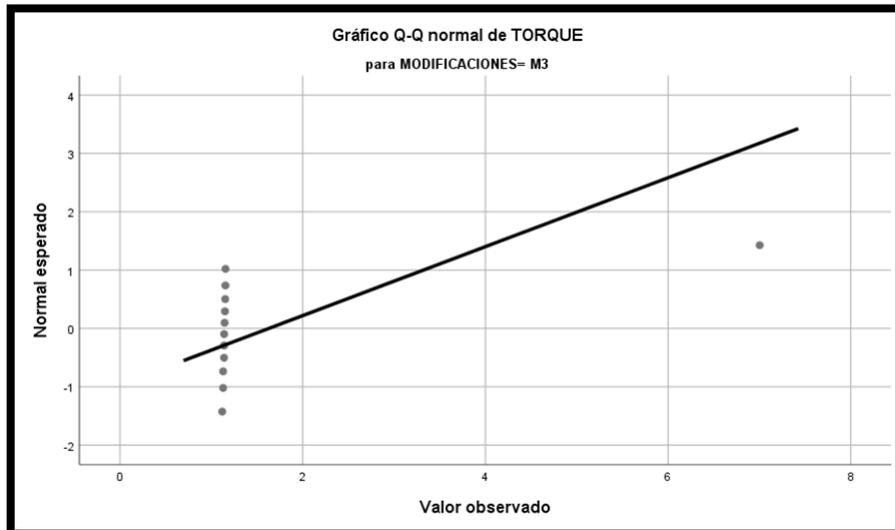
Gráfico N°6. Gráfico de la normalidad en la Modificación 2



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: No existe una distribución normal en los datos para la modificación 2 del Torque.

Gráfico N°7. Gráfico de la normalidad en la Modificación 3



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: No existe una distribución normal en los datos para la modificación 3 del Torque.

Ya que los datos no son aleatorios y no son normales, se concluye que son datos No paramétricos por lo tanto se procederá a realizar la Prueba de Kruskal-Wallis.

Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Población 1: Modificación 1.

Población 2: Modificación 2.

Población 3: Modificación 3.

1. Planteamiento del problema:

H_0 = Existen diferencias significativas entre las tres modificaciones.

H_1 = No existen diferencias significativas entre las tres modificaciones.

Nivel de significancia: 0.05

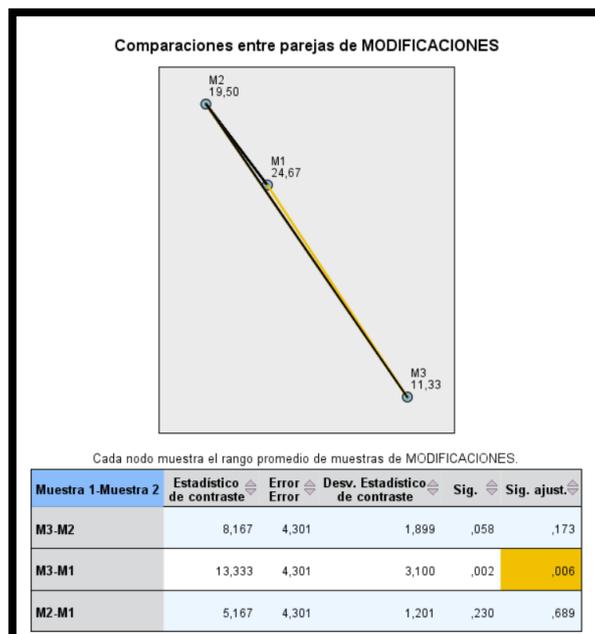
Figura N°7. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de TORQUE es la misma entre las categorías de MODIFICACIONES.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,008	Rechazar la hipótesis nula.

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Según el resultado dado por el SPSS, la hipótesis nula se rechaza, por lo que se considera que las medias son iguales.

Figura N°8. Comparación múltiple de las tres modificaciones



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Conforme a los resultados obtenidos de la comparación múltiple de la prueba de Kruskal-Wallis, se observa que la Modificación 1 y 2 son similares en resultados del torque, mientras que la modificación 3 es diferente, pero con un rango bajo. Finalmente, el rango menor de torque pertenece a la modificación 3, siendo esta la más aceptada.

❖ **PRESIÓN DEL VIENTO:**

a) Supuesto de Independencia:

Planteamiento de la hipótesis

H_0 : Hay aleatoriedad.

H_1 : No hay aleatoriedad.

Nivel de significancia: 0.05.

Tabla 14. Prueba de rachas

	PRESIÓN_VIENTO
Valor de prueba ^a	3,0889
Casos < Valor de prueba	18
Casos >= Valor de prueba	18
Casos totales	36
Número de rachas	7
Z	-3,889
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Mediana

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia para la presión del viento es de 0.000, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, los datos obtenidos no son aleatorios.

b) Supuesto de normalidad:

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Los datos tienen distribuciones normales.

H_1 : Los datos no tienen distribuciones normales.

Nivel de significancia: 0.05.

Tabla 15. Prueba de normalidad

	MODIFICACION	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		ES	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PRESIÓN_	M1		,234	12	,069	,858	12	,046
VIENTO	M2		,209	12	,155	,887	12	,107
	M3		,168	12	,200*	,967	12	,882

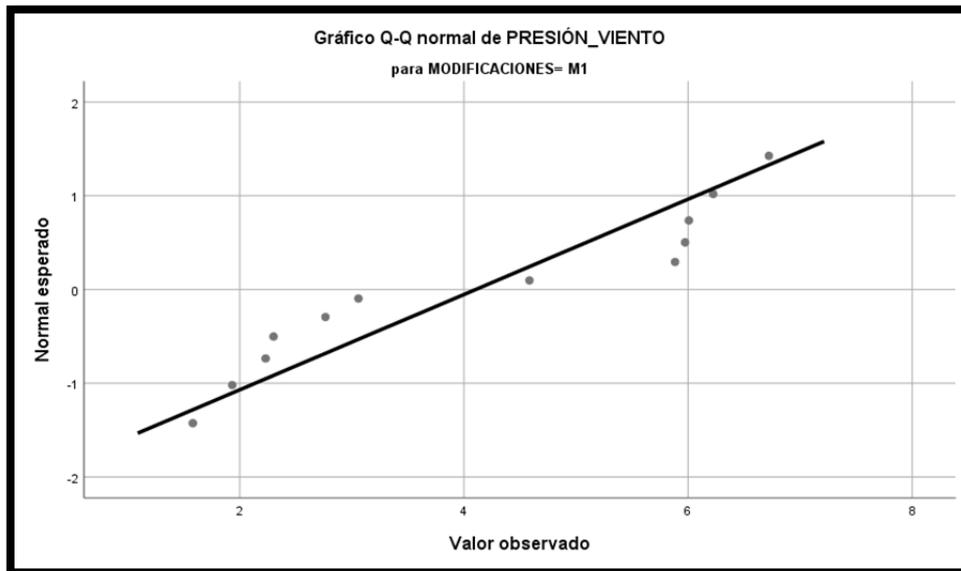
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Interpretación: El nivel de significancia de la Presión del viento indica que los datos son normales.

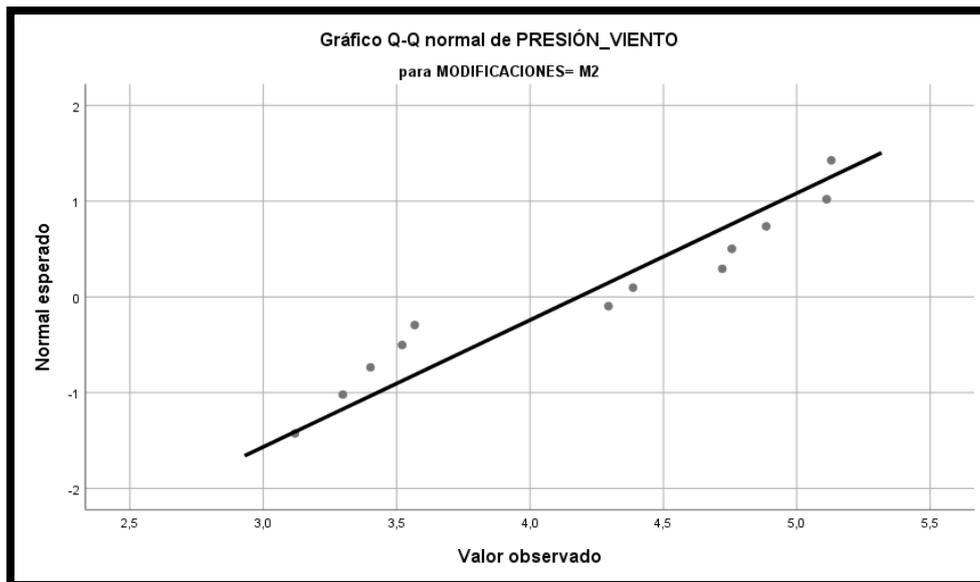
Gráfico N°8. Gráfico de la normalidad en la Modificación 1



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Existe distribución normal en los datos para la modificación 1 de la Presión del viento.

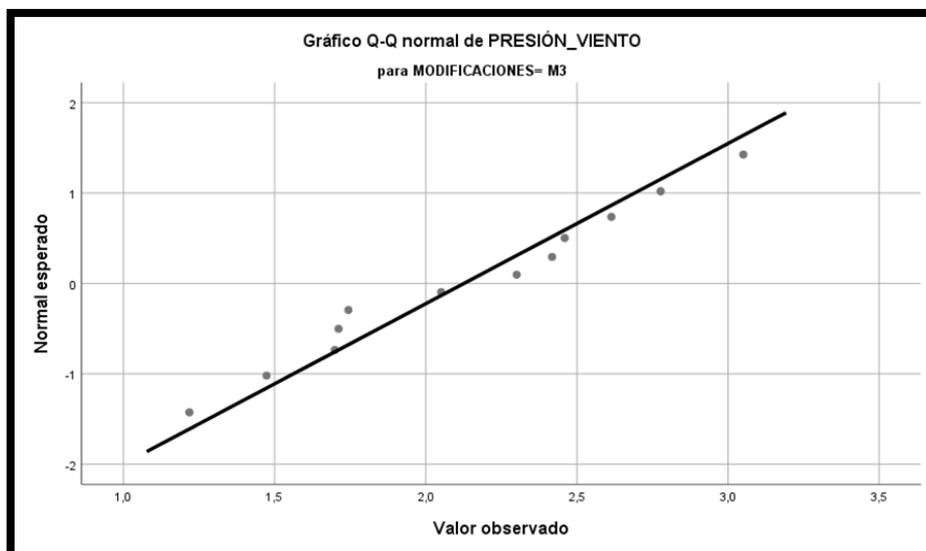
Gráfico N°9. Gráfico de la normalidad en la Modificación 2



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Existe distribución normal en los datos para la Modificación 2 de la Presión del viento.

Gráfico N°10. Gráfico de la normalidad en la Modificación 3



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Existe distribución normal en los datos para la Modificación 3 de la Presión del viento.

c) Supuesto de homogeneidad:

Planteamiento de la hipótesis:

$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2_3$. No existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia.

H_1 : al menos una varianza es diferente. Si existen diferencias significativas entre las varianzas de los datos de la intensidad de turbulencia

Nivel de significancia: 0.05.

Tabla 16. Análisis estadístico de Levene

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PRESIÓN_VIENTO	Se basa en la media	35,424	2	33	,000
	Se basa en la mediana	28,003	2	33	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	28,003	2	21,159	,000
	Se basa en la media recortada	35,334	2	33	,000

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Variable dependiente: PRESIÓN_VIENTO

b. Diseño: Intersección + MODIFICACIONES

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: El nivel de significancia de la Presión del viento es de 0.000, es decir menor a 0.05, lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, al menos una varianza es diferente.

Los datos de las muestras, en cuanto a la presión del viento, no son aleatorios, tienen distribución normal y no tienen igualdad de varianza, por lo tanto, no cumplen con la bondad de ajuste para la prueba ANOVA. Los datos son no paramétricos y por ende se debe usar la prueba de Kruskal-Wallis.

Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Población 1: Modificación 1

Población 2: Modificación 2

Población 3: Modificación 3

Planteamiento del problema:

H_0 : Existen diferencias significativas entre las tres modificaciones

H_1 : No existen diferencias significativas entre las tres modificaciones

Nivel de significancia: 0.05

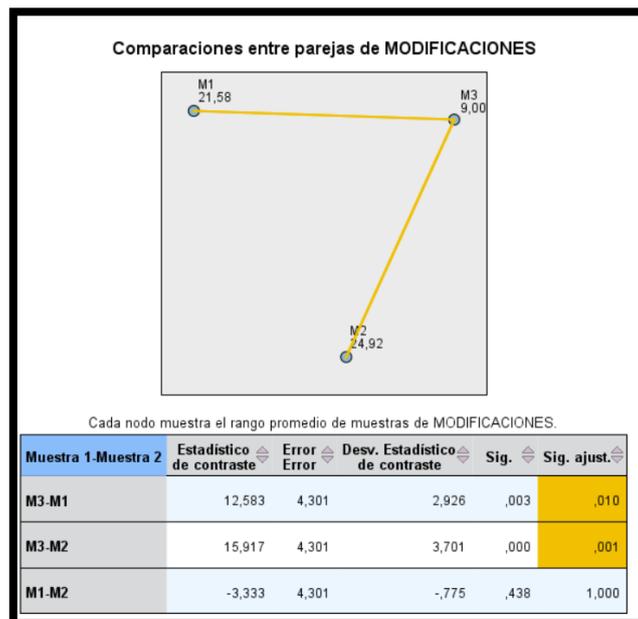
Figura N°9. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de PRESION_VIENTO es la misma entre las categorías de MODIFICACIONES.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Según el resultado dado por el SPSS, la hipótesis nula se rechaza, por lo que se considera que no existen diferencias significativas.

Figura N°10. Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis



Fuente: Software SPSS 25

Interpretación: Conforme a los resultados obtenidos de la comparación múltiple de la prueba de Kruskal-Wallis, se observa que la Modificación 1 y 2 son similares en resultados del torque, mientras que la modificación 3 es diferente, pero con un rango de 9. Finalmente, el rango menor de presión de viento pertenece a la modificación 3 siendo esta la más aceptada.

4.6. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

➤ Resultados del diseño del generador eólico

- La máxima Energía Anual Producida se encuentra en la modificación 1 con 1.7193 kWh/año.
- Los resultados de la prueba estática sobre las aletas de los rotores son: Tensión (Vonmises N/m^2) 1.986×10^5 , Desplazamiento (URES mm) 1.601×10^{-1} y Deformación (ESTRN) 4.050×10^{-5} .

➤ Determinación de la modificación más óptima

La modificación más adecuada se determinó según los criterios de los resultados obtenidos en la prueba estática y la prueba de simulación del viento.

Tabla 17. Determinación de la modificación más óptima según la prueba estática

MODIFICACIONES	PRUEBA ESTÁTICA BASE INFERIOR DEL GENERADOR						TOTAL, DE CRITERIOS APROBADOS
	PESO ROTORES: FUERZA=150.136 N			PRESION DEL VIENTO USQUIL: 97.2405 Pa			
	TENSIÓN MAX.	DES. MAY.	DEFOR. MAX.	TENSIÓN MAX.	DESP MAY.	DEFOR. MAX.	
M-1	✓	✓	✓	0	✓	0	4
M-2	0	0	0	✓	0	✓	2
M-3	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En la prueba estática se observa que la modificación 1 obtuvo 4 de los 6 criterios planteados, mayor número de criterios que las otras modificaciones. La

modificación 2 obtuvo el mejor resultado en 2 de los 6 criterios planteados, presentes en la prueba estática en cuanto a la presión del viento máximo del distrito de Usquil. Finalmente, la modificación 3 obtuvo el menor resultado en comparación con las otras dos modificaciones, es por ello que no obtuvo ningún criterio aprobado.

Tabla 18. Determinación de la modificación más óptima según la prueba de simulación de flujo

MODIFICACIONES	PRUEBA DE SIMULADOR FLUJO				TOTAL, DE CRITERIOS APROBADOS
	Intensidad Turbulencia	Torque Promedio	Presión del Viento	Energía Anual Producida	
M-1	0	0	0	✓	1
M-2	0	0	0	0	0
M-3	✓	✓	✓	0	3

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la modificación 3 obtuvo el mejor resultado en los 3 criterios de los parámetros de simulación del flujo de Intensidad de turbulencia, Torque y presión del viento. La modificación 1 obtuvo el mejor resultado en cuanto a la energía anual producida.

V. DISCUSIÓN

- El menor porcentaje de índice de turbulencia lo obtuvo la modificación 3. Medrano y Moreno (2019) menciona en su investigación que existe una relación entre el mejor rendimiento energético del generador eólico con el índice de turbulencia, cuanto mayor sea el porcentaje de índice de turbulencia menor es la cantidad de energía obtenida, por lo tanto, la modificación 3 resultó ser la más óptima, se debe tener en cuenta en un diseño posterior.
- La forma cilíndrica de los rotores pretende aprovechar la denominada fuerza Magnus que experimenta un objeto especialmente de forma cilíndrica o esférica, en la que la velocidad de rotación de un objeto es mayor en lado que en el opuesto. Babayeva et al. (2020) mencionan que este sistema necesita en un principio de una fuerza de empuje, en su caso energía eléctrica, mientras que el trabajo propuesto en esta investigación se ha considerado aletas con el fin de aprovechar la fuerza del viento para su movimiento. Como lo menciona Sedaghat (2014), acerca del generador Magnus Murakami, este sistema busca tener un mejor rendimiento con velocidades de viento bajas a 1 m/s, es por ello que cuenta con aletas en espiral. El distrito de Usquil tiene una velocidad de viento promedio de un mín. de 1 m/s y un máx. de 1.57 m/s en todo el año, el resultado máximo obtenido de la modificación 1 fue de 1.72 kWh/año, siendo este un buen rendimiento teniendo en cuenta la baja disponibilidad de viento que existe en la zona. De esta manera, en relación a lo mencionado por Sedaghat (2014) las aletas cumplen una función muy importante en la rotación de rotores cilíndricos que buscan aprovechar el efecto Magnus. En consolidación de este mismo dato Richmond-Navarro (2016) menciona que los aerogeneradores que aprovechan el efecto Magnus trabajan de forma más adecuada con velocidades angulares menos a diferencia de otros.
- En el diseño elaborado por Martínez (2016) obtuvo 0.6452 W de potencia a una velocidad de 4m/s, en el diseño propuesto de la modificación 1 la potencia mínima obtenida fue de 0.4237 W y la máx. de 1.637 W a una velocidad de 1 m/s y 1.57 m/s respectivamente, por lo tanto, el diseño propuesto supera al diseño en mención. De igual manera, Bernal (2019) en su diseño de un minigenerador eólico obtuvo como resultado 9kW para una velocidad de viento de 4m/s siendo superior al diseño propuesto en la modificación 1. Chávez-Cano et al. (2019), en la elaboración de su diseño de generador tipo Savonius obtuvo como resultado 0.47 W a una velocidad de 2.5 m/s con un área de barrido 0.5 m², el aerogenerador propuesto supera a 1.637 W con un área de barrido de 1.0192 m² a una velocidad de 1.57 m/s, se observa que los cuatro rotores con que cuenta el diseño contribuyen a ampliar el área de barrido.

VI. CONCLUSIONES

- Mediante el procesamiento de datos se determinó la velocidad promedio del viento, la velocidad más alta del viento y la temperatura promedio de los meses de enero a diciembre de los años 2017, 2018 y 2019 del distrito de Usquil. La velocidad del viento más alta registrada es de 12.6 m/s por lo tanto la mayor presión dinámica del viento ejercida sobre el generador es de 97.2405 Pa.
- Se logró diseñar el generador eólico y sus tres modificaciones utilizando el programa de CAD SolidWorks a partir de un prediseño dibujado a mano alzada.
- Se determinó el área del barrido de los rotores del generador, en total suman un área 1.0192 m². además, se determinó la densidad de potencia de cada mes para finalmente determinar la energía mensual productiva.
- Mediante el complemento Simulation del programa de SolidWorks se logró determinar mediante un estudio de estática la tensión, desplazamiento y deformación el de los alabes del rotor por la presión dinámica del viento obteniéndose un resultado de 1.986x10⁵ N/m², 1.601x10⁻¹mm y 4.050x10⁻⁵ respectivamente.
- Se realizó un estudio de estática de las bases que sostiene el generador por el peso del rotor (150.136 N) y de la presión del aire (97.2405 Pa.), para cada modificación obteniéndose un resultado más optimo en la modificación 1: Peso del rotor: Tensión máx. 1.602x10⁵ N/m²; Desplazamiento 4.936x10⁻³mm; Deformación 1.945x10⁻⁶. Presión del aire: Tensión máx. 1.386x10⁴ N/m²; Desplazamiento 4.751x10⁻⁴mm; Deformación 1.740x10⁻⁷.
- Mediante el complemento de Flow Simulation de SolidWorks se estudió el comportamiento del generador con respecto a la velocidad del viento promedio, la temperatura y presión atmosférica, de cada mes, de las tres diferentes modificaciones. Los parámetros evaluados fueron el porcentaje de intensidad de turbulencia, el torque y la presión del viento, obteniéndose el resultado más adecuado en la modificación 3 según lo constata la prueba estadística no paramétrica.
- Finalmente, en el complemento de Flow Simulation de SolidWorks se determinó la energía anual producida, obteniéndose un mejor resultado en la modificación 1 con 1.7193 kWh/año.

- Finalmente, se determinó por las pruebas realizadas, que la modificación 1 es la que obtiene los mejores resultados en los criterios o parámetros evaluados, es necesario también tener en cuenta los resultados de las otras modificaciones que lograron un mejor desempeño.

VII. RECOMENDACIONES

- Crear un nuevo prototipo similar a la modificación 1 pero con los requerimientos físicos y dinámicos observados en las pruebas realizadas, donde también se incluyan los mejores resultados de las otras modificaciones.
- Cambiar los rodamientos, de rodamientos axiales a chumaceras con el objetivo de mejorar la rotación de los rotores.
- Conforme a los resultados de la prueba estática de las bases que sostiene a los rotores se recomienda reforzar las bases con una vara de acero en cada brazo de la base con el fin de dar más estabilidad disminuyendo la tensión, la deformación y el desplazamiento de la misma
- Teniendo en cuenta la prueba del simulador de flujo, en cuanto a los parámetros de intensidad de turbulencia, torque y presión del viento, es recomendable aumentar la extensión de los brazos delanteros de la base superior e inferior del generador eólico de la modificación 1, con el fin de lograr una mejor circulación del viento entre los cuatro rotores, además de que cada rotor pueda recibir por igual la misma cantidad de aire.
- En cuanto a la energía anual producida, se recomienda ampliar el área de barrido, separando las aletas de cada rotor con el fin de logra un área mayor de 1.0192 a 1.5 m². Además, instalar el generador en zonas de mayor velocidad del viento para un mejor rendimiento energético.
- Es necesario construir el generador con las mejoras recomendadas y las pruebas de funcionamiento in situ. Incluir dentro de las pruebas a realizar, el desempeño del generador con los rotores cilíndricos, que pretende aprovechar el efecto Magnus.

REFERENCIAS

- ABANTO, Walter. Guía de Aprendizaje: Diseño y Desarrollo del Proyecto de Investigación. Trujillo: Universidad César Vallejo, 2014.
- ALONSO, José. Sistemas de carga y arranque. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A., 2013, 36-53 pp.
ISBN: 9788428395618
- ALONSO, Marcos. Soldadura TIG de aluminio y aleaciones. España: Ediciones Paraninfo, 2014.
ISBN: 9788428398480
- ARROYO, Alberto. Energía y Telecomunicaciones. Santander: Universidad de Cantabria. [En línea]. [Fecha de Consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/193/course/section/97/tema_6.4.pdf
- ATSUSHI, Osaka. Vertical Axis Type Magnus Wind Turbine Generator, Patent. USA: United States Patent and Trademark Office, junio 2014. US 2014/0008916 A1.
- BABAYEVA, Marina [et al.]. Comparative Analysis of Modeling of a Magnus Effect-Based Wind Energy System. Russia: IFMO University, 2020.
- BERNAL, Andrey. Diseño de un mini aerogenerador de 9 KW. Colombia: Fundación Universidad de América, 2019. [Fecha de Consulta: 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7699>
- BRIDGEWATER, Alan y BRIDGEWATER, Gill. Energías alternativas. España: Editorial Paraninfo, 2009. 198 pp. ISBN: 9788428331852
- BARRÍA, Cecilia. Caída del precio del petróleo: las consecuencias para América Latina de la caída del valor del crudo en medio de la crisis por el coronavirus [En línea]. BBC News Mundo: 20 de abril 2020. [Fecha de Consulta: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51807458>

- CANDIA, Rodrigo. Metodología para Cálculo de Curva de Potencia de Turbina Eólica de Eje Vertical. Tesis (Magíster en Ciencias de la Ingeniería). Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012. [Fecha de Consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/2863/579668.pdf?sequence=1>
- CHÁVEZ, Sandra. Diseño de un Microaerogenerador de Eje Vertical. Tesis (Ingeniero Industrial). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. 2010. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1427/Tesis.pdf?sequence=1>
- CHÁVEZ-CANO, Omar [et al.]. Design and simulation of a vertical wind generator. México: Journal of Technology and Innovation, 6(18): 27-32, Junio 2019. ISSN: 1793-6950
- CHUQUIMAMANI, Benjamín. Eficiencia de una turbina eólica de baja potencia empleando material reciclado operando en la ciudad de Juliaca. Tesis (Ingeniero Mecánico Eléctrica). Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez, 2018. Disponible en: <http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/4260/proyecto%20de%20investigacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- COVERT, Thomas; GREENSTONE, Michael y KNITTEL, Christopher. Will We Ever Stop Using Fossil Fuels? [En línea]. United States: Journal of Economic Perspectives, 30(1): 117 – 138 pp. Verano 2016. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdf/10.1257/jep.30.1.117#:~:text=The%20BP%20data%20show%20that,future%20than%20we%20do%20now.> ISSN: 1944-7965
- DE JUANA, José. [et al.]. Energías renovables para el desarrollo [en línea]. España: Editorial Paraninfo, 2003. 5 pp. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://link.gale.com/apps/doc/CX2188100007/GVRL?u=univcv&sid=GVRL&xid=ea078f73>.

