

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Generador Eólico Eje Vertical

**Juan Fernando Salazar Oñate
Luis Felipe Naranjo Rhor
Wilson Martín Farfán Medina
Julián Felipe Naranjo Llerena**

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Mecánico

Quito, 25 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Proyecto Integrador IME

Juan Fernando Salazar

Luis Naranjo

Martín Farfán

Julián Naranjo

**Nombre del profesor, Título académico Juan Sebastián Proaño,
Doctor en Ingeniería mecánica y Recursos Bio-renovables**

Quito, 25 de diciembre de 2022

. © **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Fernando Salazar Oñate

Código: 00208165

Cédula de identidad: 0604496885

Lugar y fecha: Quito, 25 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Luis Felipe Naranjo Rhor

Código: 00207547

Cédula de identidad: 1720103892

Lugar y fecha: Quito, 25 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Julián Felipe Naranjo Llerena

Código: 00215992

Cédula de identidad: 1724212905

Lugar y fecha: Quito, 25 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Wilson Martín Farfán Medina

Código: 00207250

Cédula de identidad: 1719871962

Lugar y fecha: Quito, 25 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

La alta demanda de energía eléctrica ha impulsado a la búsqueda de métodos alternativos de su producción, los cuales se enfocan en el aprovechamiento de recursos renovables. Debido a que el consumo energético de la USFQ es excesivamente alto con pérdidas de eficiencia globales, se ha planteado una posible generación propia para abastecer parte de la demanda interna con fuentes renovables. Este es el caso de los generadores eólicos que aprovechan el flujo del viento para la transformación de energía mecánica en energía eléctrica. El siguiente trabajo consiste en analizar el diseño, construcción e implementación de un Generador Eólico de Eje Vertical para su uso dentro del campus. Para seleccionar el diseño de la turbina se realizó una evaluación de criterios donde se determinó una geometría híbrida de un Rotor H y un Savonius para incrementar el coeficiente de potencia del generador. Las hélices de la turbina fueron construidas con madera de pino debido al requisito de utilizar materiales biodegradables. Utilizando las velocidades del viento proporcionados por el EMA (Estación de Mediciones Atmosféricas) se realizaron varias simulaciones en SolidWorks para determinar las dimensiones de la turbina. La otra parte del proyecto fue el uso de un microcontrolador para medir el suministro de energía en la salida de los puertos de carga para dispositivos móviles y obtener la información mediante un IoT. Por último, se encontró que para el funcionamiento del generador se requiere de un viento de al menos 4m/s, y estas velocidades solo tienen una frecuencia de aproximadamente el 10% al año dentro del campus, por lo que no se recomienda implementar un generador eólico.

Palabras clave: Recursos Renovables, Generador Eólico, Eje Vertical, Geometría Híbrida, Coeficiente de potencia.

ABSTRACT

The high demand for electrical energy has prompted the search for alternative methods of its production, which focus on the use of renewable resources. Due to the fact that USFQ's energy consumption is excessively high with global efficiency losses, a possible own generation has been considered to supply part of the internal demand with renewable sources. This is the case of wind generators that use the flow of the wind to transform mechanical energy into electrical energy. The following work consists of analyzing the design, construction and implementation of a Vertical Axis Wind Generator for use within the campus. To select the design of the turbine, an evaluation of criteria was carried out where a hybrid geometry of a Rotor H and a Savonius was determined to increase the power coefficient of the generator. The turbine blades were made of pine wood due to the requirement to use biodegradable materials. Using the wind speeds provided by the EMA (Atmospheric Measurement Station) several simulations were carried out in SolidWorks to determine the dimensions of the turbine. The other part of the project was the use of a microcontroller to measure the power supply at the output of the charging ports for mobile devices and obtain the information through an IoT. Finally, it was found that for the operation of the generator a wind of at least 4m/s is required, and these speeds only have a frequency of approximately 10% per year within the campus, so it is not recommended to implement a wind generator.