- Directorio Nacional de Centros Poblados. Tomo 3. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática, Setiembre 2018. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/tomo3.pdf
- DOUGLAS, Spriggs. Aerogenerador con múltiples rotores coaxiales [En línea]. España: Oficina Española de Patentes y Marcas. Abril 2010. [Fecha de consulta: 16 de junio del 2020]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c0/9c/ab/b6966190999159/ES2336084T3.pdf>
- EARNEST, Joshua and RACHEL, Sthuthi. Wind Power Technology, Third Edition. Delhi: PHI Learning. 2019. ISBN: 978-93-88028-49-3.
- Otorgan a favor de HIDRANDINA S.A. concesión eléctrica rural para desarrollar la actividad de distribución de energía eléctrica en zonas comprendidas en el proyecto “Electrificaciones Rurales en la provincia de Sánchez Carrión”, ubicado en el departamento de La Libertad [En línea]. Diario Oficial El Peruano, Lima, Setiembre 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/otorgan-a-favor-de-hidrandina-sa-concesion-electrica-rural-resolucion-directoral-no-119-2016-memdge-1688326-1/>
- FLORES, Pedro. Diseñar un aerogenerador que utilice bajas velocidades de viento en las zonas altoandinas de Arequipa, para mejorar la calidad de vida de la comunidad. Tesis (Doctor en ciencias). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2019. [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10655/UPfillapb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- GONZÁLEZ, Naomi. SÁNCHEZ, Juan. Diseño de un aerogenerador para la producción de energía eléctrica en la finca “el alto del gavilán”, Boyacá. Tesis (Ingeniero Mecánico). Bogotá: Universidad de América, 2019. [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7553/21/4142843-2019-2-IM.pdf>
- HACHI, J., RODRÍGUEZ, J. Estudio de Factibilidad para Reciclar envases plásticos de Polietileno Teraftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil, 2010. [Fecha de consulta: 4 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/20/UPS-GT000106.pdf>
- HERNÁNDEZ, Sergio. Diseño y Construcción de un Modelo de Rotor Eólico de Eje Vertical Tipo Savonius para la Obtención de Energía Mecánica. Tesis (Ingeniero Mecánico Eléctrico). Medellín: Universidad de EAFIT. 2012. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12559/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20UN%20MODELO%20DE%20ROTOR%20EOLICO%20DE%20EJE%20VERTICAL%20TIPO%20SAVONIUS%20PARA%20LA%20OBTENCIO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- HERNÁNDEZ, Doria [et al.]. Construcción de un generador eólico con material reciclable para la producción de energía eléctrica a escala local [En línea]. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana 2016. [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/3202>
- HERNÁNDEZ, Roberto. [et al.]. Metodología de la Investigación. 6ª ed. México: McGraw Hill, 2013. ISBN: 9781456223960
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambio Climático 2014 [en línea]. Suiza, 2015. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

- JARAUTA, Laura. Las energías renovables. 2ª ed. Barcelona: Editorial UOC., 2014. ISBN: 97884906434440.
- JING, Liu [et al.]. Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines [en línea]. China: Ocean Engineering, 2016. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.086>
- KISHORE, Ravi [et al.]. Energy scavenging from ultra-low temperature gradients 2018. S. l.: Energy Environmental Science, abril 2018. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324743604_Wind_Energy_Harvesting_Micro-to-Small_Scale_Turbines. ISSN: 1754-5706
- LA INDUSTRIA DE LA ELETRICIDAD EN EL PERÚ. OSINERGMIN: 2016. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf
- LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos, Ecuador: Cienciamérica, 1(3): 34 – 39, diciembre 2014. ISSN: 1390-9592.
- MARTINEZ, Diego. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica basado en la utilización de las energías solar y eólica, e integrado en el medio natural. Grado en Ingeniería Mecánica. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2016. [Fecha de consulta: 08 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6619/tfg-mardis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MEDRANO, José y MORENO, Conrado. Análisis sobre la influencia de la turbulencia en la producción energética de las turbinas eólicas [En línea]. Vol. 40, n° 10, Ene – Feb. 2019. [Fecha de consulta: 07 de diciembre de 2020]. La Habana. Disponible en:

<http://scielo.sld.cu/scielo.php?>

[script=sci_arttext&pid=S1815-59012019000100053](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012019000100053). ISSN:

1815-5901

- MEIER, Peter et. al. Perú Encuesta Nacional de Consumo de Energía a Hogares en el Ámbito Rural. Energía y Pobreza. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento: Estados Unidos, junio, 2010. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/87A9B1B3E4CAE8EF05257B0200731CB9/\\$FILE/575640P10996901umo0Hogares01PUBLIC1.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/87A9B1B3E4CAE8EF05257B0200731CB9/$FILE/575640P10996901umo0Hogares01PUBLIC1.pdf)
- MINH, Hoa, SUBBARAM, Desineri. Evolution of Wind Turbine Control Systems. United States: Encyclopedia of Life Support Systems, 2016. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311773574_Evolution_of_Wind_Turbine_Control_Systems
- MILUTINOV´C, Milan, C`ORIC, Mirko y DEUR, Joško. Operating cycle optimization for a Magnus effect-based airborne wind energy system. Energy Conversion and Management, n° 90: 154-165, october 2014. ISSN: 0196-8904
- Municipalidad Distrital de Usquil, Estudio de pre-inversión para el proyecto: "Mejoramiento y Ampliación del sistema de electrificación rural redes primarias 13.2kv-2ø y redes secundarias 440/220v para los caseríos de la banda, Ramon Castilla, Pampa verde, Comus y El Alizo, Distrito Usquil-Otuzco- La Libertad". Perú, 2015. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020]. Disponible en: <file:///D:/Documentos/Downloads/Download.pdf>
- MUYEEN, S.M. Wind Energy Conversion Systems. U.A.E.: Springer. 2012. ISBN: 978-1-4471-2200-2.
- NELSON, Vaghn. Wind Energy Wind Energy: Renewable Energy and the Environment. 2ª ed. United States: Editorial CRC, 2013. 86-88 pp. ISBN: 9781466581616.

- PALLI, Edwin. Análisis y Simulación de la variación de las velocidades para un aerogenerador de 20kw mediante el software SolidWorks. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Perú: Universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez, 2019. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4494>
- PERKOVIC, Lucka [et al.]. Harvesting high altitude wind energy for power production: The concept based on Magnus' effect, 101: 151-160, enero 2013 [Fecha de consulta: 8 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.061>
- Perú: Perfil Sociodemográfico. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática, agosto 2018. [Fecha de consulta: 2 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Plan Energético Nacional 2014 – 2025. Lima: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2014. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2020]. Disponible: <https://deltavolt.pe/documentos/Resumen2014-2025Vf.pdf>
- Principales indicadores del sector eléctrico a nivel Nacional. MINEM: febrero 2020. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2020]. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/archivos/Cifras_preliminares_del_Sector_Electrico_-_Enero_2020-V5-zg24z14kebk2z788.pdf.
- Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora). S.I.: Banco Mundial, 2014. [Fecha de consulta: 16 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.RNWX.KH?end=2015&start=1960&view=chart>
- JACKSON, Robert [et al.]. Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health. Environmental Research Letters, 14(12): 4 diciembre, 2019. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaf303/pdf>. ISSN: 1748-9326

- REZAEIHA, Abdolrahim, MONTAZERI, Hamid y BLOCKEN, Bert. A framework for preliminary large-scale urban wind energy potential assessment: Roof-mounted wind turbines. The Netherlands: Energy Conversion and Management, 214: 112770, julio 2020. [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112770>. ISSN: 0196-8904
- RICHMOND-NAVARRO Gustavo. Desempeño de turbinas eólicas Magnus de eje horizontal en función de sus variables geométricas y cinemáticas. Costa Rica: Tecnología en Marcha, 29(1), marzo 2016. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000100038. ISSN: 0379-3982
- SEDAGHAT, Ahmad. Magnus type wind turbines: Prospectus and challenges in design and modelling. Islamic Republic of Iran: Renewable Energy, 62: 619-628, febrero 2013. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.029>. ISSN: 0960-1481
- SEIFERT, Jost. A review of the Magnus effect in aeronautics. Germany: Progress in Aerospace Sciences, 55: 17-45, noviembre 2012. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2012.07.001>. ISSN: 0376-0421
- TALAYERO, Ana, TELMO, Enrique. Energía eólica (Serie Energías renovables). 2.^a ed. España: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011. 343 pp. ISBN: 9788415274971.
- Tres millones de personas aún carecen de energía eléctrica en Perú. RPP. Setiembre 2012. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2020]. Disponible en:

<https://rpp.pe/peru/actualidad/tres-millones-de-personas-aun-carecen-de-energia-electrica-en-peru-noticia-518940?ref=rpp>

- TORRES, Daniela. Diseño de un Generador Eólico de Eje Vertical de Baja Potencia. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2015. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/186c/bfbdad10ea9b541f53aa3c2f8f70bd1ed172.pdf>
- TRIPATHY M., KANTI, Rajat. A new perspective on wind integrated optimal power flow considering turbine characteristics, wind correlation and generator reactive limits. India: Electric Power Systems Research, 170: 101-115, mayo 2019. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2019.01.018>. ISSN: 0378-7796
- VERA, Alejandro. Simulación con SolidWorks. Análisis estático lineal. Perú: Editorial MACRO, 2014. 311 pp. [Fecha de Consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=J7kuDgAAQBAJ&pg=PA19&dq=programa+solidwork+uso&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjQk8XA7vrpAhUksTEKHTrpBe8Q6AEINzAC#v=onepage&q&f=false>. ISBN: 9786123042141
- VERRS, Paul [et al.]. Renewable Energy: Grand challenges in the science of wind energy. EE. UU: Science, 366(6464) octubre 2019. [Fecha de Consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/366/6464/eaau2027/tab-pdf>. ISSN: 0036-8075
- VIAÑA, Lady, Manual de Costos y Presupuestos. Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico-ITSA. Colombia, 2007. ISBN: 9789585739321
- VILLARRUBIA, Miguel. Ingeniería de la Energía Eólica. Barcelona: Editorial Alfaomega, 2013. 328 pp.

ISBN: 8432910627

- Wind Energy Math Calculations. EE. UU: Minnessota Municipal Power Agency (MMPA). S. f. [Fecha de Consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <https://mmpa.org/wp-content/uploads/2015/09/Tip-Speed-Ratio-Provided-by-Kid-Wind-PDF.pdf>
- WONG, Michelle. Diseño de un aerogenerador vertical Savonius-curvado para ensayos experimentales con velocidades de 4 m/s a 8 m/s. Tesis (Ingeniero Mecánico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. 2015. [Fecha de Consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6731>
- YICHENG, Chen [et al.]. Wind Generator Topologies. S. I.: IEEE Transactions on Industry Applications, 41(6): 1619-1626, december 2005. [Fecha de Consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/3172056_PM_Wind_Generator_Topologies. ISSN: 0093-9994
- ZEBALLOS, Joany. Ingeniería de Costos y Presupuestos. Arequipa: Universidad Autónoma San Francisco. 2016. [Fecha de Consulta: 30 de junio de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uasf.edu.pe/bitstream/UASF/88/1/IngenieriaCostosPresupuestos.pdf>

ANEXOS

Tabla 19. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable 1: Diseño y simulación del generador eólico y sus tres modificaciones mediante el programa Solidwork.	El sistema de análisis de diseño SolidWorks permite la resolución de problemas de manera rápida y precisa, de esta manera se ahorra tiempo y esfuerzo en los resultados de diseños óptimos. (Vera, 2014, p. 9)	Se determinará el modelo del prototipo, así como tres modificaciones con el programa Solidwork.	Resistencia eólica	Resistencia con respecto a la presión del viento	Razón
			Comportamiento eólico	Comportamiento del sistema con respecto al flujo del viento: turbulencia	Ordinal
Variable 2: Generación de energía bajo las condiciones climáticas del distrito de Usquil.	La velocidad del viento es muy variable, debido a muchos factores climatológicos, del tiempo, entre otros, es por ello que no se puede aprovechar la energía al 100%. (Torres, 2015, p. 47).	Los datos de las condiciones climáticas de Usquil serán extraídos del SENAMHI 2019 y del Atlas Eólico del Perú.	Variables climáticas	Velocidad del viento	Razón
				Temperatura	Razón
				Presión del viento	Razón
			Energía Anual Producida	Densidad aparente	Razón
				Área de barrido	Razón
				Potencia disponible del viento	Razón
Factor de capacidad estimada	Razón				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Instrumento de recolección de datos

Ficha de datos de la velocidad de viento y temperatura tomados del SENAMHI

PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO		
(DATOS SENAMHI)		
AÑO: _____	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)
MESES		
ENERO		
FEBRERO		
MARZO		
ABRIL		
MAYO		
JUNIO		
JULIO		
AGOSTO		
SETIEMBRE		
OCTUBRE		
NOVIEMBRE		
DICIEMBRE		

Fuente: Elaboración propia

Ficha de datos climatológicos que se ingresarán al programa SolidWorks

DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, TEMPERATURA Y PRESIÓN DEL VIENTO			
MESES	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	TEMPERATURA (°C)	PRESION DEL VIENTO (Pa)
ENERO			
FEBRERO			
MARZO			
ABRIL			
MAYO			
JUNIO			
JULIO			
AGOSTO			
SETIEMBRE			
OCTUBRE			
NOVIEMBRE			
DICIEMBRE			

Fuente: Elaboración propia

Ficha para la validación del instrumento realizada a un experto

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

- ❖ Apellidos y Nombres:
- ❖ Profesión:
- ❖ Grado académico:
- ❖ Actividad laboral actual:

INDICACIONES AL EXPERTO

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 NADA	2 POCO	3 REGULAR	4 ALTO	5 MUY ALTO

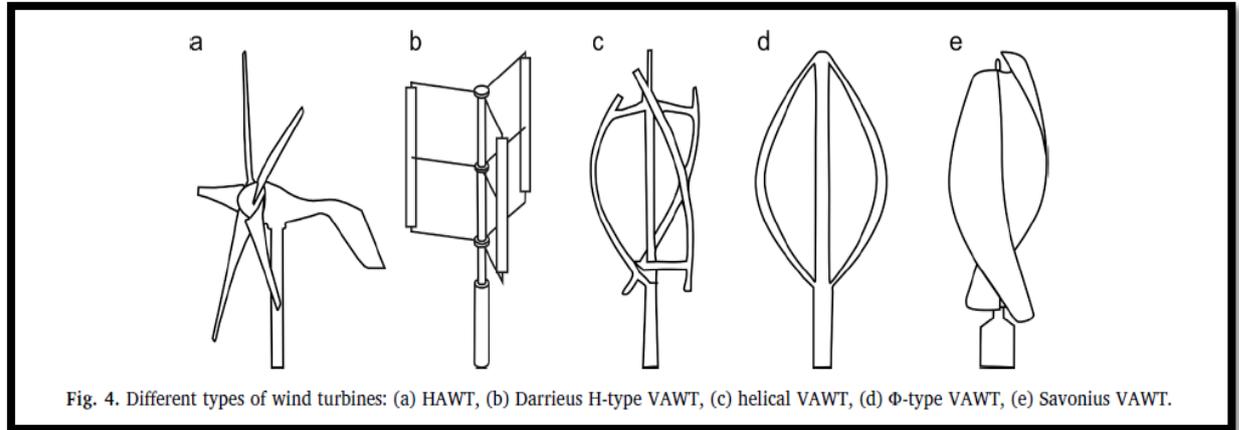
FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
Análisis teóricos realizados (AT).			
Experiencia como profesional (EP).			
Trabajos estudiados de autores nacionales (AN).			
Trabajos estudiados de autores extranjeros (AE).			
Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación.			

Firma del entrevistado

Fuente: Adaptado de Velarde (2017, p. 80)

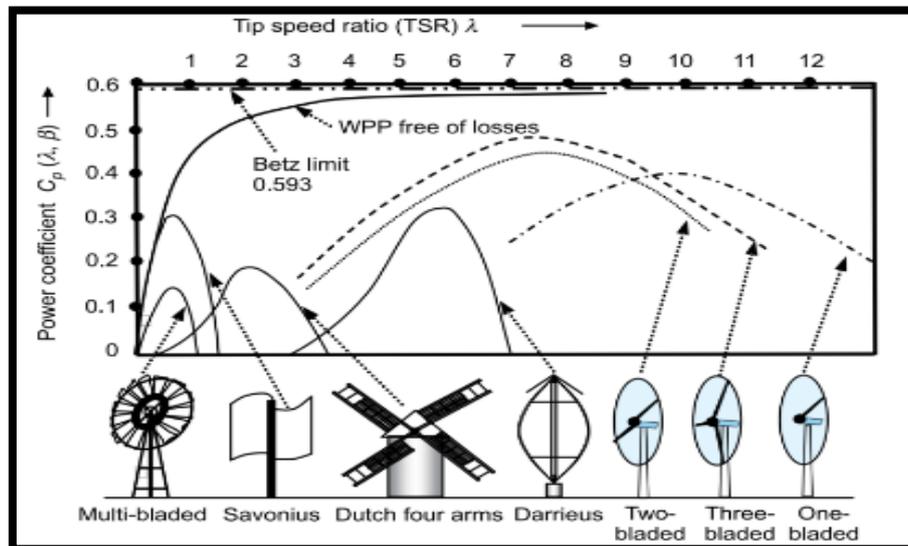
Anexo 5: Figuras con respecto a los Generadores Eólicos

Figura N°11. Tipos de generadores eólicos de eje vertical



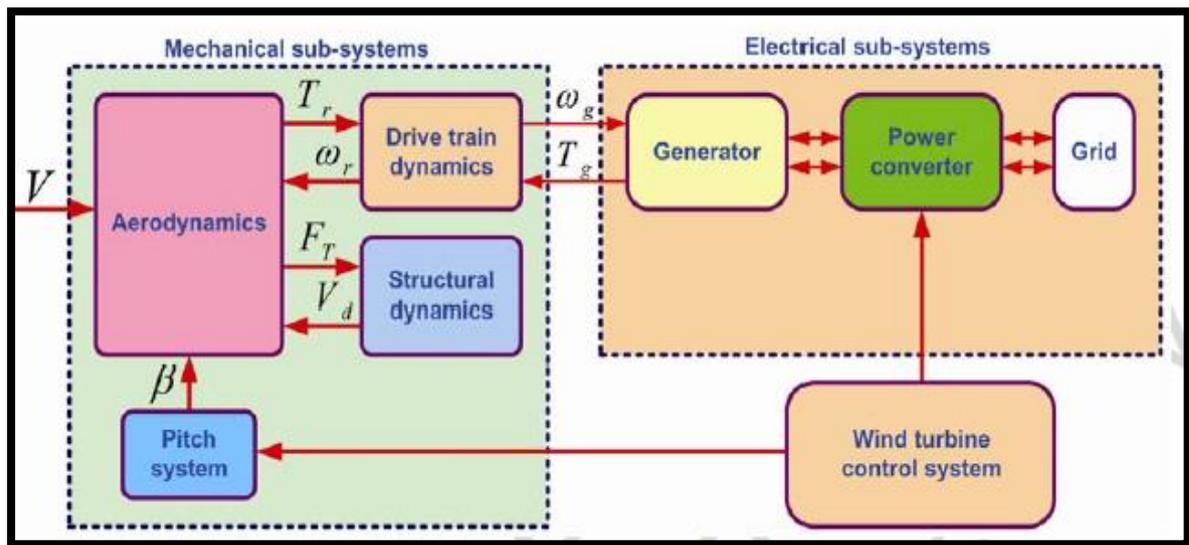
Fuente: Rezaheia et al. (2020, p. 6)

Figura N°12. Coeficiencia de Potencia (C_p) vs Tip-Speed Ratio (TSR) para diferentes tipos de Turbinas eólicas.



Fuente: Earnest y Rachel (2019, p.94)

Figura N°13. Sistema de conversión de energía



Fuente: Minh and Subbaram (2016, p. 7)

ANEXO 6: Base de datos proporcionados por el SENAMHI

Figura N°14. Ejemplo de la Base de datos del SENAMHI de enero del 2017

2017 Enero [Modo de compatibilidad]

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda

Calibri 11 Ajustar texto General

Portapapeles Fuente Alineación Número

F1

Estación : USQUIL							
o : LA LIBERTAD		Provincia : OTUZCO		Distrito : USQUIL			
Latitud : 7°49'6.97"		Longitud : 78°24'53.9"		Altitud : 3123 msnm.			
Tipo : Meteorológica Código : 472D60B4							
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATUR A (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	
01/01/2017	00:00	10.2	0	88	233	0.6	
01/01/2017	01:00	9.4	0	99	221	0.7	
01/01/2017	02:00	9.3	0	99	285	0.3	
01/01/2017	03:00	9.1	0.1	99	55	0.3	
01/01/2017	04:00	8.9	0	99	182	0	
01/01/2017	05:00	9	0	98	195	1.2	
01/01/2017	06:00	9.6	0.1	93	215	0	
01/01/2017	07:00	10.2	0	87	91	0	
01/01/2017	08:00	10.6	0	88	176	0.1	
01/01/2017	09:00	11.7	0	87	329	0	
01/01/2017	10:00	11.8	0	87	137	0.2	
01/01/2017	11:00	13.1	0	84	345	0.8	
01/01/2017	12:00	13	0	86	335	0.8	
01/01/2017	13:00	13.6	0	85	249	0.6	
01/01/2017	14:00	14.9	0	81	255	1	
01/01/2017	15:00	14.2	0	89	245	2.3	
01/01/2017	16:00	12.5	1.1	93	258	2.8	
01/01/2017	17:00	10.1	19.1	99	236	0	
01/01/2017	18:00	10.2	2.3	99	348	0.3	
01/01/2017	19:00	9.7	3.5	100	354	0	
01/01/2017	20:00	9.8	0.6	100	124	0	
01/01/2017	21:00	9.6	0	100	144	0.1	

Fuente: SENAMHI (2017)

Figura N°15. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de enero de 2017

ANO / MES / DIA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACION (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
01/01/2017	00:00	10.2	0	88	233	0.6
01/01/2017	01:00	9.4	0	99	221	0.7
01/01/2017	02:00	9.3	0	99	285	0.3
01/01/2017	03:00	9.1	0.1	99	55	0.3
01/01/2017	04:00	8.9	0	99	182	0
01/01/2017	05:00	9	0	98	195	1.2
01/01/2017	06:00	8.6	0.1	93	215	0
01/01/2017	07:00	10.2	0	87	91	0
01/01/2017	08:00	10.6	0	89	176	0.1
01/01/2017	09:00	11.7	0	87	329	0
01/01/2017	10:00	11.8	0	87	137	0.2
01/01/2017	11:00	13.1	0	84	345	0.8
01/01/2017	12:00	13	0	86	335	0.8
01/01/2017	13:00	13.6	0	85	249	0.6
01/01/2017	14:00	14.9	0	81	255	1
01/01/2017	15:00	14.2	0	89	245	2.3
01/01/2017	16:00	12.5	1.1	93	258	2.8
01/01/2017	17:00	10.1	19.1	99	236	0
01/01/2017	18:00	10.2	2.3	99	348	0.3
01/01/2017	19:00	9.7	3.5	100	354	0
01/01/2017	20:00	9.8	0.6	100	124	0
01/01/2017	21:00	9.6	0	100	114	0.1

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)		TEMPERATURA (°C)	
Media	1.085810811	Media	10.27540541
Error típico	0.042627922	Error típico	0.076090764
Mediana	0.7	Mediana	9.8
Moda	0	Moda	9.8
Desviación estánd	1.159604835	Desviación estandar	2.069892553
Varianza de la mu	1.344683374	Varianza de la muestra	4.28445518
Curtosis	0.804597502	Curtosis	0.967951226
Coefficiente de asimetría	1.217474829	Coefficiente de asimetría	1.117590864
Rango	6	Rango	11.8
Mínimo	0	Mínimo	6.5
Máximo	6	Máximo	18.3
Suma	803.5	Suma	7603.8
Cuenta	740	Cuenta	740

Fuente: Elaboración propia

Figura N°16. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de febrero de 2018

DIA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACION (mm/hora)	HUMEDAD (%)	VIENTO (°)	(m/s)
01/02/2018	00:00	10.1	0	100	114	0.5
01/02/2018	01:00	9.8	0	100	170	0.4
01/02/2018	02:00	9.8	0.1	100	101	0.3
01/02/2018	03:00	9.9	0	100	102	0.8
01/02/2018	04:00	9.5	0	100	186	0.3
01/02/2018	05:00	9.5	0.1	100	183	0.6
01/02/2018	06:00	9.4	0	100	56	0
01/02/2018	07:00	9.3	0.1	100	144	2
01/02/2018	08:00	10.2	0	100	233	0.3
01/02/2018	09:00	12.4	0	88	275	0.4
01/02/2018	10:00	14.5	0	83	340	0.4
01/02/2018	11:00	15.8	0	93	315	0.6
01/02/2018	12:00	17.2	0	90	259	3
01/02/2018	13:00	18	0	88	256	3.7
01/02/2018	14:00	19	0	79	261	4.3
01/02/2018	15:00	15.8	0	94	273	5.4
01/02/2018	16:00	12.2	0	100	253	6.4
01/02/2018	17:00	11.7	0	100	252	3.1
01/02/2018	18:00	11.2	0	100	268	2.4
01/02/2018	19:00	11	0	100	259	0
01/02/2018	20:00	10.7	0	100	243	1.8

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)		TEMPERATURA (°C)	
Media	1.47880597	Media	10.4946269
Error típico	0.062705282	Error típico	0.09384941
Mediana	0.8	Mediana	9.8
Moda	0	Moda	9.4
Desviación estandar	1.623085992	Desviación estandar	2.42923175
Varianza de la muestra	2.634408139	Varianza de la muestra	5.9011669
Curtosis	0.758874587	Curtosis	0.62526466
Coefficiente de asimetría	1.26152705	Coefficiente de asimetría	0.96367905
Rango	7.2	Rango	12.7
Mínimo	0	Mínimo	6.3
Máximo	7.2	Máximo	19
Suma	990.8	Suma	7031.4
Cuenta	670	Cuenta	670

Fuente: Elaboración propia

Figura N°17. Cálculo del promedio de la velocidad y temperatura del mes de marzo de 2019

Estación : USQUIL						
Departamento : LA LIBERTAD		Provincia : OTUZCO		Distrito : USQUIL		
Latitud : 7°49'37"		Longitud : 78°24'53.3"		Altitud : 3123 msnm.		
Tipo : Meteorológica		Código : 472D6B04				
DÍA	HORA	A (°C)	(mm/hora)	(%)	WIENTO (°)	WIENTO (m/s)
01/03/2019	00:00	10.2	0.2	99	215	0
01/03/2019	01:00	10.1	0	99	171	0.4
01/03/2019	02:00	10	0	99	188	0
01/03/2019	03:00	9.8	0.2	99	262	2
01/03/2019	04:00	9.6	4.4	99	236	1.9
01/03/2019	05:00	9.5	0.3	99	243	1.1
01/03/2019	06:00	9.5	0.1	99	250	0.1
01/03/2019	07:00	9.6	4.9	99	222	1
01/03/2019	08:00	9.8	1.4	99	180	0
01/03/2019	09:00	10.5	0	99	13	0.1
01/03/2019	10:00	10.8	0	99	39	0.2
01/03/2019	11:00	11.5	0	98	27	0.6
01/03/2019	12:00	12.1	0	97	234	0
01/03/2019	13:00	12	0	96	239	1.3
01/03/2019	14:00	12.5	0	96	282	3.3
01/03/2019	15:00	11.7	0.8	98	252	1.4
01/03/2019	16:00	10.7	8.3	98	279	2.2
01/03/2019	17:00	10.4	2.9	99	283	2.9
01/03/2019	18:00	10	8.6	99	265	3.3
01/03/2019	19:00	9.9	8.6	99	286	4
01/03/2019	20:00	9.7	24.5	99	309	2.6
01/03/2019	21:00	9.3	2.9	99	292	2.9

VELOCIDAD DEL WIENTO (m/s)		TEMPERATURA (°C)	
Media	1.197931034	Media	11.67586207
Error típico	0.046827051	Error típico	0.082338506
Mediana	0.8	Mediana	10.9
Moda	0	Moda	10.5
Desviación estándar	1.260857211	Desviación estándar	2.217032132
Varianza de la mue	1.589760907	Varianza de la mu	4.915231473
Curtosis	5.006509263	Curtosis	0.659469544
Coefficiente de asin	1.825738151	Coefficiente de asi	1.138378178
Rango	9.9	Rango	11.4
Mínimo	0	Mínimo	8.5
Máximo	9.9	Máximo	19.9
Suma	868.5	Suma	8465
Cuenta	725	Cuenta	725

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7: Procesamiento de datos proporcionados por el SENAMHI

A continuación, se presentan los resultados de las velocidades de viento de los años 2017 al 2019 fueron proporcionados por SENAMHI, encontrados en el siguiente link: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=la-libertad&p=estaciones>

Dichos datos dados por el SENAMHI fueron extraídos en tabla de EXCEL, en donde se encuentran los datos tanto de la velocidad del viento como de temperatura, diarios y por horas, de cada mes. A dichos datos mensuales se le realizó un promedio mediante la estadística descriptiva, se ordenaron por años, es decir del 2017 al 2019 y finalmente a se obtuvo un promedio general según el mes, obteniendo así doce datos; tanto de la velocidad de viento, como de la temperatura.

La base de datos tanto extraídos del SENAMHI, como los procesados, se encuentran en las siguientes tablas:

DATOS DEL AÑO 2017

Fuente:	SENAMHI	Latitud:	7°49'6.97"
Distrito Provincia	Usquil - Otuzco	Longitud:	78°24'53.9"
Departamento:	La Libertad	Altitud:	3123 msnm.

PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO		
AÑO: 2017	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)
MESES		
ENERO	1.09	10.28
FEBRERO	1.35	10.18
MARZO	1.22	10.45
ABRIL	0.96	11.43
MAYO	1.03	11.50
JUNIO	1.02	11.75
JULIO	1.27	12.49
AGOSTO	1.36	12.47
SETIEMBRE	1.30	12.49
OCTUBRE	1.49	11.69
NOVIEMBRE	1.59	11.31
DICIEMBRE	1.38	10.97

Fuente: SENAMHI

DATOS DEL AÑO 2018

Fuente:	SENAMHI	Latitud:	7°49'6.97"
Distrito Provincia	Usquil - Otuzco	Longitud:	78°24'53.9"
Departamento:	La Libertad	Altitud:	3123 msnm.

PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO		
AÑO: 2018	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)
MESES		
ENERO	1.27	10.71
FEBRERO	1.48	10.49
MARZO	1.17	11.03
ABRIL	1.23	11.03
MAYO	1.09	11.23
JUNIO	1.19	11.65
JULIO	1.64	11.96
AGOSTO	1.91	12.36
SETIEMBRE	1.64	12.44
OCTUBRE	1.69	11.41
NOVIEMBRE	1.50	11.26
DICIEMBRE	1.38	11.51

Fuente: SENAMHI

DATOS DEL AÑO 2019

Fuente:	SENAMHI	Latitud:	7°49'6.97"
Distrito Provincia	Usquil - Otuzco	Longitud:	78°24'53.9"
Departamento:	La Libertad	Altitud:	3123 msnm.

PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO		
AÑO: 2019	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)
MESES		
ENERO	1.21	11.38
FEBRERO	1.28	11.38
MARZO	1.20	11.68
ABRIL	1.08	11.77
MAYO	0.91	11.92
JUNIO	1.33	13.10
JULIO	1.32	12.03
AGOSTO	1.43	12.25
SETIEMBRE	1.31	12.29
OCTUBRE	1.29	11.09
NOVIEMBRE	1.28	11.12
DICIEMBRE	1.15	10.99

Fuente: SENAMHI

**PROMEDIOS MENSUALES DE LA VELOCIDAD DE VIENTO Y
TEMPERATURA**

AÑO 2017, 2018 y 2019

Fuente:	SENAMHI	Latitud:	7°49'6.97"
Distrito - Provincia	Usquil - Otuzco	Longitud:	78°24'53.9"
Departamento:	La Libertad	Altitud:	3123 msnm.

MES	PROMEDIO VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDADES MÁXIMAS DEL VIENTO REGISTRADAS (m/s)	PROMEDIO DE LA TEMPERATURA (°C)
ENERO	1.1893	11.8	10.7877
FEBRERO	1.3698	8.1	10.6847
MARZO	1.1955	9.9	11.0504
ABRIL	1.0906	7.3	11.4109
MAYO	1.0065	6.3	11.5511
JUNIO	1.1792	8.4	12.1691
JULIO	1.4079	10.9	12.1575
AGOSTO	1.5666	12.6	12.3591
SETIEMBRE	1.4183	10.5	12.4052
OCTUBRE	1.4904	9.6	11.3968
NOVIEMBRE	1.4588	9	11.2281
DICIEMBRE	1.3028	7.7	11.1553

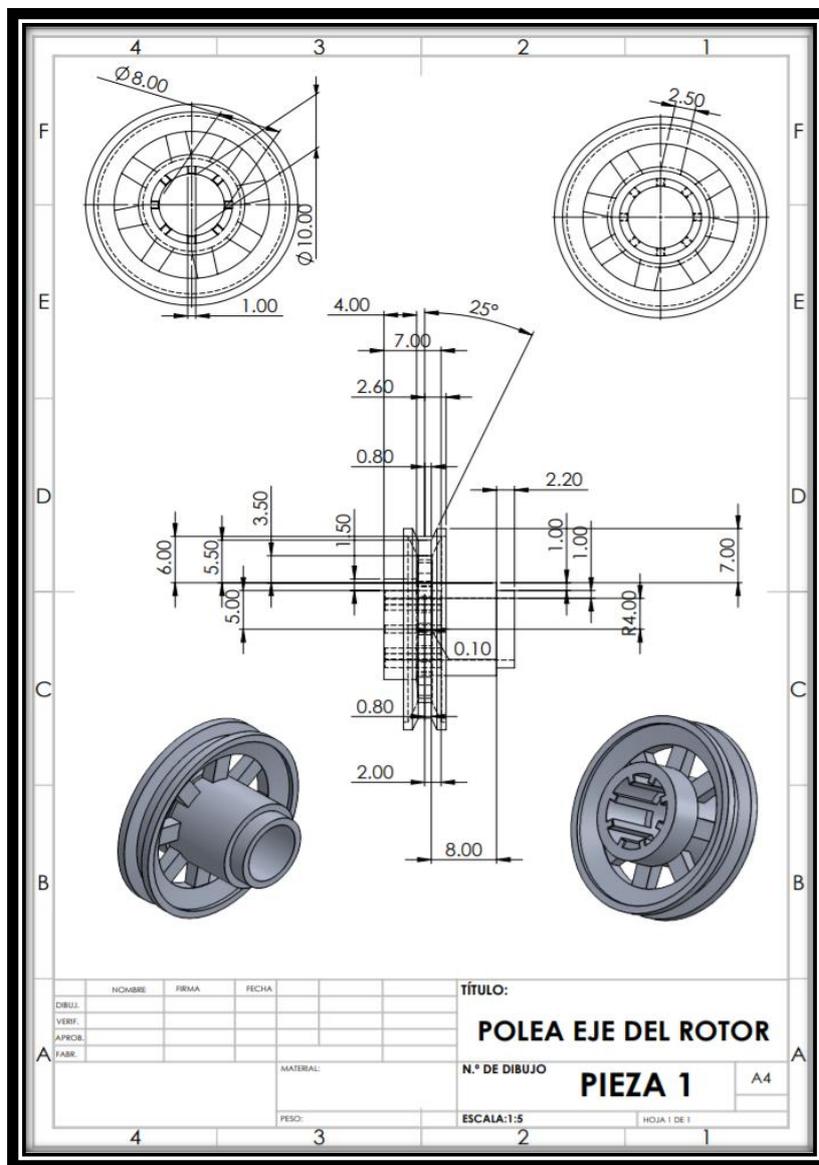
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: Piezas del Prototipo del Generador Eólico simulado
PIEZAS GENERALES DEL PROTOTIPO DEL AEROGENERADOR

PIEZA 8: POLEA DE EJE DE ROTORES

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 2.32 kilogramos
- c. Diseño y Croquis de la pieza:

Figura N°18: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la polea para los ejes de los rotores

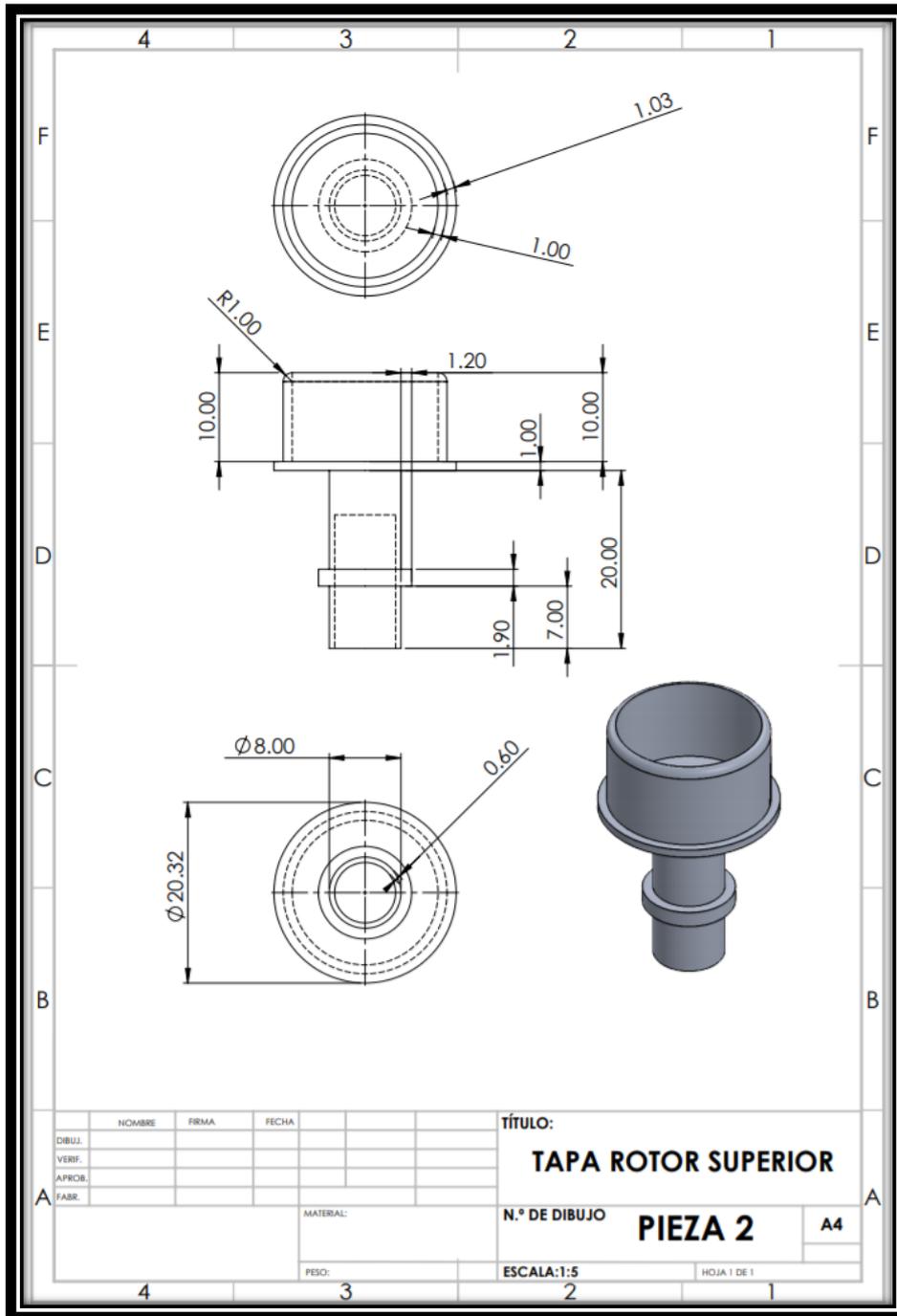


Fuente: Elaboración propia

PIEZA 2: TAPA ROTOR SUPERIOR

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno).
- b. Masa de pieza: 1.96 kilogramos.
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°19: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa superior de los rotores

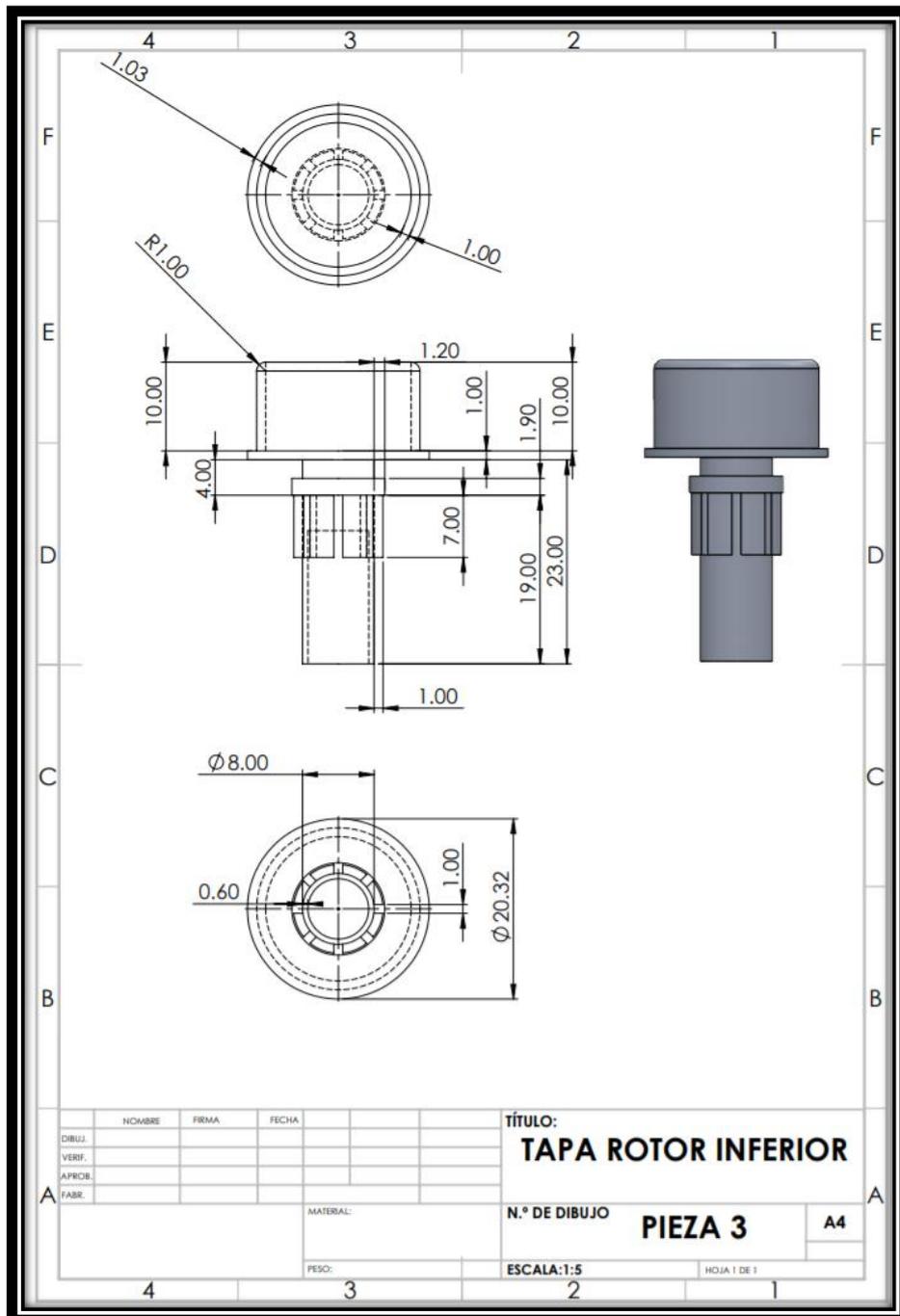


Fuente: Elaboración propia

PIEZA 3: TAPA ROTOR INFERIOR

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 2.38 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°20: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa inferior de los rotores

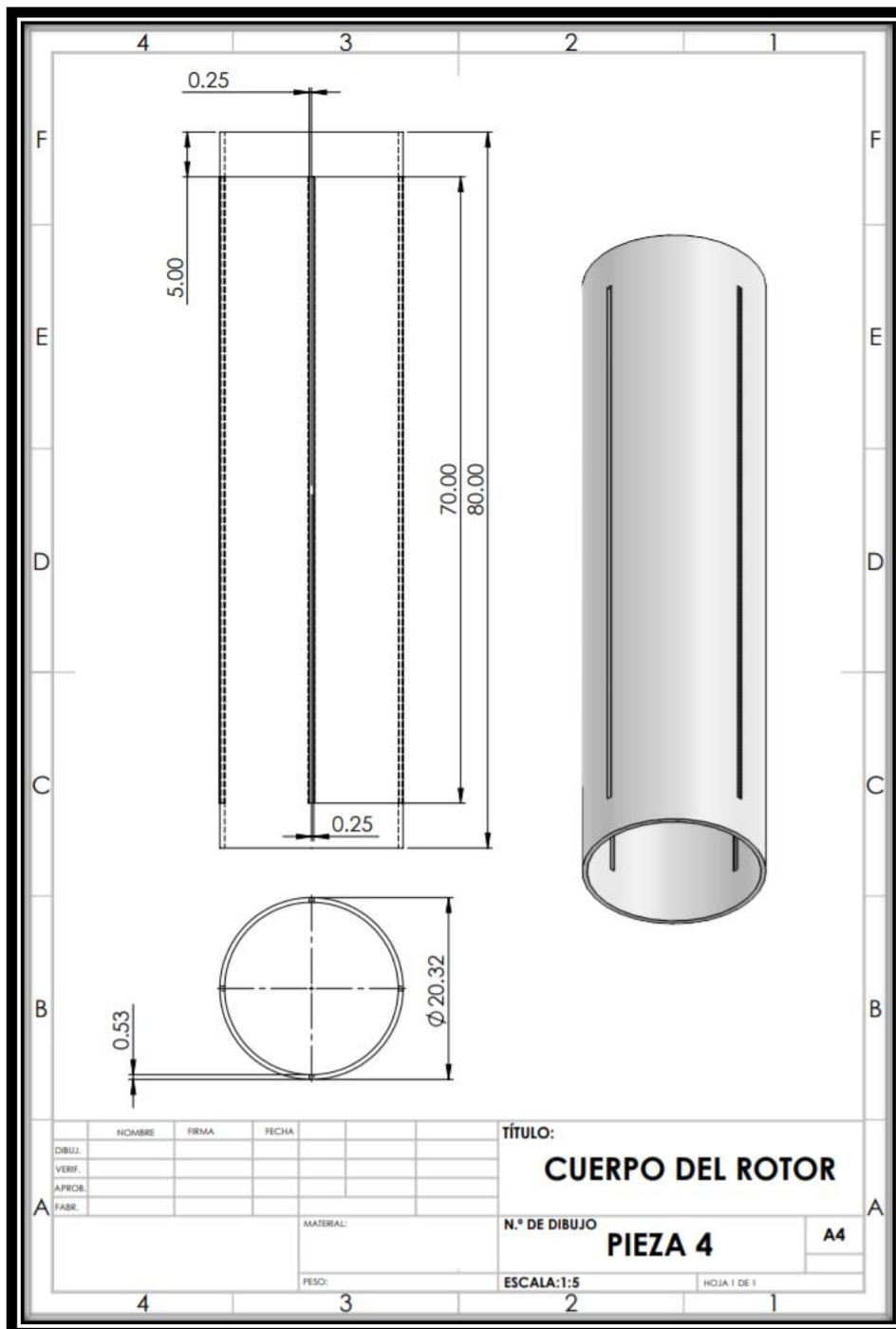


Fuente: Elaboración propia

PIEZA 4: CUERPO DEL ROTOR

- Tipo de material: Plástico PVC Rígido (Cloruro de polivinilo).
- Masa de pieza: 3.329 kilogramos.
- Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°21: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de los rotores