Keywords: Renewable Resources, Wind Generator, Vertical Axis, Hybrid Geometry, Power Coefficient.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
TABLA DE CONTENIDO	10
INTRODUCCIÓN	19
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	21
Definición del problema	21
Especificaciones del proyecto	22
DISEÑO DE COMPONENTES Y SELECCIONES.....	22
Subsistema Geometría	23
Subsistema Material	25
Subsistema Generador (Alternador)	27
Subsistema Controlador de Carga	28
Subsistema Microcontrolador	30
Subsistema Conexión de Salida	32
GESTIÓN DEL PROYECTO	34
ESTANDARES INGENIERÍLES.....	35
ISO 2394	35
IEC 62035	36
IEC 61400-13	37
UNE-EN 60204-1	37
SELECCIÓN DE COMPONENTES Y MATERIALES.....	38
Eje Principal	38
Poleas	39
Chumaceras	40
Componentes de sujeción	40
Caja – Estructura principal	40
Rotor H y Brazos del Rotor H	41
Acoples, apoyos de sujeción y componentes adicionales	41

	11
Rotor Savonius	41
Alternador	42
Controlador de Carga	42
DISEÑO PARA MANUFACTURA.....	44
Lista de tecnologías	45
Diagramas de Flujo	47
Calendario de Manufactura	50
Dimensiones de manufactura y revisión de tolerancias	51
REPORTE DE DISEÑO.....	53
ANÁLISIS INGENIERIL.....	54
Análisis de viento	54
Determinación de la Oferta energética	59
Determinar la demanda energética	62
Coeficiente de Potencia	64
Simulaciones	66
Diseño del Eje	69
Diseño del Rodamiento (Chumacera)	74
Diseño del sistema electrónico	75
PLAN DE PRUEBAS DE PROTOTIPO.....	82
Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico	82
Fácil mantenimiento	83
Resistente a la intemperie	83
Resistencia a cargas fluctuantes	83
No genere altos niveles de ruido	84
Cumplimiento del abastecimiento energético	84
Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente	85
SEGURIDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO	86
Técnico	87
Seguridad	88

	12
Ambientales	88
Manejo de Recursos	89
Financieros	89
Operacionales	90
Legales	90
MANTENIMIENTO Y MANUAL DE OPERACIONES.....	92
Datos Técnicos	92
Listado de Partes	93
Planos de ensamble	97
Información de seguridad	99
Descripción general del producto y características	99
Recomendaciones de Mantenimiento	101
Cronograma de mantenimiento	101
RESULTADOS.....	103
Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico	103
Resistente a la intemperie	107
Resistencia a cargas fluctuantes	108
Fácil mantenimiento	109
No genere altos niveles de ruido	110
Cumplimiento del abastecimiento energético	110
Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente	113
DISCUSIONES.....	114
Conclusiones.....	117
TRABAJOS FUTUROS.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
Anexo A: PLANOS Y DIBUJOS INGENIERÍLES.....	127
Anexo B: PESOS ESPECÍFICOS DE LOS SUBSISTEMAS.....	128
Anexo C: GESTIÓN DEL PROYECTO.....	136
Anexo D: ANÁLISIS INGENIERIL.....	137
Anexo E: DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES COMPRADOS.....	153

Anexo F: REGISTRO Y MONITOREO DE RIESGOS	155
Anexo G: RESULTADOS	158
Anexo H: MINUTAS DE REUNIONES.....	166
Anexo I: BOSQUEJOS	170
Anexo J: FACTURAS	170
Anexo K: COMPONENTES QUE EVIDENCIAN UN TRABAJO CONTINUO.....	172