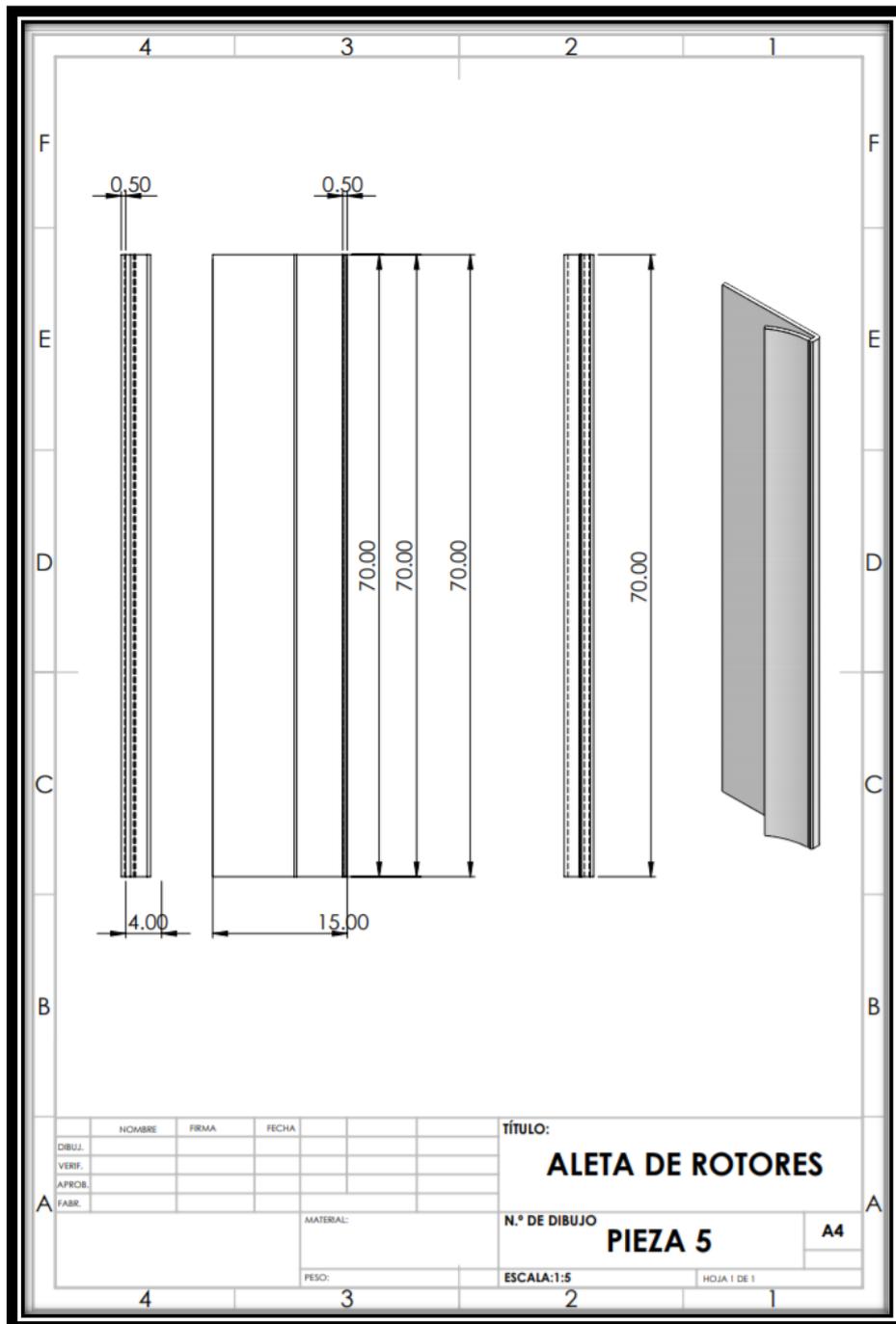


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 5: ALETA DE ROTORES

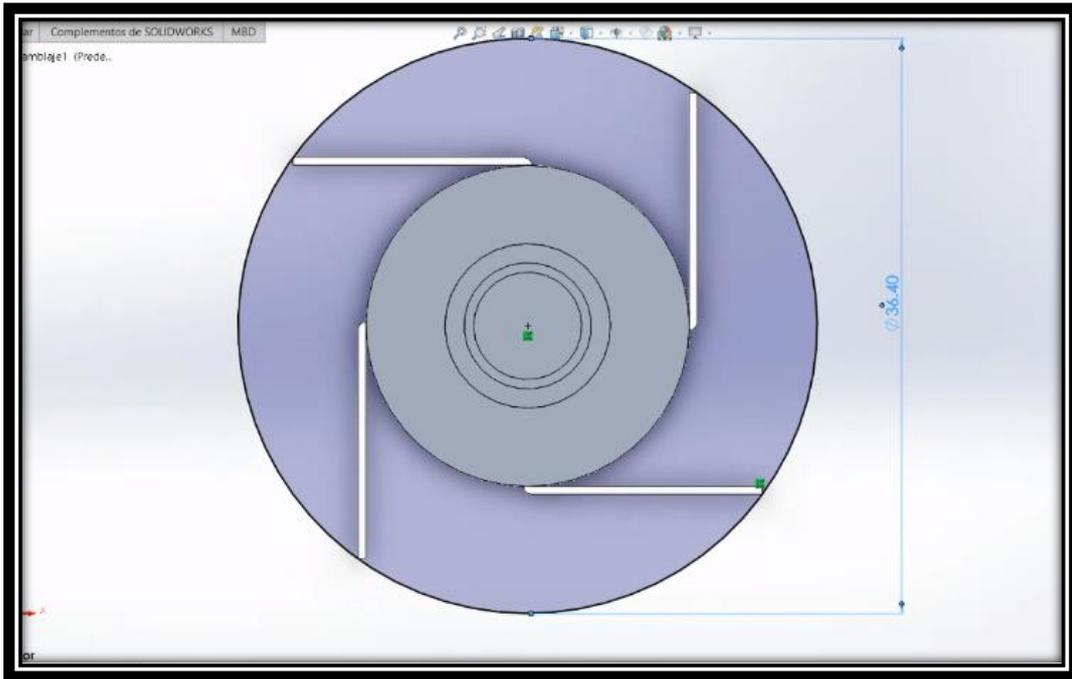
- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno).
- b. Masa de pieza: 1.072 kilogramos.
- c. Croquis y Diseño de la pieza.

Figura N°22: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la tapa inferior de los rotores



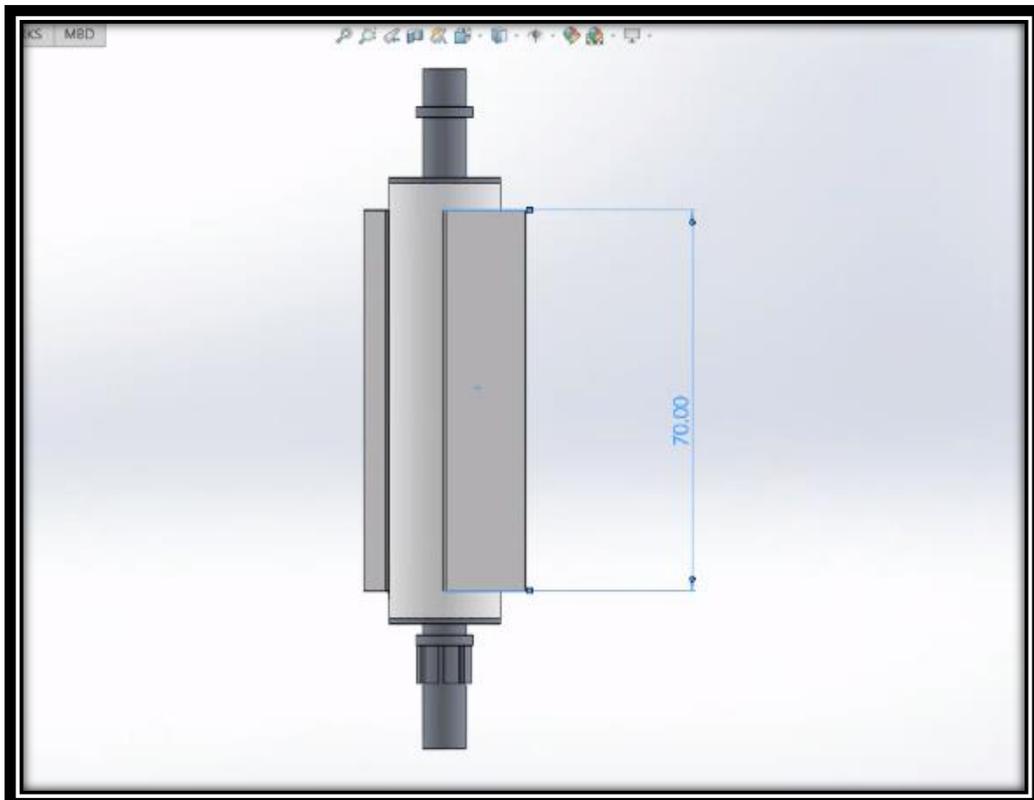
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°23: Diámetro del rotor



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°24: Altura del área de barrido



Fuente: Elaboración Propia

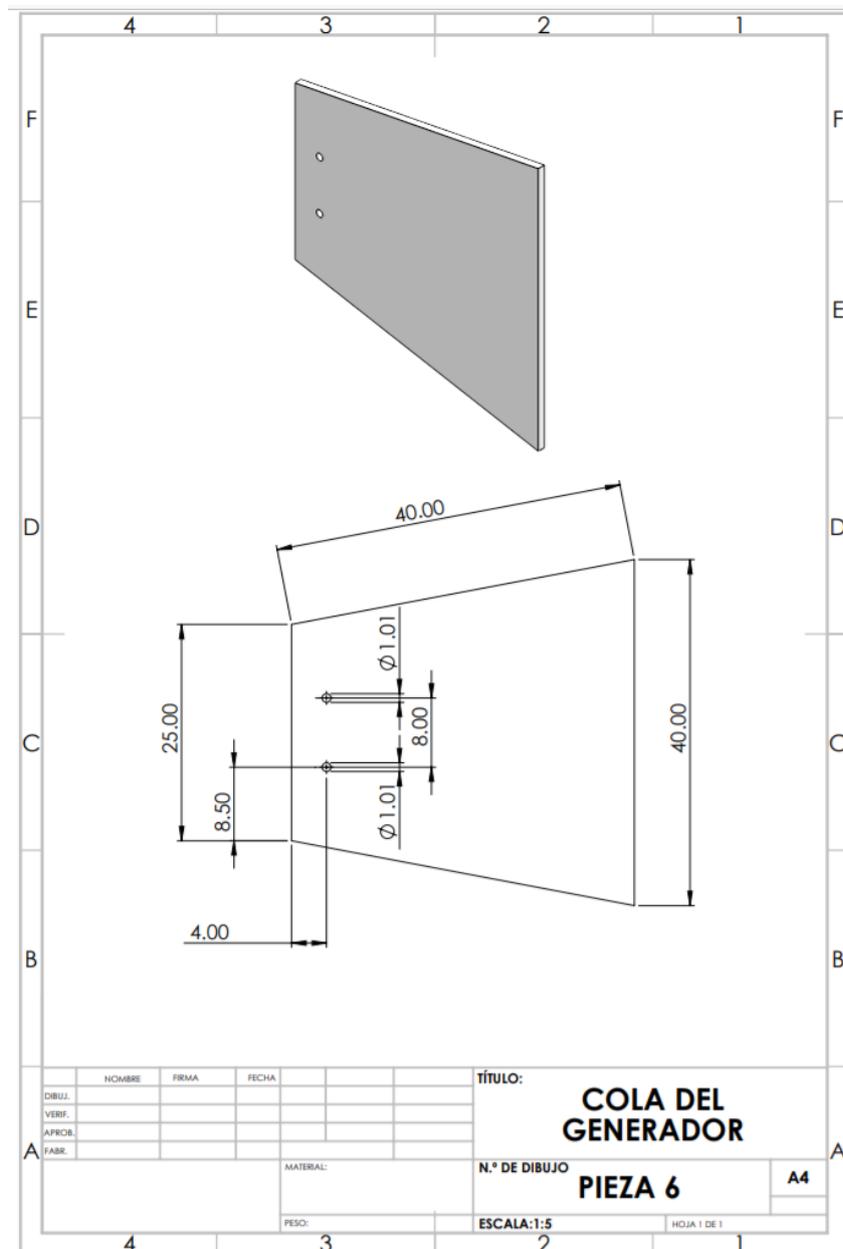
ANEXO 8. PIEZAS QUE MODIFICAN AL DISEÑO GENERAL

MODIFICACION 1 (M1)

PIEZA 6: COLA DEL GENERADOR

- Tipo de material: Aleación de Aluminio EN – AW 1350A
- Masa de pieza: 3.443 kilogramos
- Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°25: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la cola del generador eólico

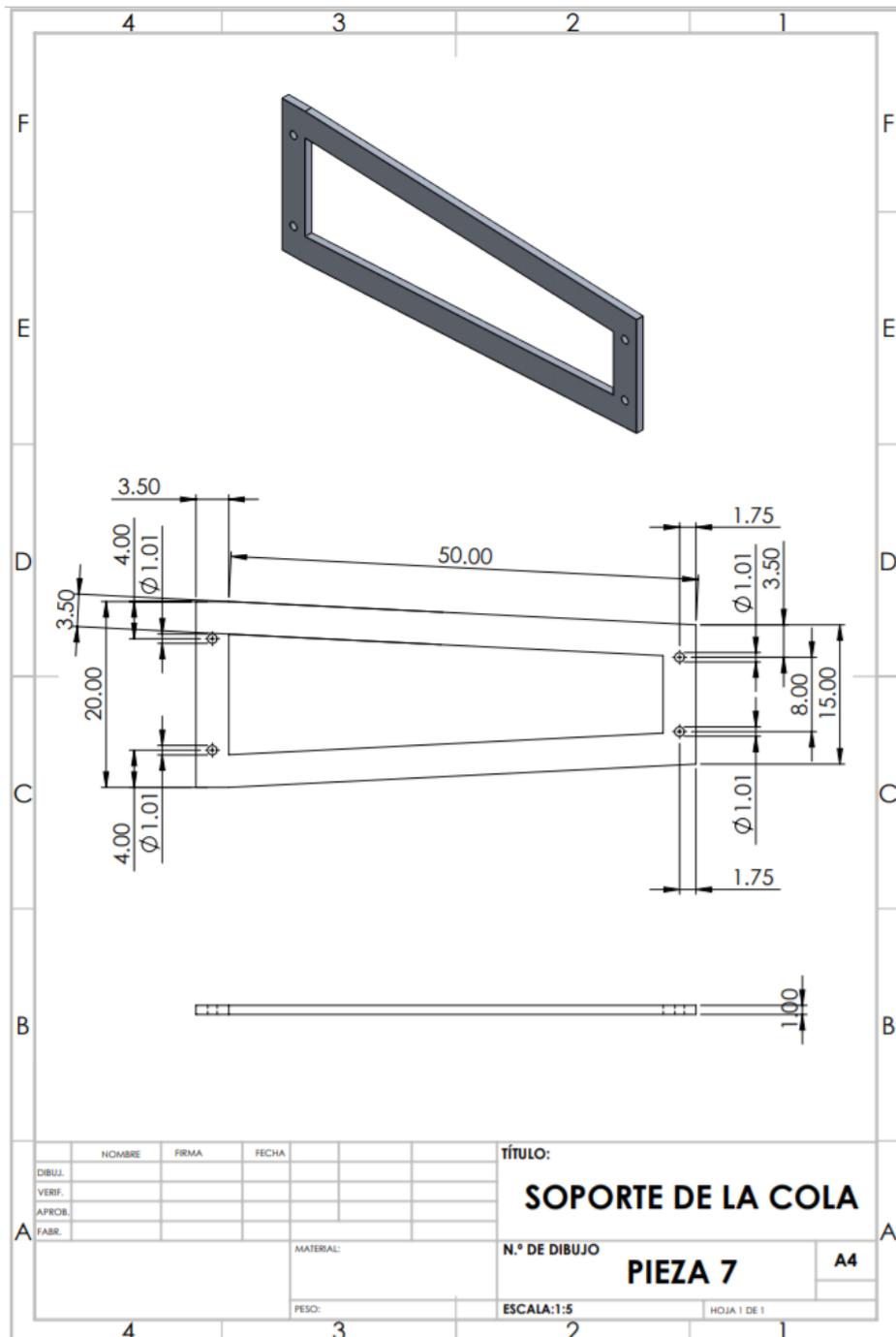


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 7: SOPORTES DE LA COLA

- a. Tipo de material: Aleación de Aluminio EN – AW 1350A
- b. Masa de pieza: 1.203 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°26: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de los soportes de la cola del generador eólico

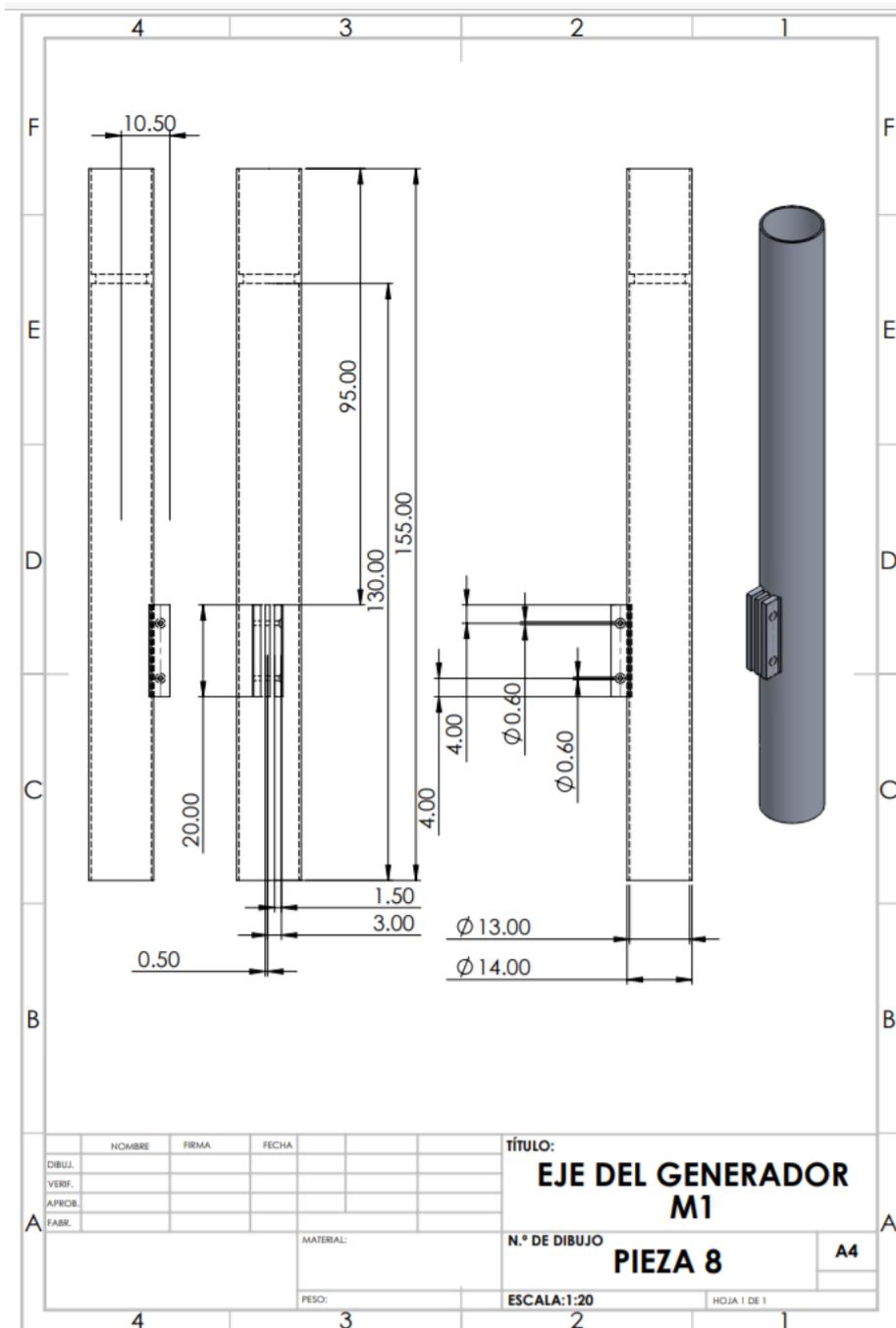


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 8: EJE DEL GENERADOR M1

- a. Tipo de material: Aleación de Aluminio EN – AW 1350A
- b. Masa de pieza: 9.880 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°27: Diseño en CAD en el programa SolidWorks del Eje del generador de la Modificación 1

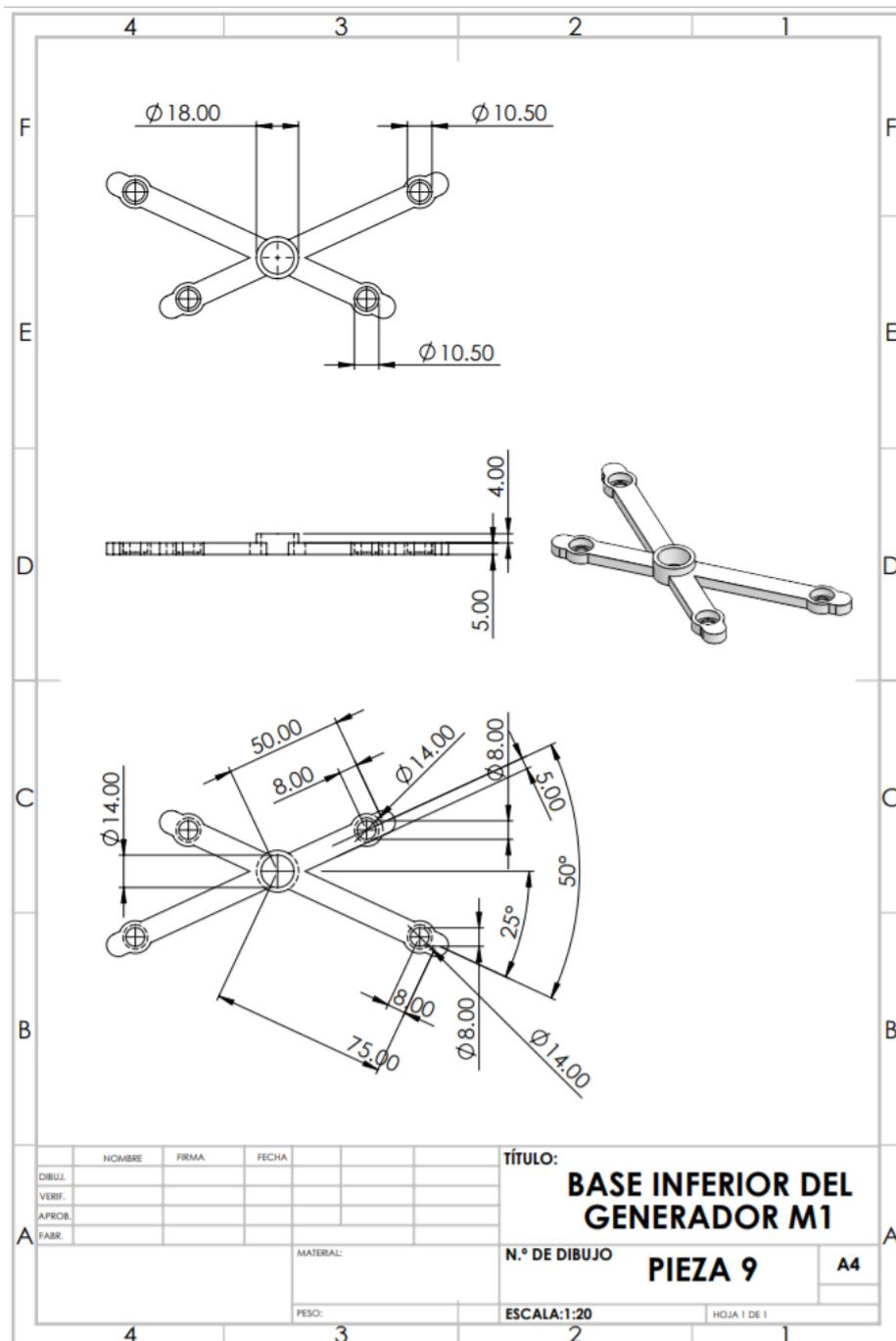


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 9: BASE INFERIOR DEL GENERADOR M1

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 16.191 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°28: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 1

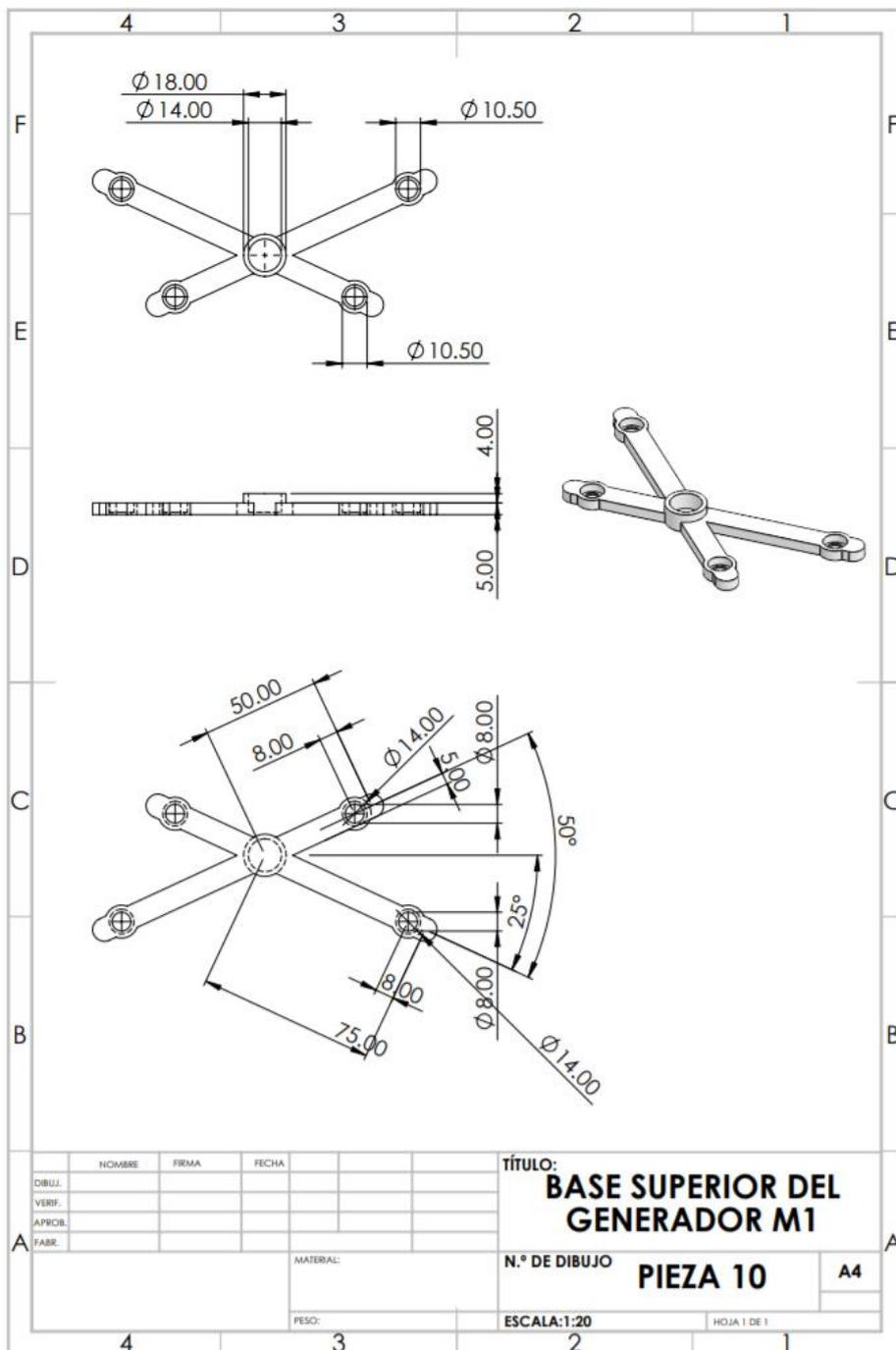


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 10: BASE SUPERIOR DEL GENERADOR M1

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 16.410 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°29: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 1



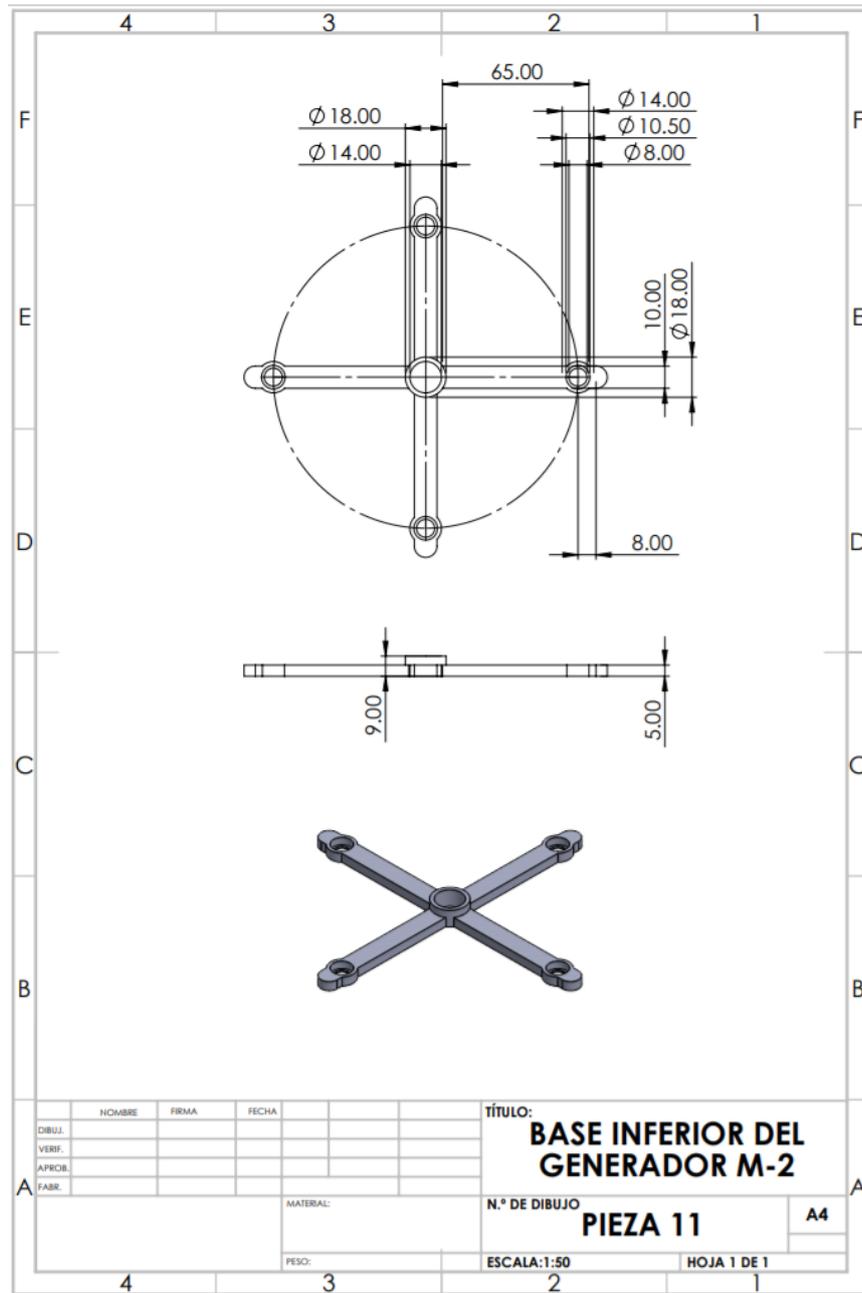
Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 2

PIEZA 11: BASE INFERIOR DEL GENERADOR M2

- Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- Masa de pieza: 19.962 kilogramos
- Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°30: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 2

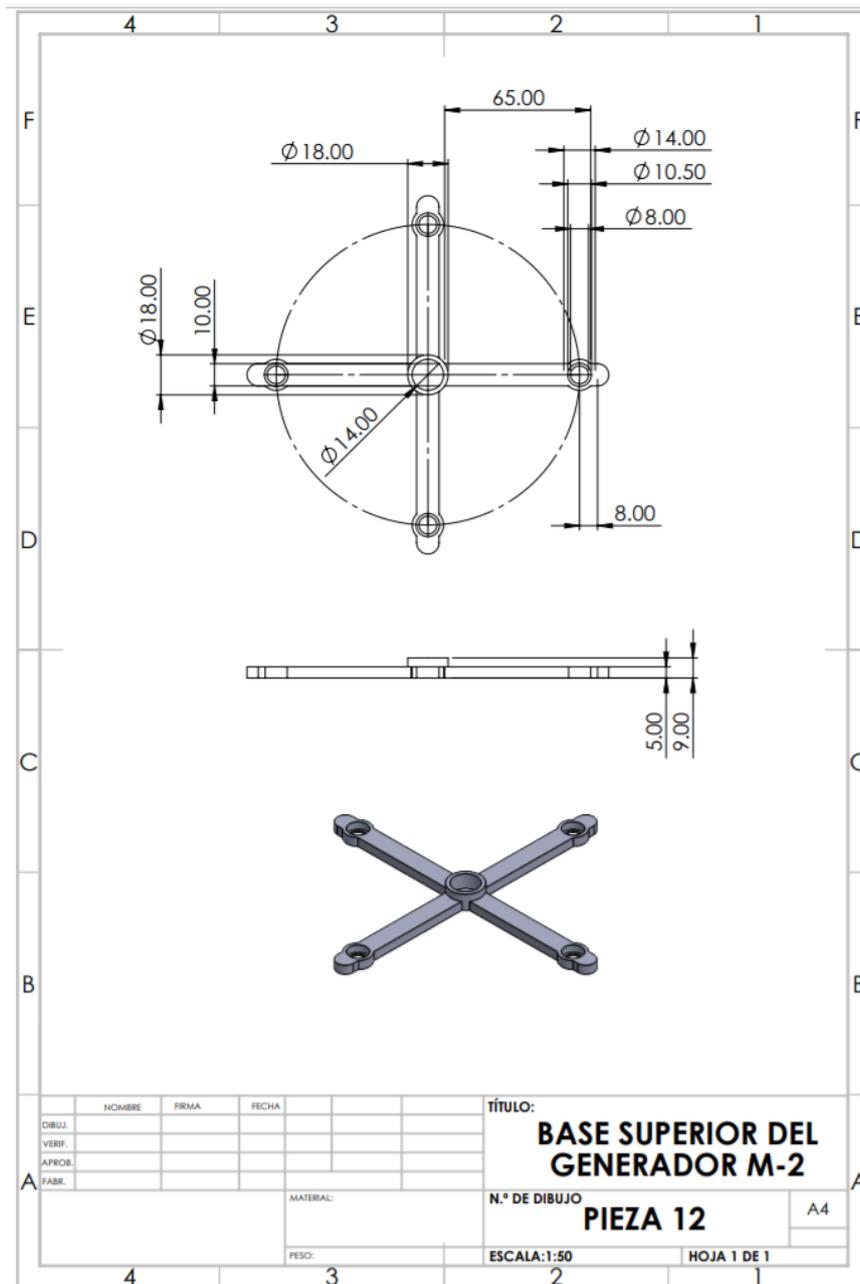


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 12: BASE SUPERIOR DEL GENERADOR M2

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 20.180 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°31: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 2

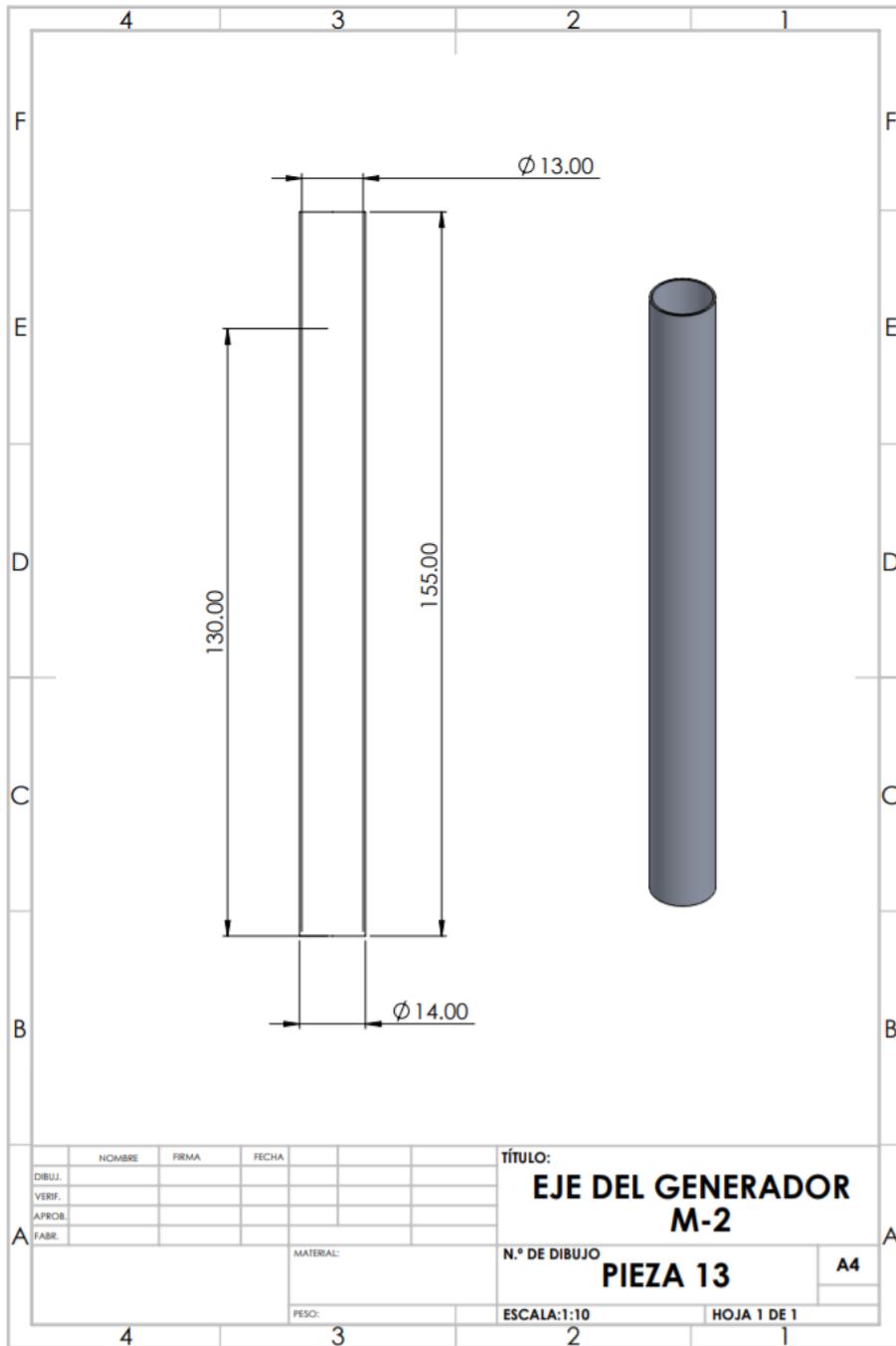


Fuente: Elaboración Propia

PIEZA 13: EJE DEL GENERADOR M2

- a. Tipo de material: Aleación de Aluminio EN – AW 1350A
- b. Masa de pieza: 9.078 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°32: Diseño en CAD en el programa SolidWorks del eje del generador de la Modificación 2



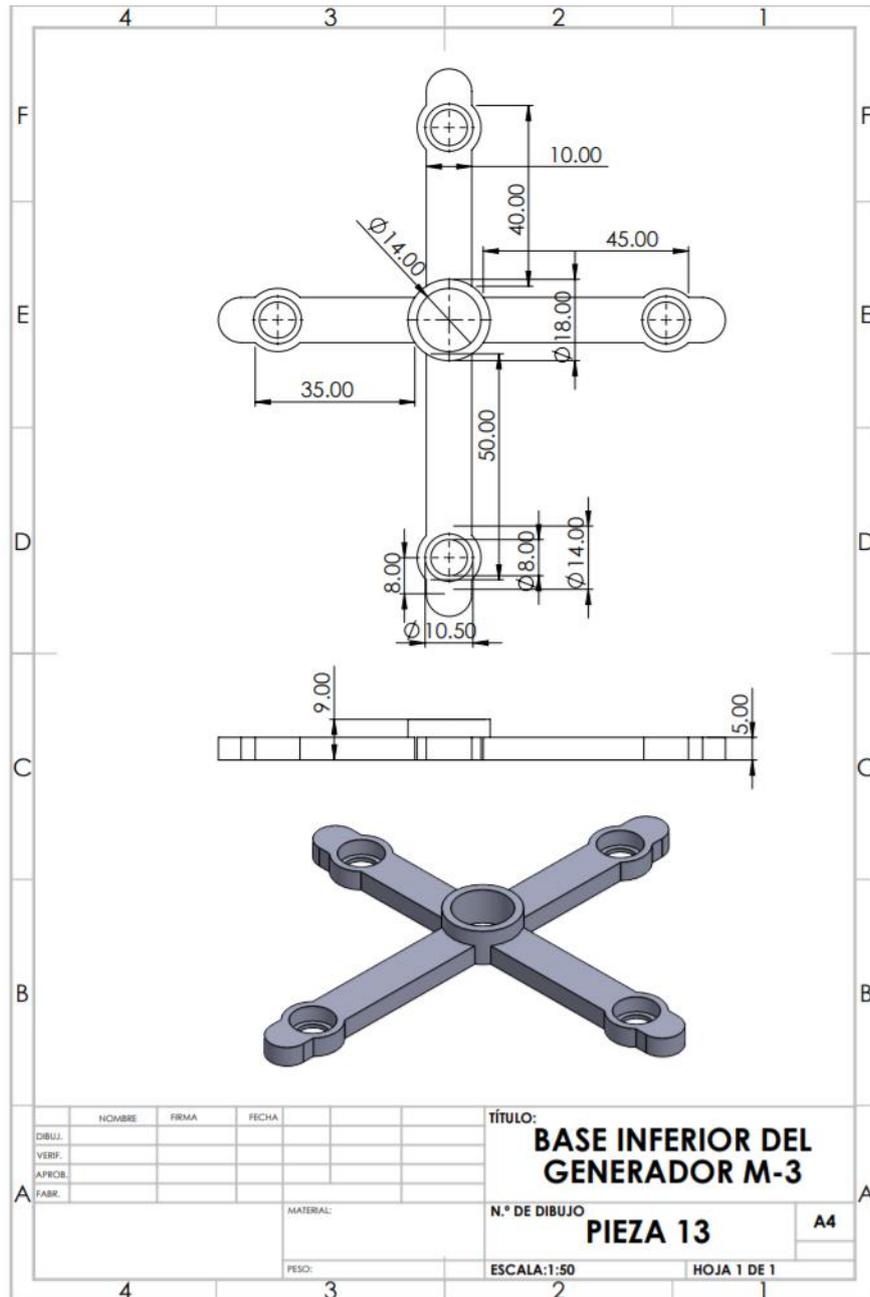
Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 3

PIEZA 14: BASE INFERIOR DEL GENERADOR M3

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 13.572 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°33: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base inferior del generador de la Modificación 3

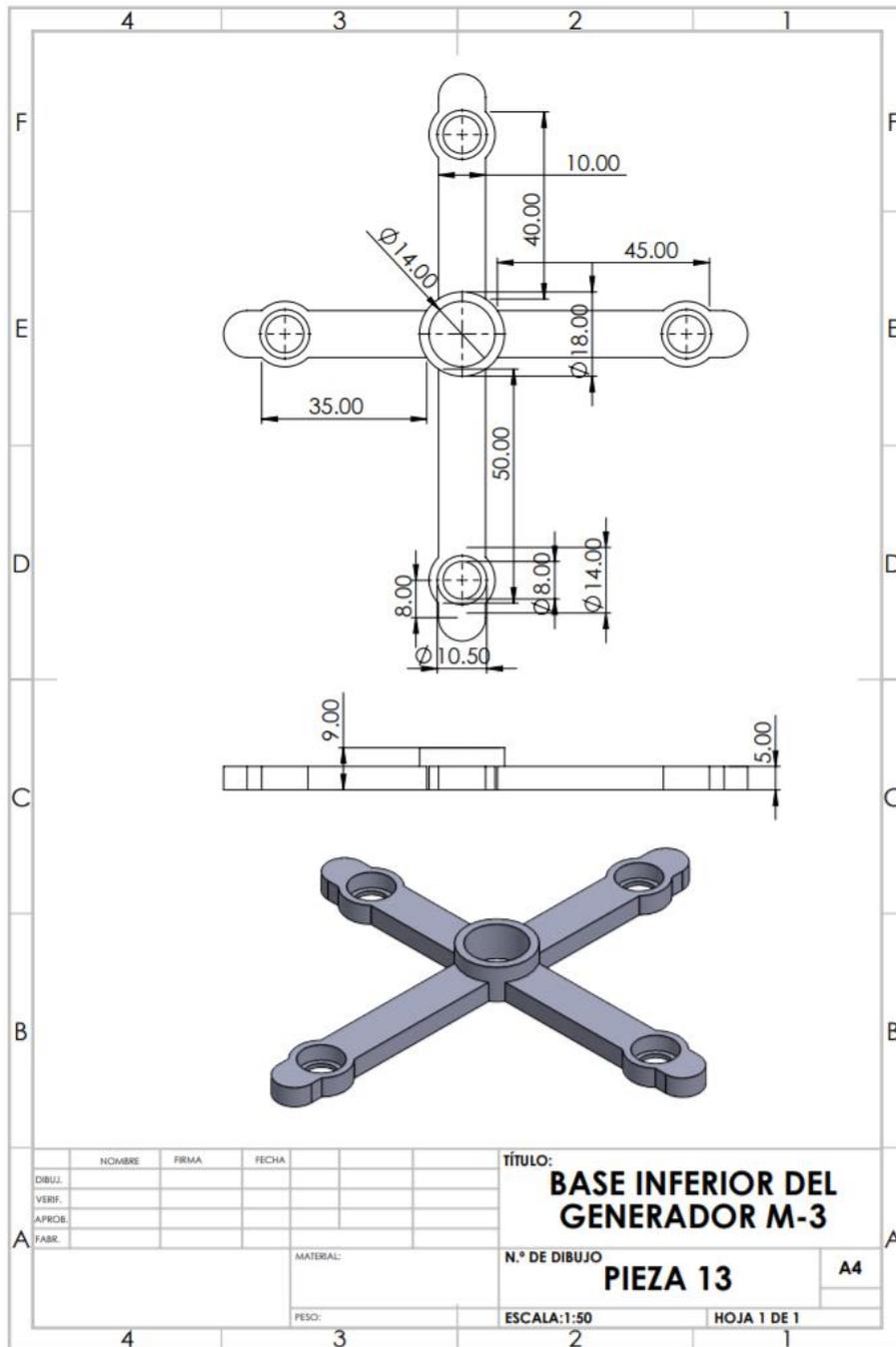


Fuente: Elaboración Propia

1.1.1. PIEZA 15: BASE SUPERIOR DEL GENERADOR M3

- a. Tipo de material: Plástico PET (Tereftalato de polietileno)
- b. Masa de pieza: 13.790 kilogramos
- c. Croquis y Diseño de la pieza:

Figura N°34: Diseño en CAD en el programa SolidWorks de la base superior del generador de la Modificación 3



Fuente: Elaboración Propia

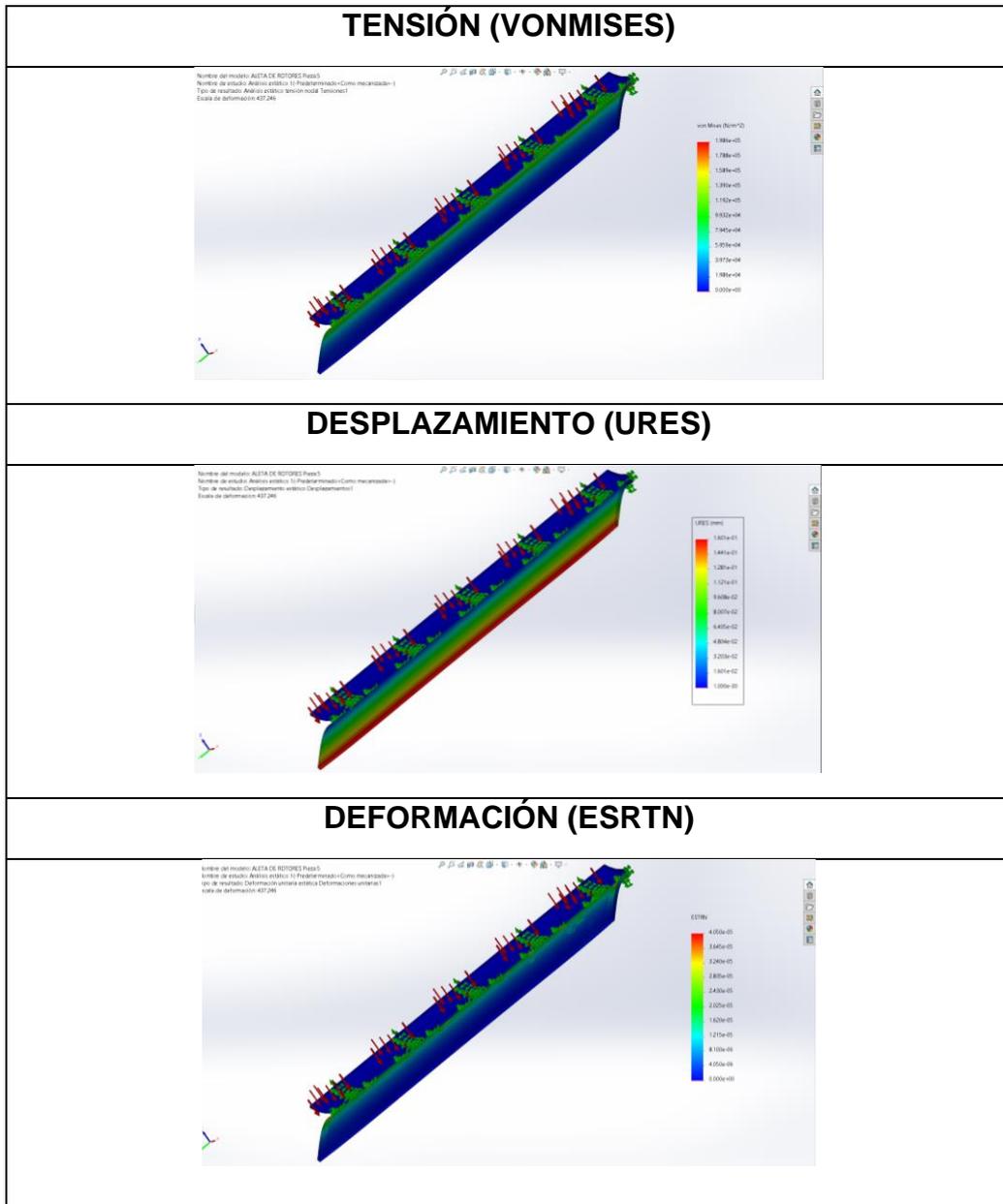
ANEXO 9: Simulación en SolidWorks, de la prueba estática