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Conclusiones para el subsistema Geometría</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2 Conclusiones para el subsistema Material</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3 Conclusiones para el subsistema Generador</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4 Conclusiones para el subsistema Controlador de Carga.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5 Conclusiones para el subsistema Controlador de Carga.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6 Selección de materiales de componentes manufacturados del sistema diseñado</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7 Operaciones y Tecnologías de manufactura del Generador Eólico de eje vertical</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8 Calendario de Manufactura.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9 Tabla de tolerancias en función de los materiales de los componentes fabricados</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10 Velocidad promedio mensual del mes de enero del 2021</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Tabla 11 Velocidades promedio máxima y mínimas para enero del 2021</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 12 Energía y potencia entrega en un promedio mensual.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 13 Demanda global de energía anual para cargar solo celulares</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 14 Componentes de la estación de monitoreo</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 15 Componentes del puerto de carga.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 16 Valoración cualitativa de cada riesgo del proyecto.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 17 Valoración cualitativa de cada riesgo del proyecto.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 18 Listado de componentes mecánico/eléctricos con su respectiva descripción.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 19 Listado de componentes electrónicos con su respectiva descripción</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 20 Lista del cronograma de mantenimiento.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 21 Potencia Producida Real por rangos.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 22 Potencia Producida Real por meses.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 23 Criterios Subsistema Geometría</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 24 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Facilidad de Construcción.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 25 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Coeficiente de Potencia.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 26 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Autonomía.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 27 Criterios Subsistema Material.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 28 Evaluación peso específico Subsistema Material Peso</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 29 Evaluación peso específico Subsistema Material Precio.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 30 Evaluación peso específico Subsistema Material Facilidad de Construcción.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 31 Evaluación peso específico Subsistema Material Renovable.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 32 Evaluación peso específico Subsistema Material Resistencia Mecánica</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 33 Criterios Subsistema Generador</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 34 Evaluación peso específico Subsistema Generador Precio</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 35 Evaluación peso específico Subsistema Generador Eficiencia</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 36 Evaluación peso específico Subsistema Generador Implementación</i>	<i>131</i>