Especificaciones generales:

- Peso de rotores ensamblados: 14.520 kg.
- 2 rodamientos axiales modelo 8116 TN marca SKF. Peso: 0.4 kg.
- Peso total del rotor instalado: Peso: 15.32 kg.
- Fuerza sobre soportes: $F=m*a$ $F=15.32*9.8m/s^2$ $F=150.136$ N

A. ALETA ROTOR

PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO A LA FUERZA DEL VIENTO EN USQUIL
(97.2405 Pa)

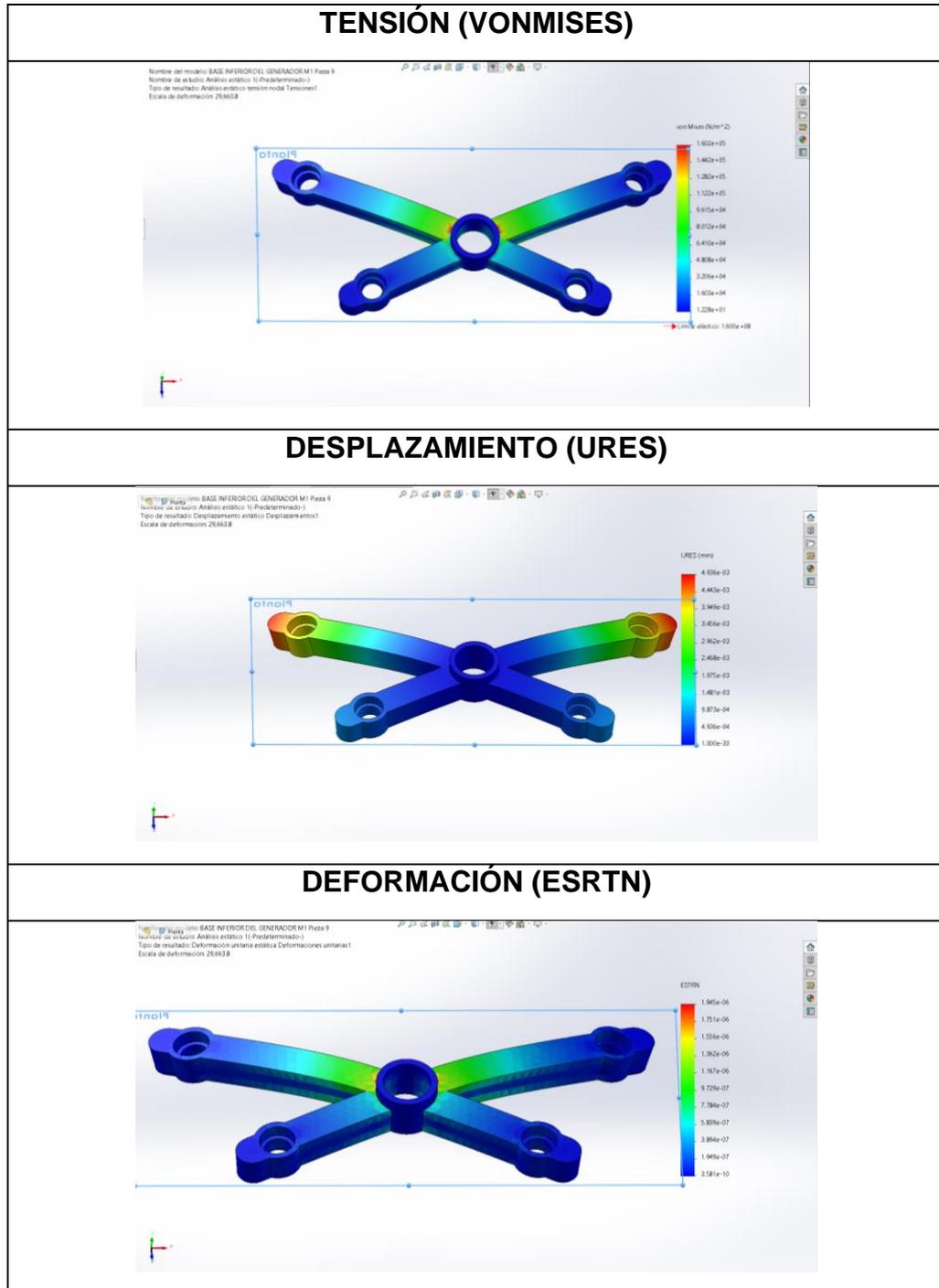


Fuente: Elaboración propia

B. MODIFICACIÓN 1

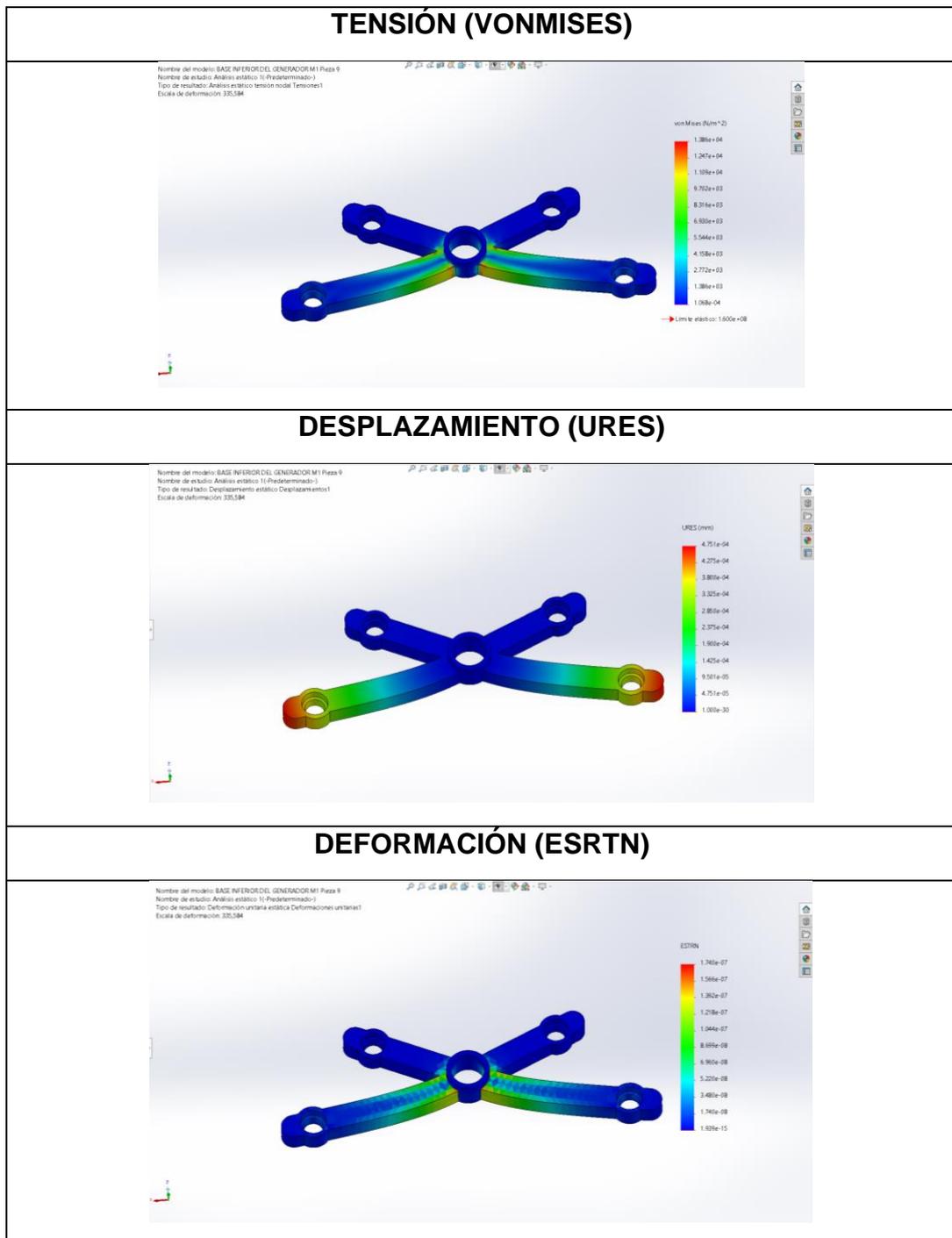
PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO AL PESO DEL ROTOR ($F=150.136\text{ N}$)

PIEZA 09: BASE INFERIOR DEL GENERADOR



Fuente: Elaboración propia

PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO A LA FUERZA DE VIENTO EN USQUIL (97.2405 Pa)

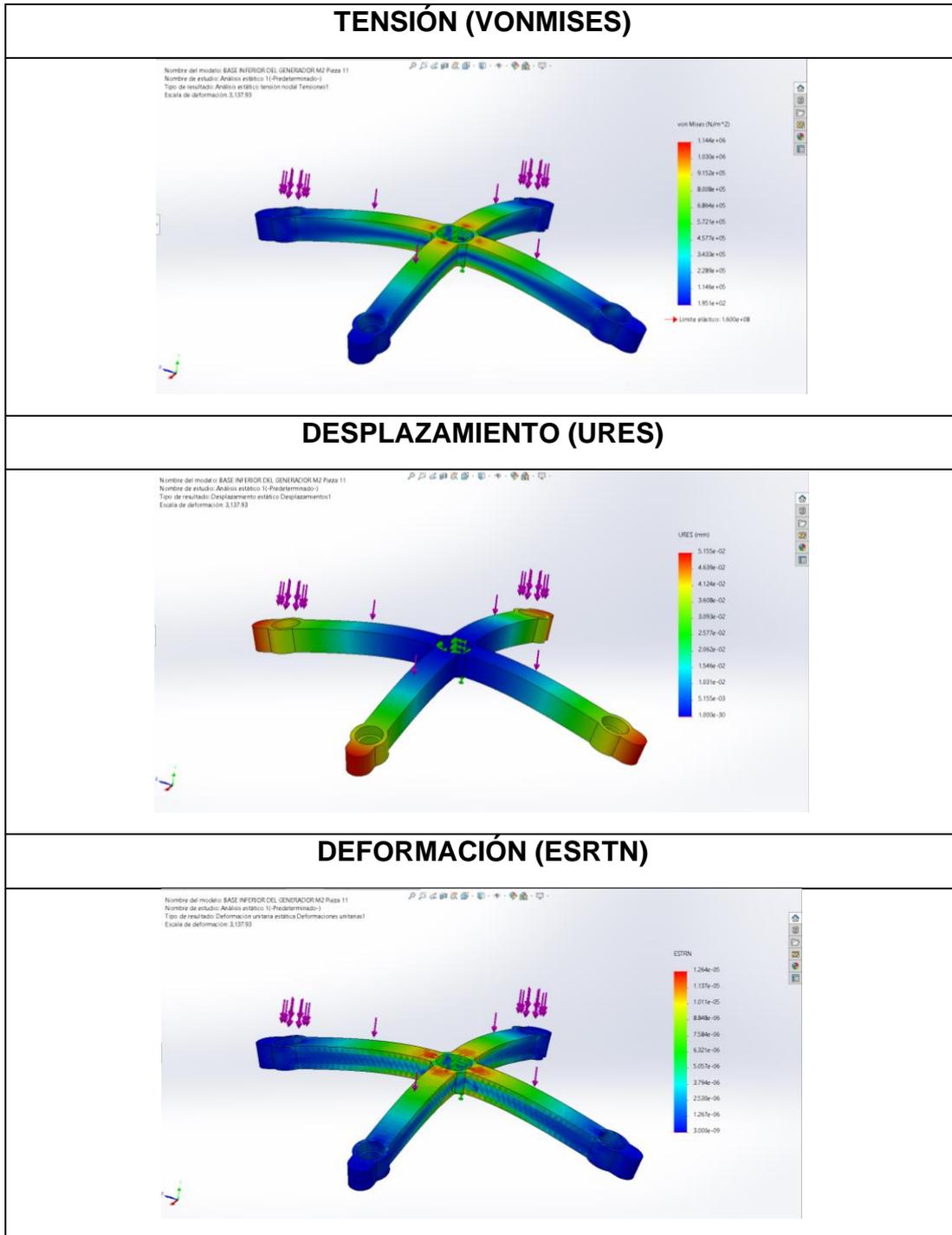


Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 2

PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO AL PESO DEL ROTOR (F=150.136 N)

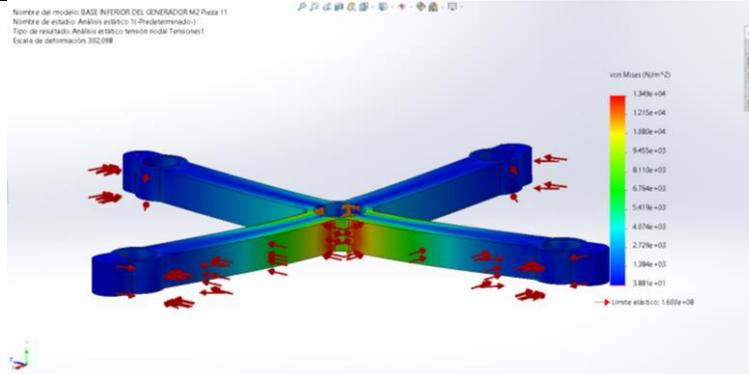
PIEZA 11: BASE INFERIOR DEL GENERADOR



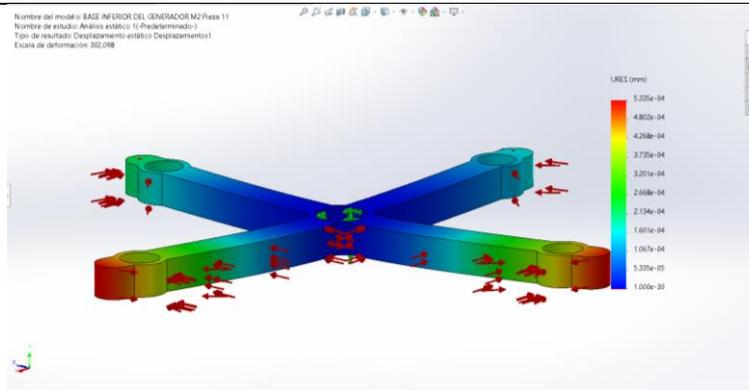
Fuente: Elaboración Propia

PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO A LA FUERZA DEL VIENTO EN USQUIL (97.2405 Pa)

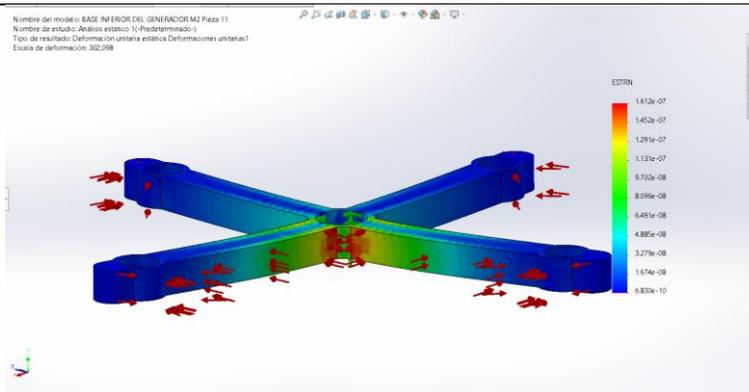
TENSIÓN (VONMISES)



DESPLAZAMIENTO (URES)



DEFORMACIÓN (ESRTN)

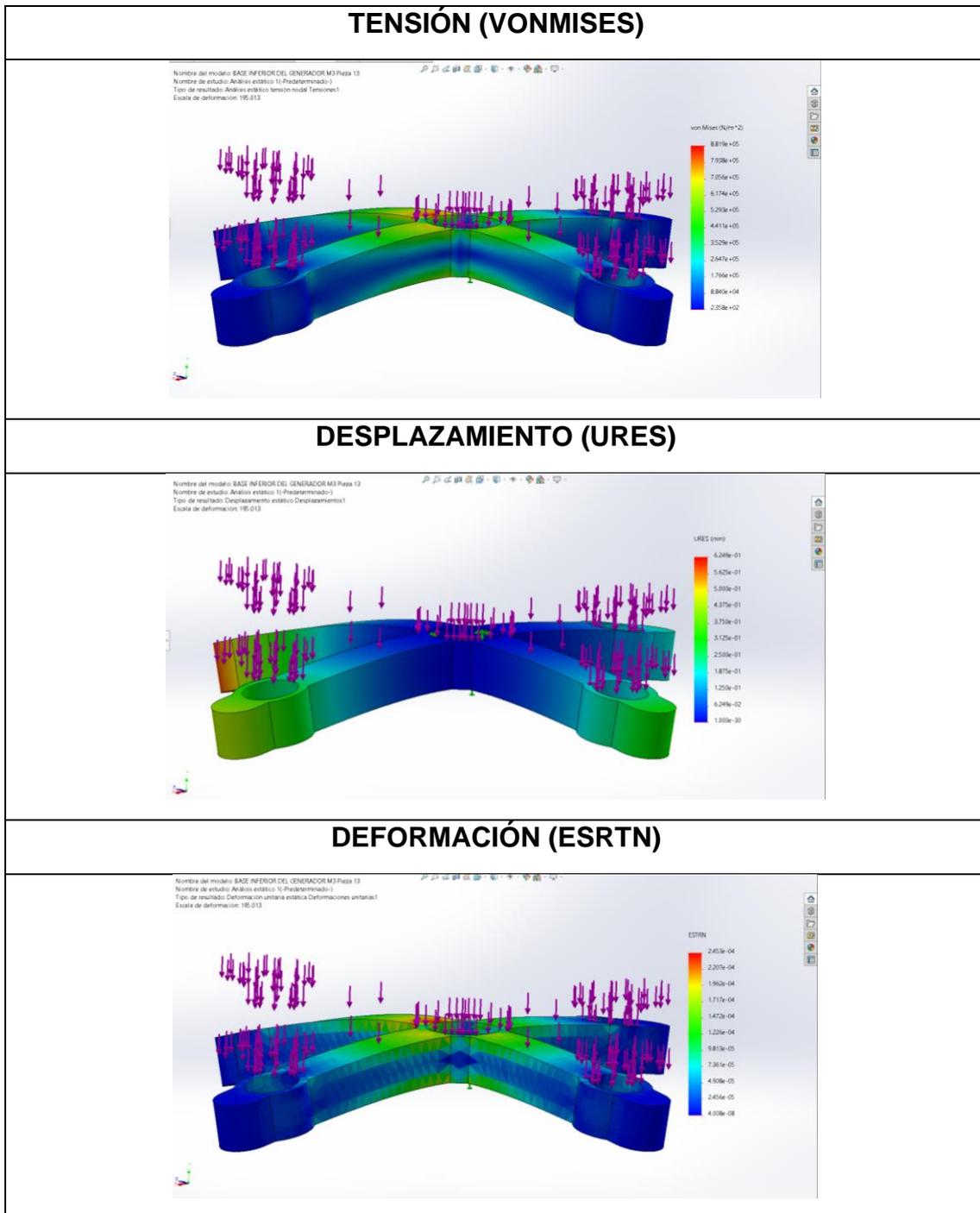


Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 3

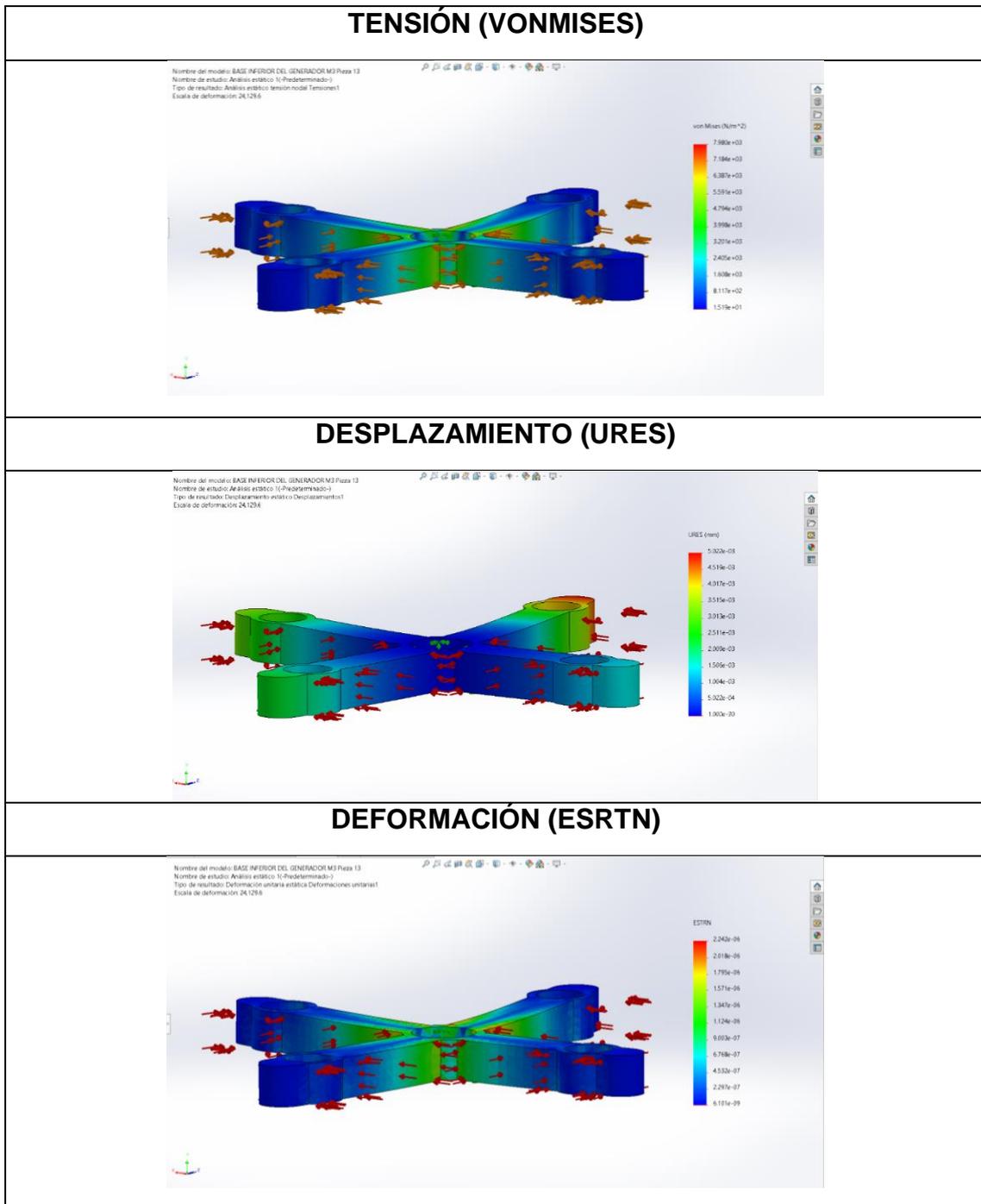
PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO AL PESO DEL ROTOR

PIEZA 13: BASE INFERIOR DEL GENERADOR



Fuente: Elaboración Propia

PRUEBA ESTÁTICA CON RESPECTO A LA FUERZA DEL VIENTO EN USQUIL (97.2405 Pa)