<i>Tabla 37 Evaluación peso específico Subsistema Generador Dimensiones</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 38 Criterios Subsistema Controlador de Carga</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 39 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Ciclo de Vida</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 40 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Precio</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 41 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Eficiencia de Carga.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 42 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Facilidad de implementación ...</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 43 Criterios Subsistema Microcontrolador</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 44 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Facilidad de Programación.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 45 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Conectividad con Internet</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 46 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Precio</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 47 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Capacidad de Procesamiento.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 48 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Versatilidad</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 49 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Precio</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 50 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Satisfacción del cliente.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 51 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Facilidad de conexión.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 52 Reporte de costos</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 53 Resumen de Velocidades Promedio Mensuales durante el año 2021</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 54 Resumen de Velocidades Promedio Máximas Mensuales durante el año 2021.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 55 Resumen de Velocidades Promedio Mínimas Mensuales durante el año 2021.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 56 Frecuencias de los intervalos de la velocidad del viento en el año 2021</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 57 Cálculo de potencia mensual promedio.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 58 Cálculo de potencia mensual máximo</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 59 Cálculo de potencia mensual mínimo</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 60 Intervalos de potencia</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 61 Intervalos de velocidad</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 62 Cálculo porcentajes estimados</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 63 Comparación de energía entregada observada y estimada</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 64 Error porcentual entre la potencia real y la ideal</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 65 Rangos de velocidades de viento (Vanek , 2008).....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 66 Demanda global de energía semanal solo para celulares y tablets</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 67 Demanda global de energía anual para cargar laptops y celulares.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 68 Demanda global de energía semanal para laptops y celulares</i>	<i>148</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Geometrías Savonius, Darrieus, Rotor-H y Helocoidal.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2 Material considerados para la construcción del generador eólico. Madera de bambú, madera de balsa y resina de fibra de vidrio (PRO & CAR, 2018) (Ya-Gu, 2022).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3 Generador sincrónico de rotor bobinado, generador sincrónico de imanes permanentes, generador asincrónico de rotor bobinado y generador asincrónico de jaula de ardilla.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4 Microcontrolador Arduino Uno, Raspebrry pi Pico, Arduino Mega y microcontrolador ESP32 (Arduino, Arduino UNO, 2022) (Mouser Electronics, 2022) (Electronics-Tienda de Robótica, 2022)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5 Salida 110V AC , salida USB A/ USB C y salida 220V AC (WorldStandards, 2022) (Addtam, 2022)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6 Diagrama Gantt Cronograma del Proyecto.....</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Figura 7 Diagrama del sistema de poleas.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 8 Diagrama de flujo para la manufactura del perfil alar.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 9 Diagrama de flujo para la manufactura de los brazos del Rotor H</i>	<i>48</i>
<i>Figura 10 Diagrama de flujo para la manufactura de las poleas</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11 Diagrama de flujo para la manufactura para los ejes.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 12 Diagrama de flujo para la manufactura de los acoples.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13 Diagrama de flujo para la manufactura de la estructura principal.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 14 Diagrama de flujo para la manufactura para la turbina savonius</i>	<i>50</i>
<i>Figura 15 Instituto de Investigaciones Atmosféricas dirigido por María de Carmen Cazorla y Edgar Herrera</i>	<i>55</i>
<i>Figura 16 Distribución de velocidades diarias promedio del viento en el mes de enero del 2021.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 17 Distribución de velocidades promedio del viento vs Mes-2021</i>	<i>57</i>
<i>Figura 18 Distribución de velocidades máximas promedio del viento vs Mes-2021.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 19 Distribución de velocidades mínimas promedio del viento vs Mes-2021</i>	<i>58</i>
<i>Figura 20 Distribución porcentual anual de los rangos de velocidad del viento para el año 2021.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 21 Energía promedio [kWh/m²] para los meses del año 2021.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 22 Resultados de encuesta en el área de duración de carga y frecuencia de carga entre semana</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23 Diseño preliminar de la turbina</i>	<i>66</i>
<i>Figura 24 Dominio computacional para la simulación</i>	<i>67</i>
<i>Figura 25 Velocidad angular para el objeto rotacional</i>	<i>68</i>
<i>Figura 26 Perfil de flujo de velocidades alrededor de la turbina</i>	<i>69</i>
<i>Figura 27 Diagrama de cuerpo libre del Eje de la Turbina.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 28 Diagrama de torque aplicado en el eje (Budynas & Nisbett, 2019).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 29 Chumacera tipo brida cuadrada (BHR, OEM, 2022)</i>	<i>75</i>
<i>Figura 30 Diagrama del sistema electrónico/ eléctrico</i>	<i>76</i>
<i>Figura 31 Diagrama de funcionamiento de la estación monitoreo</i>	<i>78</i>

<i>Figura 32 Simulación en Proteus de la estación de monitoreo</i>	79
<i>Figura 33 Diagrama de funcionamiento del Puerto de carga</i>	80
<i>Figura 34 Simulación en Proteus de Puerto de carga</i>	81
<i>Figura 35 Vista explotada del Generador eólico de eje vertical</i>	92
<i>Figura 36 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC001</i>	97
<i>Figura 37 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC002</i>	97
<i>Figura 38 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC003</i>	98
<i>Figura 39 Cronograma de mantenimiento</i>	102
<i>Figura 40 Diagrama del Puerto de Carga y Sistema de Monitoreo para ser implementado</i>	103
<i>Figura 41 Funcionamiento del puerto de Carga y Sistema de Monitoreo realizado en un Protoboard</i> ...	104
<i>Figura 42 Gráficas de Voltaje, Corriente y Potencia vs Tiempo realizadas por la plataforma de ThingSpeak</i>	105
<i>Figura 43 Prueba del perfil de carga del puesto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1. El eje secundario es utilizado para la gráfica de la línea de Corriente y Potencia</i>	106
<i>Figura 44 Prueba del perfil de carga del puesto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2. El eje secundario es utilizado para la gráfica de la línea de Corriente y Potencia</i>	106
<i>Figura 45 Prueba del perfil de carga del puesto USB utilizando un celular Samsung S4</i>	107
<i>Figura 46 Laca utilizada en las piezas de madera de pino y triplex</i>	108
<i>Figura 47 Simulación de esfuerzos para el eje principal</i>	109
<i>Figura 48 Imágen de prueba a 6.7m/s</i>	113
<i>Figura 48 Diagrama de Gantt de gestión del proyecto</i>	136
<i>Figura 49 Distribución de frecuencias de los rangos de velocidad del viento para el año 2021</i>	140
<i>Figura 50 Encuesta pregunta 1</i>	146
<i>Figura 51 Encuesta pregunta 2</i>	146
<i>Figura 52 Encuesta pregunta 3</i>	147
<i>Figura 53 Encuesta pregunta 4</i>	147
<i>Figura 54 Encuesta pregunta 5</i>	147
<i>Figura 55 Encuesta pregunta 6</i>	148
<i>Figura 56 Resultado del código del cálculo el C_p en EES</i>	149
<i>Figura 57 Resultado del diseño del eje en ESS</i>	153
<i>Figura 58 Descripción del medidor de decibeles</i>	154
<i>Figura 59 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4</i>	162
<i>Figura 60 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4</i> .	163
<i>Figura 61 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4</i> ..	163
<i>Figura 62 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1</i>	164
<i>Figura 63 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1</i>	164

<i>Figura 64 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1</i>	165
<i>Figura 65 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2</i>	165
<i>Figura 66 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2</i>	166
<i>Figura 67 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2</i>	166
<i>Figura 68 Bosquejos realizados durante el diseño del proyecto</i>	170
<i>Figura 69 Factura Elementos de sujeción, alternador y controlador de carga</i>	171
<i>Figura 70 Factura poleas y chumaceras</i>	171
<i>Figura 71 Facturas de elementos de sujeción</i>	171
<i>Figura 72 Factura madera de balsa, madera triplex, laca y pintura</i>	172
<i>Figura 73 Prototipo del generador eólico de eje vertical construido y prototipo del puerto de carga</i>	173
<i>Figura 74 Construcción de la turbina del generador eólico de eje vertical</i>	173
<i>Figura 75 Programación del sistema de monitoreo, conexión del regulador de carga/ alternador y manufactura de la estructura principal</i>	174

INTRODUCCIÓN

En el siguiente proyecto de titulación se realizó el diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical, con el fin de analizar su posible aplicación en el campus de la Universidad San Francisco de Quito, como un punto de carga para dispositivos móviles. Mediante el aprovechamiento de recursos naturales, como el flujo del viento, se busca generar energía eléctrica y ofrecerla a la comunidad de la universidad como un recurso más disponible.

Los requerimientos principales que fueron planteados por el cliente es que el prototipo cuente con un sistema de monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico a la salida del puerto de carga del prototipo; su construcción debe ser en una mayoría realizada con materiales biodegradables para minimizar el impacto ambiental del desecho de las piezas al final de su vida útil; y que el dispositivo cumpla con el abastecimiento energético. De igual forma, el generador eólico de eje vertical debe ser resistente a cargas fluctuantes y a la intemperie, no debe generar altos niveles de ruido y debe ser de fácil mantenimiento.

El diseño del prototipo se lo realizó en base a la combinación de dos geometrías híbridas para la manufactura de la turbina, donde se seleccionó el rotor tipo savonius combinado con el rotor H. Por lo tanto, se aprovecha la característica de que la primera geometría no requiere de un arranque externo junto a la principal ventaja de la segunda geometría, que es la que tiene mayor eficiencia. La estructura principal se la realizó con madera trípex con una dimensión de 717x350x400 mm, y los soportes de la turbina de 30x20x350 mm y los perfiles alares NACA 0018 con madera de pino, materiales biodegradables como fueron especificados. El eje es de aluminio cromado con el fin de que sea resistente a la abrasión, corrosión y oxidación. De forma similar, los componentes de madera fueron

lacados para que resistan las altas temperaturas y la lluvia, al momento que el prototipo se encuentre en las zonas abiertas del campus.