Fuente: Elaboración Propia

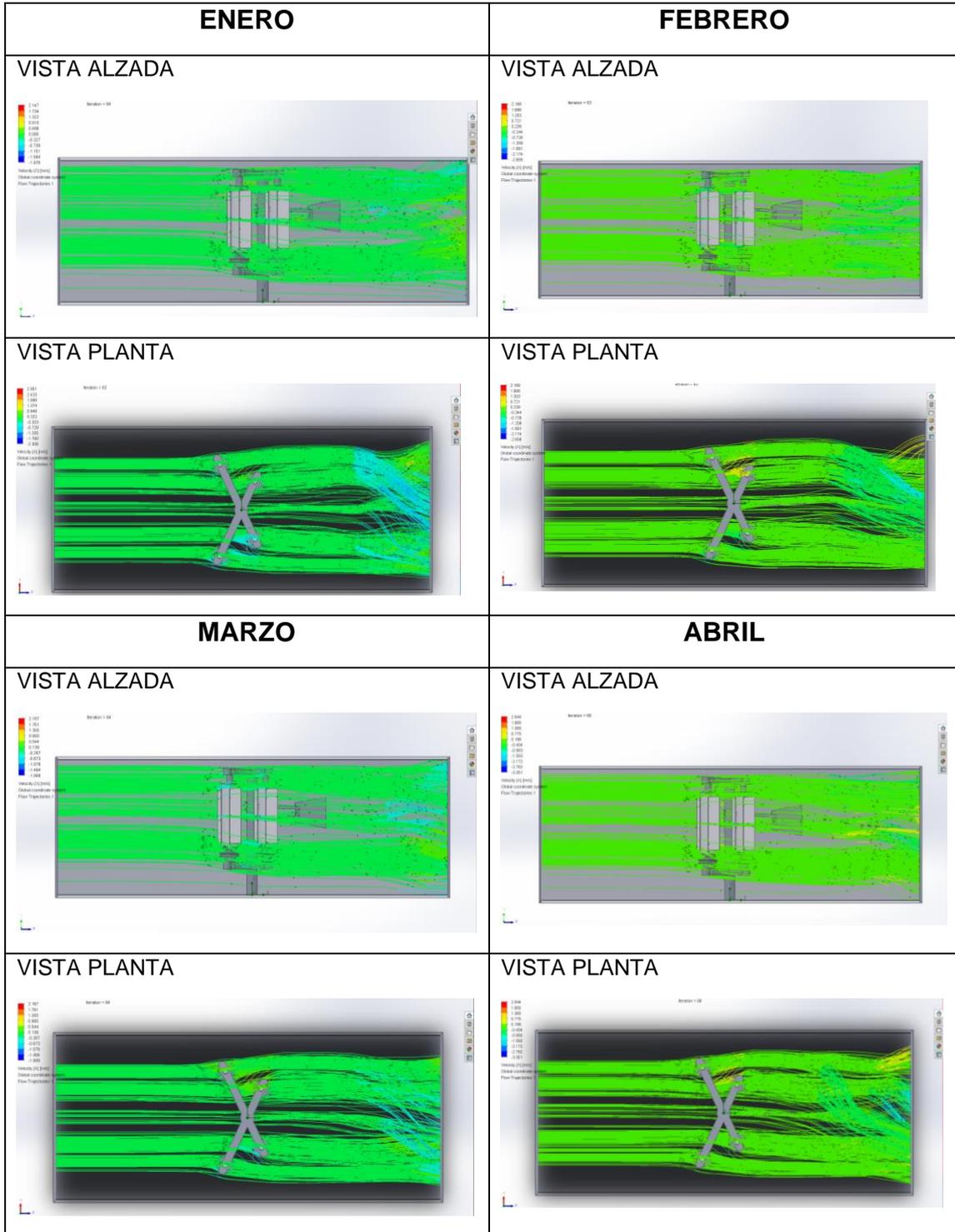
Anexo 10: Simulación del flujo de viento

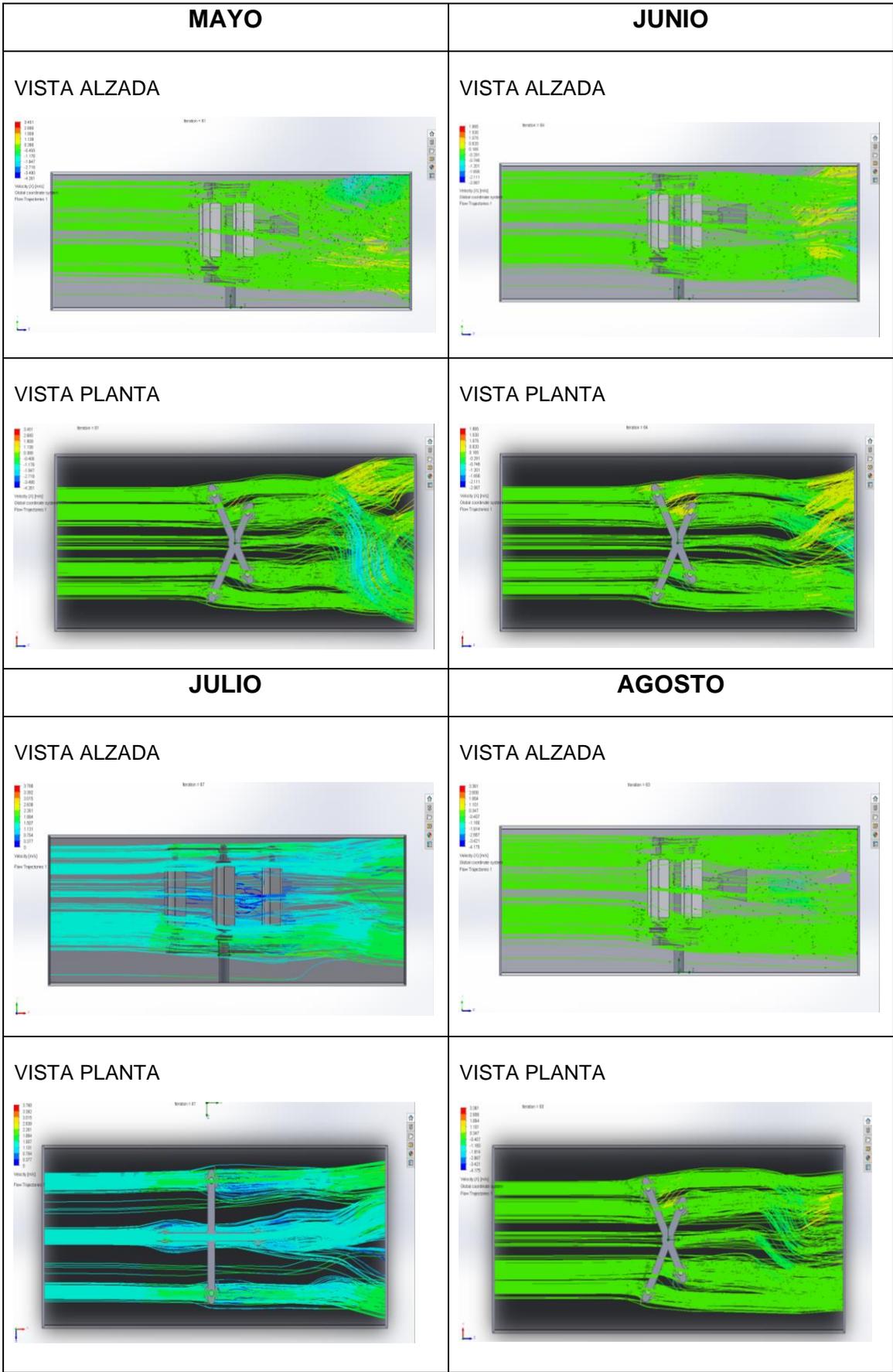
ÁREA DE ESTUDIO: USQUIL

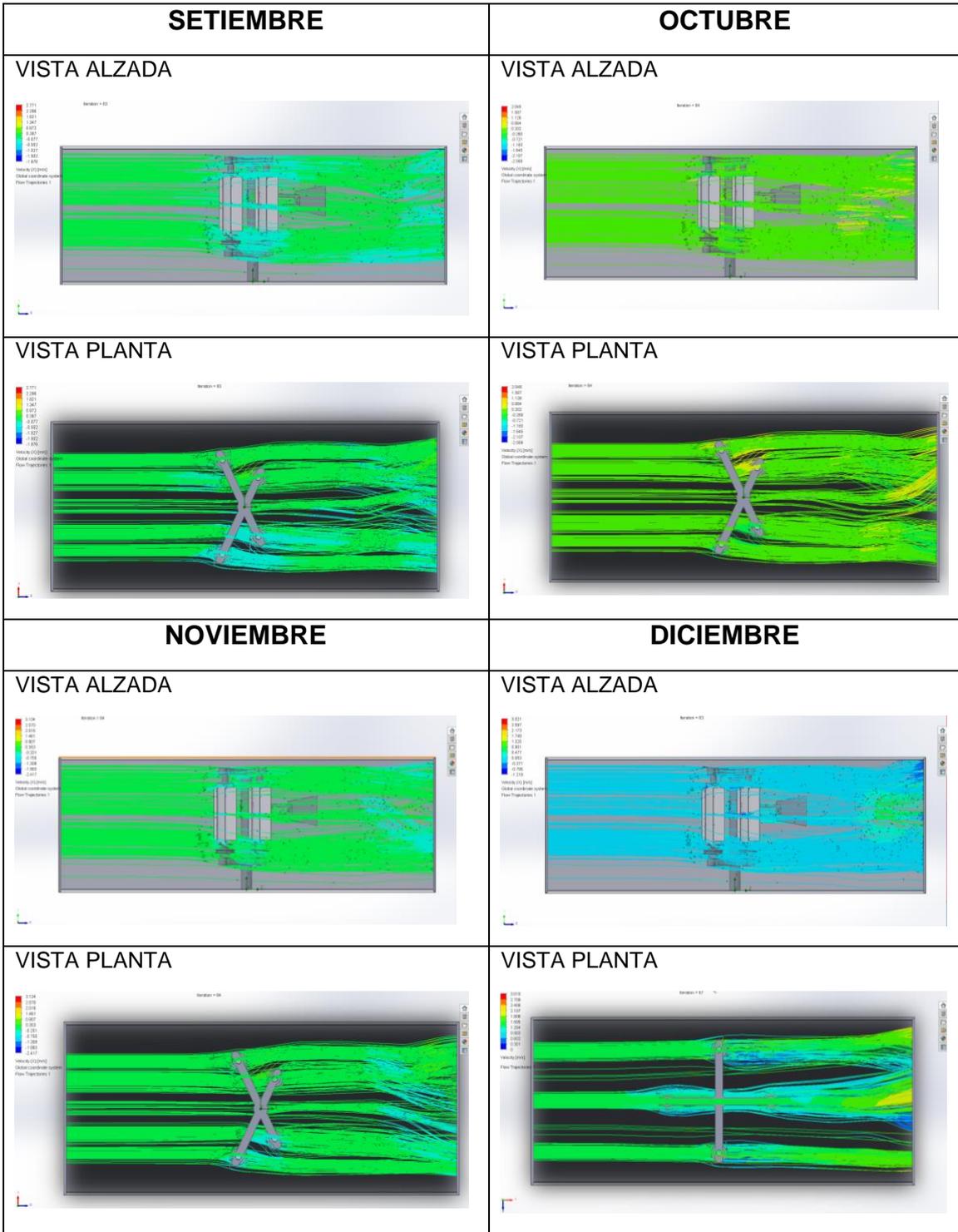
ALTITUD: 3000 msnm

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 0.692 atm. = 70116.9 Pa.