El generador cuenta con una batería de 12V y un generador de imanes permanentes de 400W, combinado con un controlador de carga de 600 W. El puerto de carga es mediante la conexión de USB y el monitoreo de datos se lo realiza a través de la plataforma ThingSpeak mediante un IoT, el cual envía el registro de los datos en formato CVS usando un ESP32 y vía WiFi.

El generador produce un nivel de ruido mínimo, entre 51 db, lo cual no afecta en lo absoluto a la audición humana, en comparación con una conversación normal que redondea los 62 db.

El componente crítico del prototipo fue el eje central, el cual fue diseñado con la teoría de Goodman a fatiga y para el caso crítico, que es la velocidad máxima del viento registrado en el 2021 con 10.93 m/s que produce una fuerza de 111.43 N. Usando un factor de seguridad de 1.3, se obtuvo un diámetro nominal de 1 pulgada, valor que fue comprobado mediante la simulación de esfuerzos en Autodesk Inventor obteniendo un factor de seguridad de 1.2, es decir capaz de resistir las cargas fluctuantes.

A través de encuestas a gente conocedora de la carrera de ingeniería mecánica y gente ajena al tema, se determinó que tan fácil sería realizar el mantenimiento del prototipo, donde las respuestas obtenidas fueron satisfactorias indicando que no se requiere de un personal sumamente capacitado. Esto se logró en base al diseño modular del prototipo.

Por último, el requerimiento de cumplimiento de abastecimiento energético no fue alcanzado, ya que las condiciones meteorológicas del campus de la universidad no son adecuadas para el funcionamiento del prototipo. Se tiene una velocidad promedio anual del viento de 2.08 m/s, sin embargo, el generador eólico requiere de una velocidad mínima

de 4 m/s para que empiece la rotación de la turbina, lo cual fue comprobado en las pruebas experimentales con el cambio de locación.

El presupuesto disponible para el proyecto fue de 550 USD, y al finalizarlo el reporte de gastos indica que el prototipo costó 548.69 USD.

De forma global, los requerimientos indicados del cliente fueron cumplidos exitosamente al igual que el enfoque general del proyecto.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Definición del problema

Actualmente el suministro eléctrico en el Ecuador proviene tanto de fuentes energéticas renovables como no renovables. Si bien, más del 90% de demanda interna de electricidad es generada por plantas hidroeléctricas, el 9% todavía es atendido por centrales termoeléctricas (Wilmer Torres, 2021) ; por lo que, a largo plazo, se debería plantear como objetivo a nivel nacional trasladar toda la generación eléctrica interna a fuentes renovables, considerando otras fuentes de energía no únicamente hidráulicas.

La problemática por solucionar es la alta demanda energética que existe en la universidad, donde se busca abastecer de energía eléctrica a los estudiantes para operaciones pequeñas como la carga de celulares o computadores portátiles. Para ello se va a recurrir a las energías limpias, específicamente la energía eólica. Se realizará la implementación de un generador eólico de eje vertical, ya que este tipo de generadores pueden funcionar a bajas velocidades, no requieren espacios grandes para su instalación y no es necesario un sistema de orientación con el viento. El cliente, el Dr. Juan Sebastián Proaño profesor de la USFQ es especializado en el área de recursos y energías Bio-Renovables, hace énfasis en que el generador de eje vertical sea construido con materiales biodegradables o

reciclados para minimizar con el impacto ambiental al finalizar la vida útil del dispositivo (Valdés, Pérez, & Razo, 2022).