MODIFICACIÓN 1

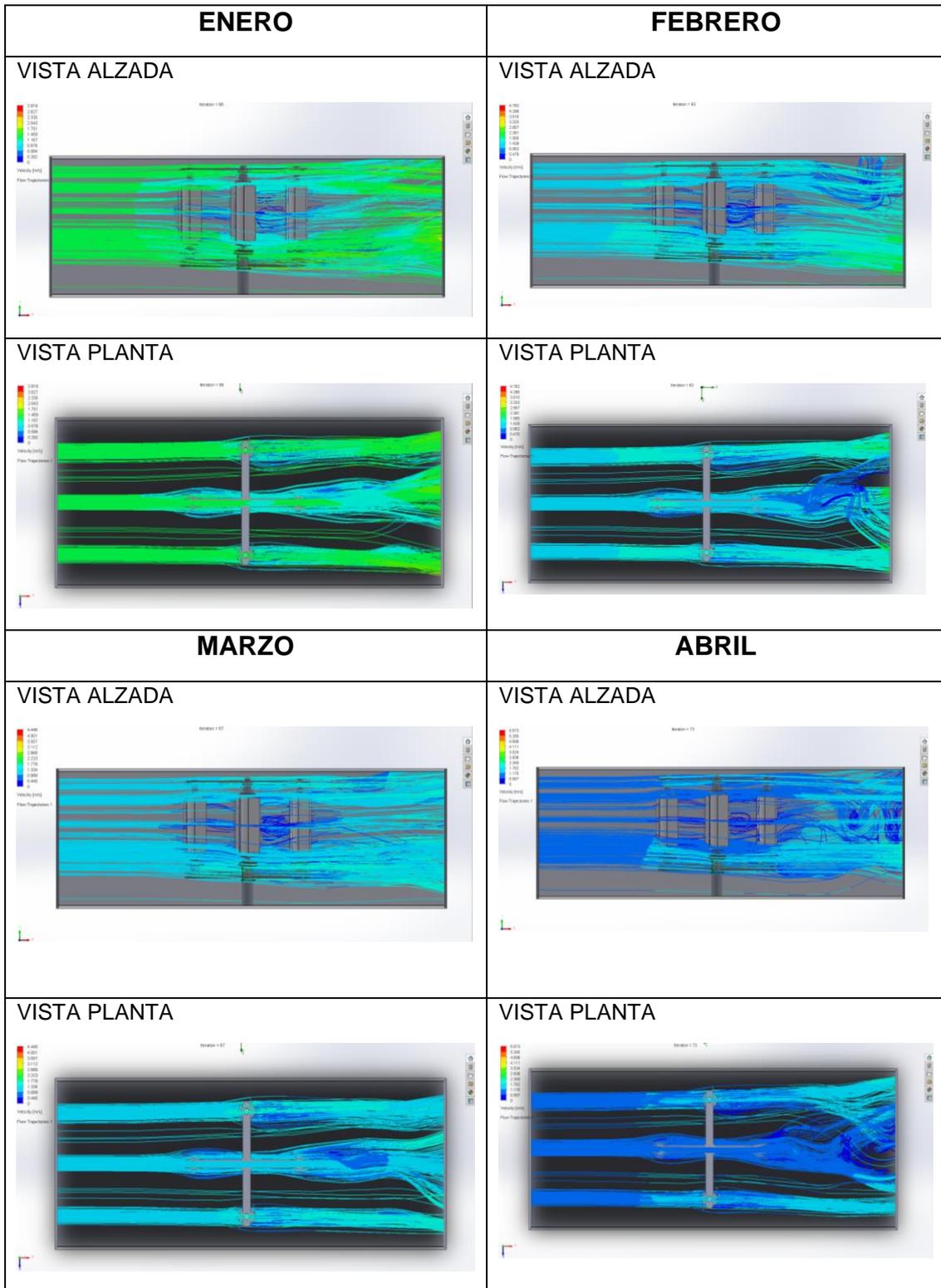


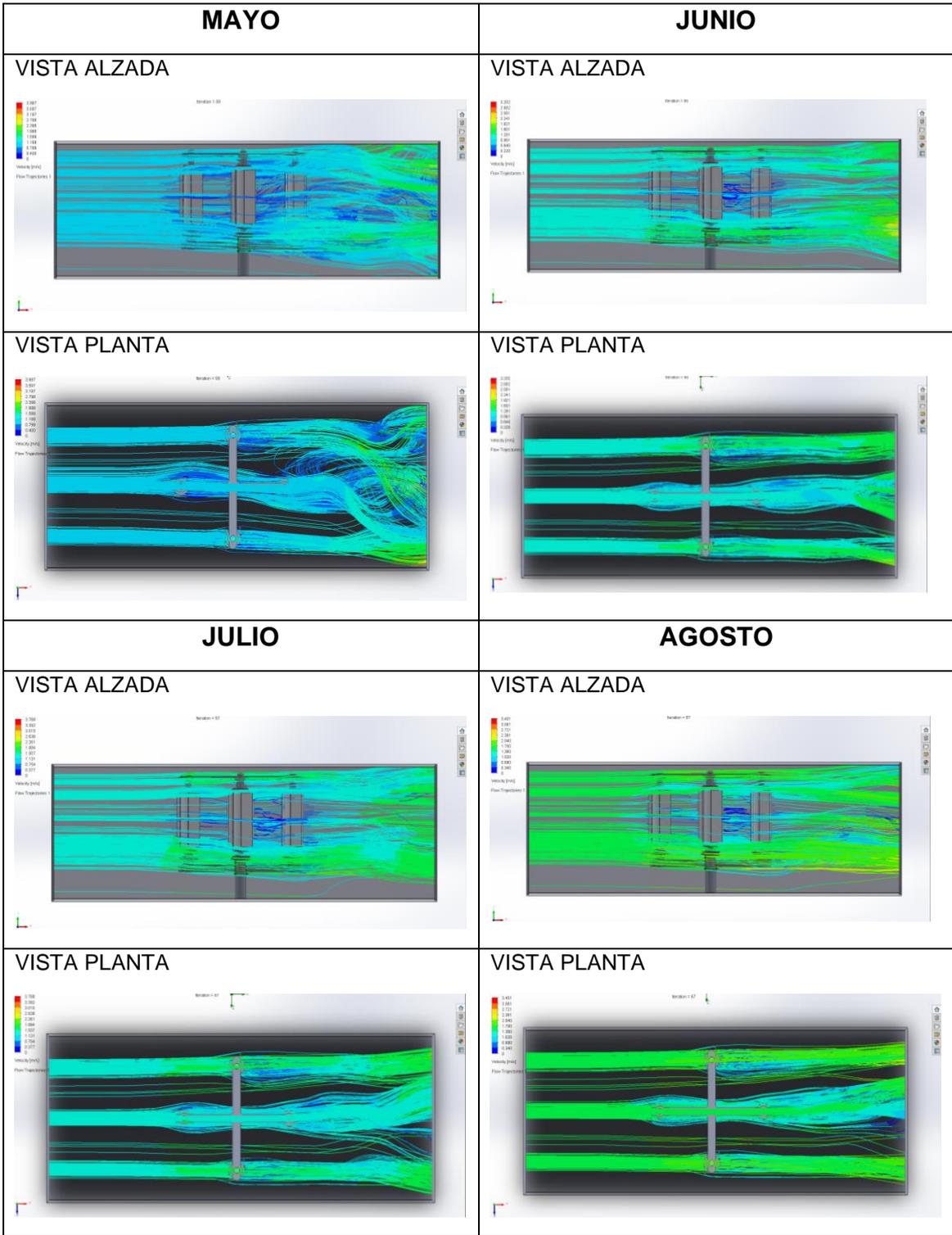


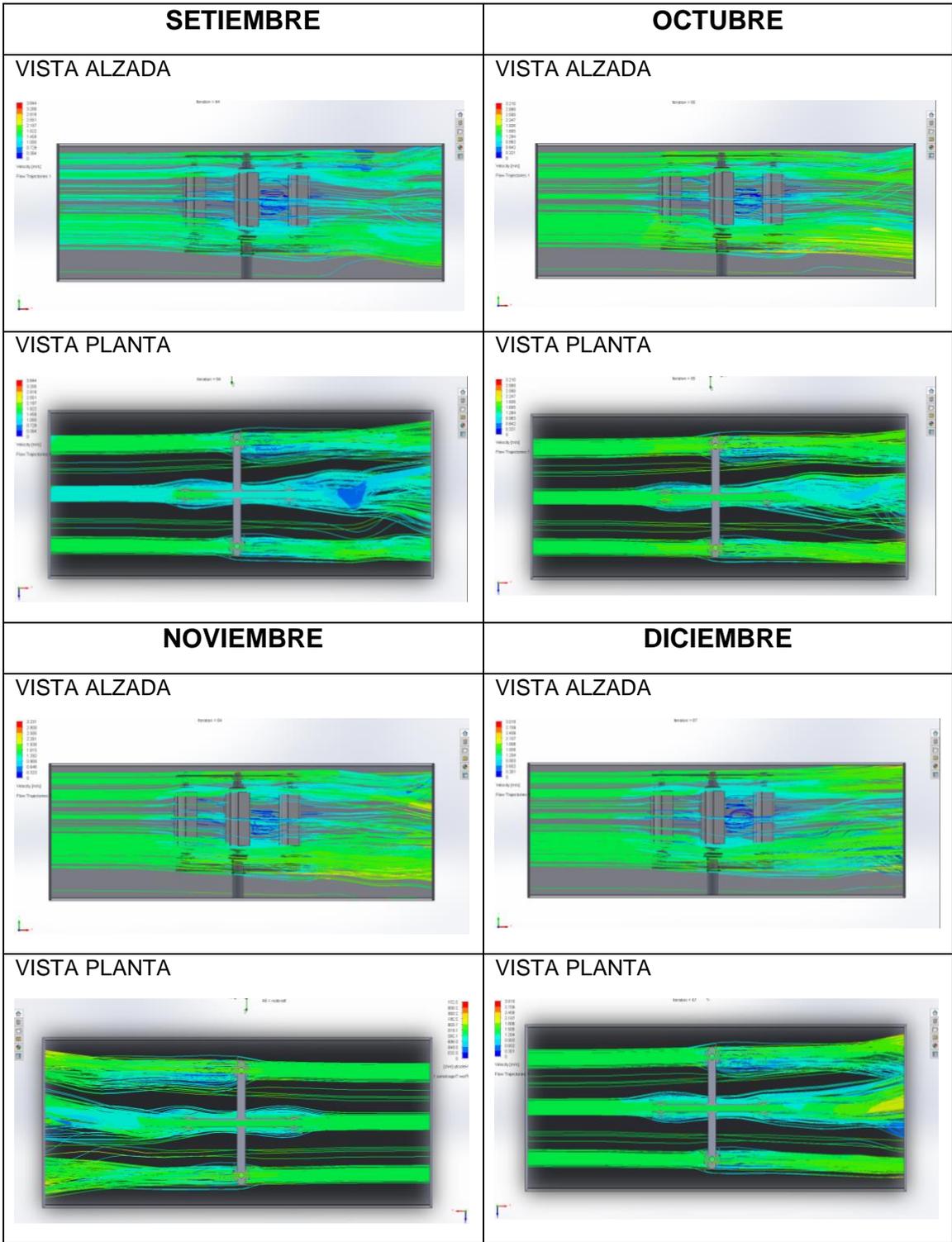


Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 2

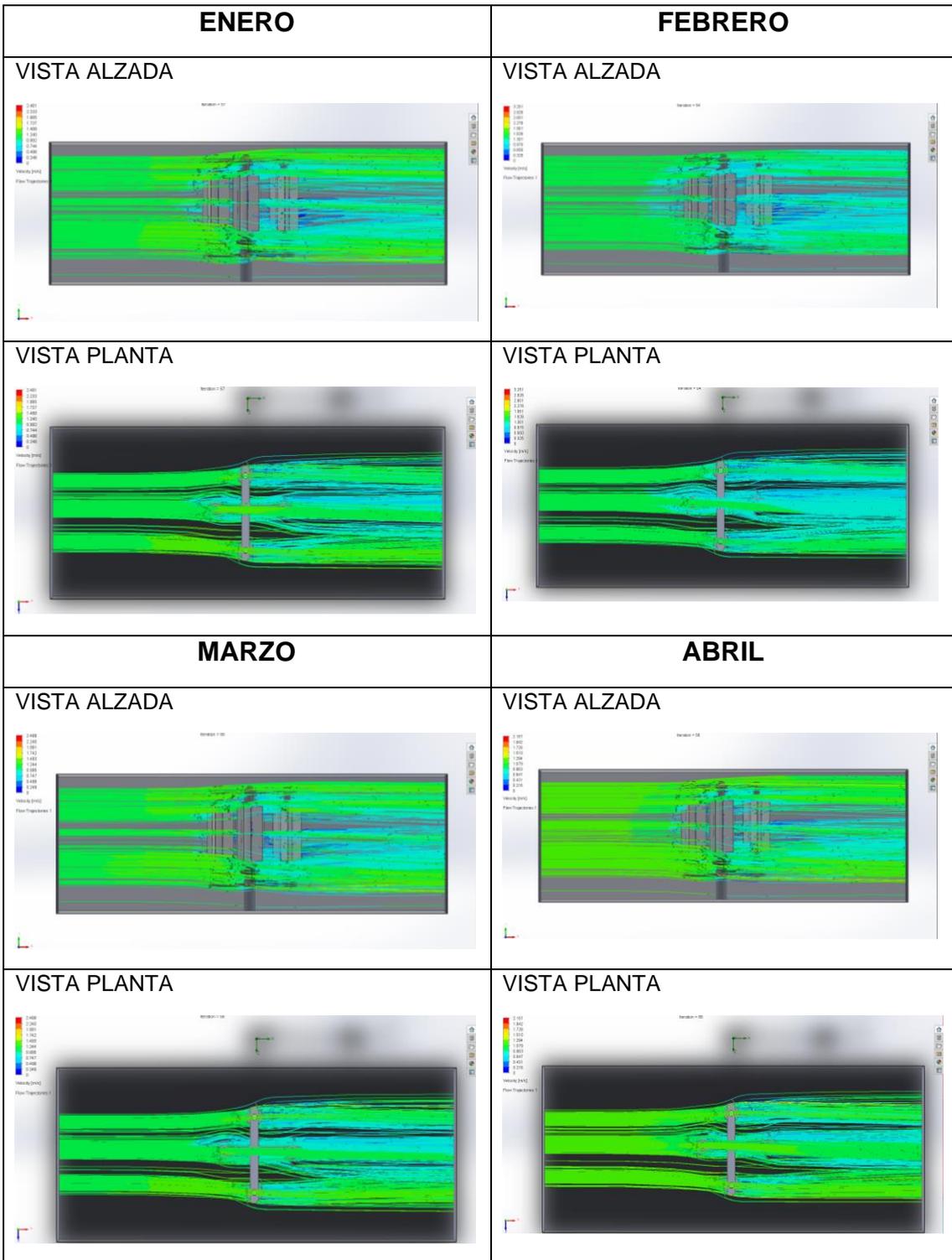


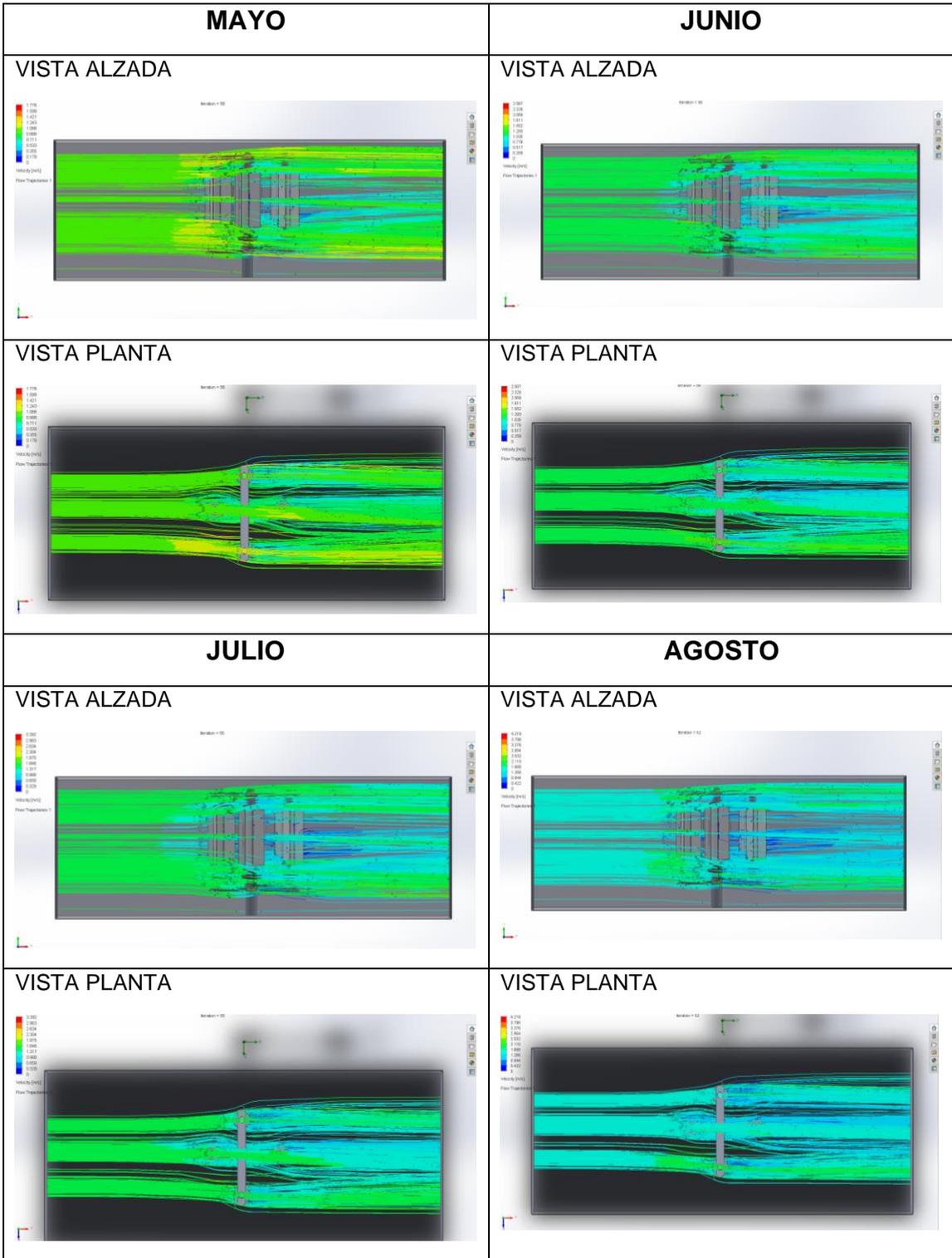


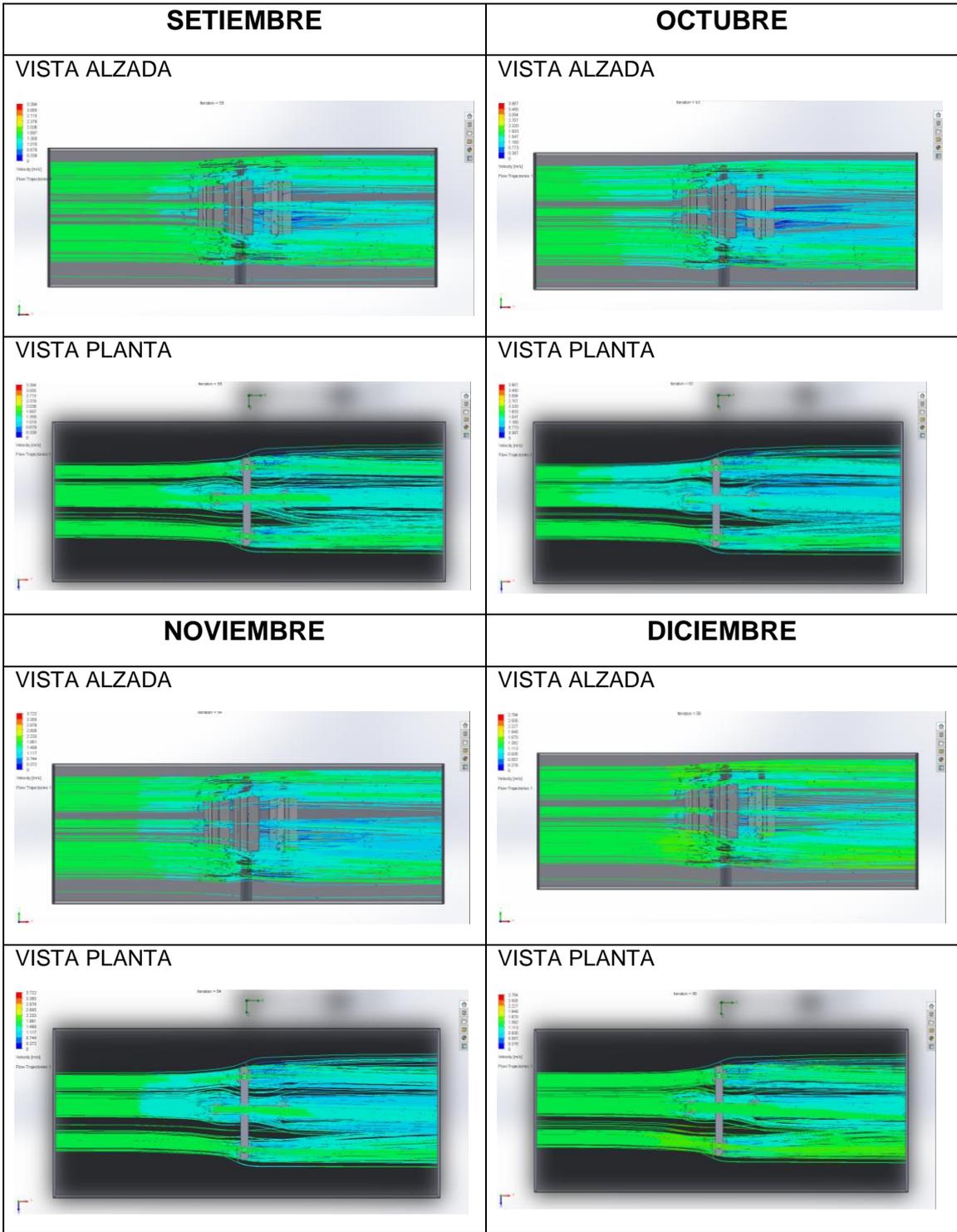


Fuente: Elaboración Propia

MODIFICACIÓN 3







Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11: Resultados de la Energía en SolidWorks Simulation

MODIFICACIÓN 1

MES DE ENERO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.714046	Achieved (IT = 78)	0.000578104	0.71403
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.102823	Achieved (IT = 78)	8.3247e-05	0.10282
GG Average Density (Fluid) 1	0.855095 kg/m ³	Achieved (IT = 57)	8.55095e-09 kg/m ³	0.855095 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.17895 m/s	Achieved (IT = 78)	0.00031589 m/s	1.17894 m/s
MES DE FEBRERO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.09017	Achieved (IT = 76)	0.000871117	1.09004
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.156984	Achieved (IT = 76)	0.000125441	0.156966
GG Average Density (Fluid) 1	0.855394 kg/m ³	Achieved (IT = 59)	8.55394e-09 kg/m ³	0.855394 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.35737 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000358968 m/s	1.35732 m/s
MES DE MARZO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.732499	Achieved (IT = 78)	0.000592132	0.732506
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.10548	Achieved (IT = 78)	8.5267e-05	0.105481
GG Average Density (Fluid) 1	0.855394 kg/m ³	Achieved (IT = 58)	8.55394e-09 kg/m ³	0.855394 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.18888 m/s	Achieved (IT = 78)	0.00031807 m/s	1.18888 m/s
MES DE ABRIL				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.56469	Achieved (IT = 76)	0.000462807	0.564572
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0813153	Achieved (IT = 76)	6.66443e-05	0.0812983
GG Average Density (Fluid) 1	0.856294 kg/m ³	Achieved (IT = 57)	8.56294e-09 kg/m ³	0.856294 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.08973 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000295583 m/s	1.08965 m/s

MES DE MAYO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.423804	Achieved (IT = 76)	0.000353562	0.423748
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0610278	Achieved (IT = 76)	5.0913e-05	0.0610198
GG Average Density (Fluid) 1	0.855694 kg/m ³	Achieved (IT = 53)	8.55694e-09 kg/m ³	0.855694 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	0.990541 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000273467 m/s	0.990498 m/s

MES DE JUNIO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.695173	Achieved (IT = 76)	0.000564534	0.69507
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.100105	Achieved (IT = 76)	8.12929e-05	0.10009
GG Average Density (Fluid) 1	0.853899 kg/m ³	Achieved (IT = 57)	8.53899e-09 kg/m ³	0.853899 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.16901 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000314174 m/s	1.16895 m/s

MES DE JULIO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.18632	Achieved (IT = 75)	0.000935164	1.18631
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.17083	Achieved (IT = 75)	0.000134664	0.170829
GG Average Density (Fluid) 1	0.853899 kg/m ³	Achieved (IT = 59)	8.53899e-09 kg/m ³	0.853899 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.39698 m/s	Achieved (IT = 75)	0.000364399 m/s	1.39697 m/s

MES DE AGOSTO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.63662	Achieved (IT = 75)	0.00129393	1.63665
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.235673	Achieved (IT = 75)	0.000186326	0.235677
GG Average Density (Fluid) 1	0.853302 kg/m ³	Achieved (IT = 56)	8.53302e-09 kg/m ³	0.853302 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.55551 m/s	Achieved (IT = 75)	0.000406962 m/s	1.55552 m/s

MES DE SEPTIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.21086	Achieved (IT = 75)	0.000956848	1.21091
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.174365	Achieved (IT = 75)	0.000137786	0.174371
GG Average Density (Fluid) 1	0.853302 kg/m ³	Achieved (IT = 59)	8.53302e-09 kg/m ³	0.853302 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.40687 m/s	Achieved (IT = 75)	0.000367881 m/s	1.40689 m/s

MES DE OCTUBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.43228	Achieved (IT = 76)	0.00113349	1.43228
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.206249	Achieved (IT = 76)	0.000163222	0.206248
GG Average Density (Fluid) 1	0.856294 kg/m ³	Achieved (IT = 59)	8.56294e-09 kg/m ³	0.856294 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.48614 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000389188 m/s	1.48613 m/s

MES DE NOVIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.32171	Achieved (IT = 76)	0.00104786	1.32165
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.190326	Achieved (IT = 76)	0.000150892	0.190318
GG Average Density (Fluid) 1	0.856895 kg/m ³	Achieved (IT = 59)	8.56895e-09 kg/m ³	0.856895 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.44653 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000379513 m/s	1.4465 m/s

MES DE DICIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 1 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE FLUJO MODIFICACIÓN 1.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 53)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.932122	Achieved (IT = 76)	0.000742293	0.932021
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.134226	Achieved (IT = 76)	0.00010689	0.134211
GG Average Density (Fluid) 1	0.855994 kg/m ³	Achieved (IT = 58)	8.55994e-09 kg/m ³	0.855994 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 3	1.28802 m/s	Achieved (IT = 76)	0.000339463 m/s	1.28798 m/s

Fuente: Programa SolidWorks Simulation

MODIFICACIÓN 2

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Checl	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.679474	Achieved (IT = 152)	0.00499349	Checl	0.680461
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0978442	Achieved (IT = 152)	0.000719062	Checl	0.0979864
GG Average Density (Fluid) 1	0.857933 kg/m ³	Achieved (IT = 145)	9.33498e-09 kg/m ³	Checl	0.857933 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.15832 m/s	Achieved (IT = 150)	0.00310741 m/s	Checl	1.15888 m/s

MES DE FEBRERO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Checl	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.03823	Achieved (IT = 145)	0.0075148	Checl	1.04013
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.149505	Achieved (IT = 145)	0.00108213	Checl	0.149778
GG Average Density (Fluid) 1	0.858234 kg/m ³	Achieved (IT = 139)	1.19107e-08 kg/m ³	Checl	0.858234 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.33399 m/s	Achieved (IT = 137)	0.00351542 m/s	Checl	1.3348 m/s

MES DE MARZO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Gc

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.696038	Achieved (IT = 151)	0.0051215	Check	0.697197
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.10023	Achieved (IT = 151)	0.000737497	Check	0.100396
GG Average Density (Fluid) 1	0.85703 kg/m ³	Achieved (IT = 145)	9.43618e-09 kg/m ³	Check	0.85703 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.16807 m/s	Achieved (IT = 150)	0.00313706 m/s	Check	1.16872 m/s

MES DE ABRIL

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Go

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.534543	Achieved (IT = 165)	0.00395873	Check	0.535226
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0769741	Achieved (IT = 165)	0.000570058	Check	0.0770726
GG Average Density (Fluid) 1	0.855529 kg/m ³	Achieved (IT = 151)	8.55529e-09 kg/m ³	Check	0.855529 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.0703 m/s	Achieved (IT = 164)	0.00291364 m/s	Check	1.07076 m/s

MES DE MAYO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Go

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.400685	Achieved (IT = 163)	0.00304494	Check	0.400861
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0576986	Achieved (IT = 163)	0.000438471	Check	0.0577239
GG Average Density (Fluid) 1	0.855529 kg/m ³	Achieved (IT = 159)	8.55529e-09 kg/m ³	Check	0.855529 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	0.972254 m/s	Achieved (IT = 162)	0.00271997 m/s	Check	0.972396 m/s

MES DE JUNIO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Goal

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.658976	Achieved (IT = 154)	0.00484545	Check	0.659863
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.0948925	Achieved (IT = 154)	0.000697745	Check	0.0950203
GG Average Density (Fluid) 1	0.853734 kg/m ³	Achieved (IT = 148)	9.12969e-09 kg/m ³	Check	0.853734 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.14843 m/s	Achieved (IT = 153)	0.00308254 m/s	Check	1.14895 m/s

MES DE JULIO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Go

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.12591	Achieved (IT = 144)	0.00811314	Check	1.12794
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.16213	Achieved (IT = 144)	0.00116829	Check	0.162423
GG Average Density (Fluid) 1	0.853734 kg/m ³	Achieved (IT = 137)	1.23937e-08 kg/m ³	Check	0.853734 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.37294 m/s	Achieved (IT = 136)	0.00359862 m/s	Check	1.37376 m/s

MES DE AGOSTO

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Go

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.55395	Achieved (IT = 133)	0.0117352	Check	1.55727
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.223769	Achieved (IT = 133)	0.00168988	Check	0.224246
GG Average Density (Fluid) 1	0.853138 kg/m ³	Achieved (IT = 131)	1.62159e-08 kg/m ³	Check	0.853138 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.52896 m/s	Achieved (IT = 133)	0.00419669 m/s	Check	1.53005 m/s

MES DE SETIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Goa

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.14923	Achieved (IT = 144)	0.00828399	Check	1.15136
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.16549	Achieved (IT = 144)	0.00119289	Check	0.165796
GG Average Density (Fluid) 1	0.853138 kg/m ³	Achieved (IT = 137)	1.25279e-08 kg/m ³	Check	0.853138 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.38267 m/s	Achieved (IT = 137)	0.00362472 m/s	Check	1.38353 m/s

MES DE OCTUBRE

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Go

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.36018	Achieved (IT = 135)	0.0102151	Check	1.36401
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.195866	Achieved (IT = 135)	0.00147098	Check	0.196417
GG Average Density (Fluid) 1	0.856128 kg/m ³	Achieved (IT = 134)	1.48421e-08 kg/m ³	Check	0.856128 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.46086 m/s	Achieved (IT = 135)	0.00399291 m/s	Check	1.46223 m/s

MES DE NOVIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of Goal

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.25439	Achieved (IT = 136)	0.00941666	Check	1.25869
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.180632	Achieved (IT = 136)	0.001356	Check	0.181251
GG Average Density (Fluid) 1	0.856729 kg/m ³	Achieved (IT = 136)	1.40401e-08 kg/m ³	Check	0.856729 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.42163 m/s	Achieved (IT = 136)	0.00388591 m/s	Check	1.42325 m/s

MES DE DICIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN FLUJO MODIFICACIÓN 2 [Predeterminado] (SIMULACIÓN DE ENERGÍA MODIFICACIÓN 2.SLDASM) - [List of G

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Co...	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 52)	1.0192e-08	Check	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.88401	Achieved (IT = 148)	0.00642146	Check	0.885617
ENERGÍA MENSUAL PRODUCIDA	0.127297	Achieved (IT = 148)	0.000924691	Check	0.127529
GG Average Density (Fluid) 1	0.855829 kg/m ³	Achieved (IT = 142)	1.07386e-08 kg/m ³	Check	0.855829 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.26555 m/s	Achieved (IT = 147)	0.00334851 m/s	Check	1.26632 m/s

Fuente: Programa SolidWorks Simulation

MODIFICACIÓN 3

MES DE ENERO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.686098	Achieved (IT = 132)	0.00187365	0.68555
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.0987981	Achieved (IT = 132)	0.000269806	0.0987192
GG Average Density (Fluid) 1	0.857954 kg/m ³	Achieved (IT = 126)	8.57954e-09 kg/m ³	0.857954 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.16207 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00104524 m/s	1.16176 m/s
MES DE FEBRERO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.04811	Achieved (IT = 132)	0.00283463	1.04735
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.150927	Achieved (IT = 132)	0.000408186	0.150819
GG Average Density (Fluid) 1	0.858255 kg/m ³	Achieved (IT = 129)	8.58255e-09 kg/m ³	0.858255 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.3382 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00119235 m/s	1.33788 m/s
MES DE MARZO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.702852	Achieved (IT = 132)	0.00192201	0.702293
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.101211	Achieved (IT = 132)	0.00027677	0.10113
GG Average Density (Fluid) 1	0.85705 kg/m ³	Achieved (IT = 126)	8.5705e-09 kg/m ³	0.85705 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.17186 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00105558 m/s	1.17155 m/s
MES DE ABRIL				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.540707	Achieved (IT = 132)	0.00150309	0.540276
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.0778617	Achieved (IT = 132)	0.000216445	0.0777997
GG Average Density (Fluid) 1	0.856149 kg/m ³	Achieved (IT = 125)	8.56149e-09 kg/m ³	0.856149 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.07414 m/s	Achieved (IT = 132)	0.000983952 m/s	1.07385 m/s
MES DE MAYO				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.405695	Achieved (IT = 135)	0.00114288	0.405372
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.05842	Achieved (IT = 135)	0.000164574	0.0583736
GG Average Density (Fluid) 1	0.855549 kg/m ³	Achieved (IT = 125)	8.55549e-09 kg/m ³	0.855549 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	0.976281 m/s	Achieved (IT = 135)	0.000906256 m/s	0.976023 m/s

MES DE JUNIO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.665673	Achieved (IT = 133)	0.00184521	0.665158
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.0958569	Achieved (IT = 133)	0.00026571	0.0957827
GG Average Density (Fluid) 1	0.853755 kg/m ³	Achieved (IT = 126)	8.53755e-09 kg/m ³	0.853755 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.1523 m/s	Achieved (IT = 133)	0.00105253 m/s	1.152 m/s

MES DE JULIO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.13667	Achieved (IT = 132)	0.00308048	1.13585
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.16368	Achieved (IT = 132)	0.00044359	0.163563
GG Average Density (Fluid) 1	0.853755 kg/m ³	Achieved (IT = 130)	8.53755e-09 kg/m ³	0.853755 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.37728 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00122982 m/s	1.37695 m/s

MES DE AGOSTO

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.56838	Achieved (IT = 130)	0.00416822	1.56719
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.225846	Achieved (IT = 130)	0.000600224	0.225676
GG Average Density (Fluid) 1	0.853158 kg/m ³	Achieved (IT = 131)	8.53158e-09 kg/m ³	0.853158 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.53367 m/s	Achieved (IT = 131)	0.00134235 m/s	1.53328 m/s

MES DE SETIEMBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.16022	Achieved (IT = 132)	0.00313894	1.1594
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.167072	Achieved (IT = 132)	0.000452007	0.166953
GG Average Density (Fluid) 1	0.853158 kg/m ³	Achieved (IT = 130)	8.53158e-09 kg/m ³	0.853158 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.38706 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00123637 m/s	1.38673 m/s

MES DE OCTUBRE

Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]

File Calculation View Insert Window Help

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.37235	Achieved (IT = 130)	0.00366516	1.3713
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.197618	Achieved (IT = 130)	0.000527783	0.197467
GG Average Density (Fluid) 1	0.856149 kg/m ³	Achieved (IT = 130)	8.56149e-09 kg/m ³	0.856149 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.46519 m/s	Achieved (IT = 130)	0.00128874 m/s	1.46482 m/s

MES DE NOVIEMBRE				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	1.26635	Achieved (IT = 131)	0.0034085	1.26541
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.182354	Achieved (IT = 131)	0.000490824	0.182219
GG Average Density (Fluid) 1	0.85675 kg/m ³	Achieved (IT = 130)	8.5675e-09 kg/m ³	0.85675 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.42612 m/s	Achieved (IT = 131)	0.00126447 m/s	1.42577 m/s
MES DE DICIEMBRE				
Solver: SIMULACIÓN MODIFICACIÓN 3 [Predeterminado] (SIMULATION MODIFICACIÓN 3.SLDASM) - [List of Goals]				
File Calculation View Insert Window Help				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
AREA DE BARRIDO	1.0192	Achieved (IT = 75)	1.0192e-08	1.0192
DENSIDAD DE POTENCIA	0.892719	Achieved (IT = 132)	0.00241423	0.891963
ENERGIA MENSUAL PRODUCIDA	0.128552	Achieved (IT = 132)	0.00034765	0.128443
GG Average Density (Fluid) 1	0.855849 kg/m ³	Achieved (IT = 128)	8.55849e-09 kg/m ³	0.855849 kg/m ³
GG Average Velocity (Z) 2	1.26969 m/s	Achieved (IT = 132)	0.00113099 m/s	1.26933 m/s

Fuente: Programa SolidWorks Simulation

Anexo 11: Autorización para la realización y difusión de resultados de la investigación

AUTORIZACIÓN PARA LA REALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Por medio del presente documento, Yo

(NOMBRE COMPLETO),
identificado con DNI N° _____ (NÚMERO DE DNI DEL
REPRESENTANTE LEGAL) y representante legal de

(ENTIDAD) autorizo a

(NOMBRE COMPLETO DEL TESISISTA)
identificado con DNI N° _____ (NÚMERO DE DNI DEL
TESISTA) a realizar la investigación titulada:
“ _____ ” (TÍTULO DE LA TESIS) y a difundir los
resultados de la investigación utilizando el nombre de

(NOMBRE DE LA ENTIDAD).

Lima, ____ (DÍA) de ____ (MES) de ____ (AÑO) (FECHA DE LA AUTORIZACIÓN)

FIRMA

(NOMBRE COMPLETO DEL REPRESENTANTE LEGAL)

DNI N° _____ (DNI DEL REPRESENTANTE LEGAL)

(CARGO EN LA ENTIDAD)

(NOMBRE DE LA ENTIDAD)