El proyecto presenta dos limitaciones principales, la primera es la disponibilidad de viento presente en la zona de implementación del generador eólico, para solventar esto una parte del proyecto debe centrarse en el análisis y entendimiento de la ubicación más idónea dentro de la universidad para tener un mayor aprovechamiento del viento y tener la capacidad de generar la mayor cantidad de energía posible. La segunda limitante es el presupuesto disponible, el cual es de 400 USD provistos por la universidad más 150 adicionales provistos por el cliente. Por ende, se debe tener una apropiada selección de componentes y materiales para optimizar los recursos económicos.

Especificaciones del proyecto

El cliente especifica los siguientes requerimientos mínimos deseados para la implementación del proyecto.

- Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico
- Fácil mantenimiento
- Resistente a la intemperie
- Resistencia a cargas fluctuantes
- No genere altos niveles de ruido
- Cumplimiento del abastecimiento energético.
- Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente

DISEÑO DE COMPONENTES Y SELECCIONES

Se seleccionó un generador eólico de eje vertical que para su conceptualización inicial se tomaron en cuenta varios subsistemas críticos. La metodología usada fue la del Método ordinal corregido de criterios ponderados.

Para el diseño y selección de componentes se consideraron los siguientes criterios ingenieriles:

- Costo de materiales utilizados
- Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente
- Cantidad de energía producida frente a costo del instrumento o material utilizado
- Buen desecho de los materiales utilizados al final de la vida útil
- Eficiencia energética

A continuación, se pueden observar los subsistemas críticos considerados

Subsistema Geometría

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- Solución A: Darrieus
- Solución B: Rotor H
- Solución C: Helicoidal
- Solución D: Savonius

Las geometrías planteadas pueden observarse en los siguientes gráficos

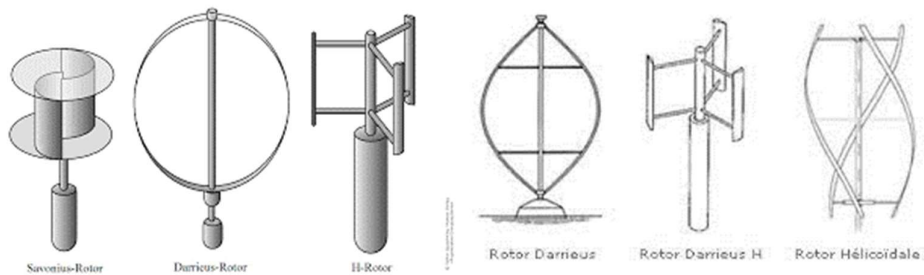


Figura 1 Geometrías Savonius, Darrieus, Rotor-H y Helocoidal

En todas estas geometrías hay que acotar algunas especificaciones técnicas. Se ha encontrado que el número óptimo de álabes para cualquier geometría es de 3 de estas, a una separación de 120° entre cada una (Wenhenubun, Saputra, & Hadi, 2015).

Los criterios definidos para la selección del subsistema Geometría fueron los siguientes:

- Facilidad de Construcción
- Cp (Coeficiente de Potencia)
- Autonomía

Posteriormente se deben evaluar cada criterio tomando en cuenta el orden de prioridad.

La evaluación de criterios para todos los subsistemas puede observar en la sección Anexo B.

Se da prioridad al Coeficiente de potencia sobre las demás ya que se busca recuperar la mayor cantidad de energía eólica posible, por lo que se buscará encontrar la geometría que pueda proveer de esto, y, de igual manera, que cumpla con los demás parámetros. En el caso de Facilidad de construcción, va como último puesto, esto debido a que se ha encontrado diferentes maneras de cómo construir estas, pero no todas pueden arrancar por si solas o mantenerse autónomas todo el tiempo

Se evalúan los pesos específicos de cada una de las soluciones en función de los criterios antes mencionados. Esta evaluación para todos los subsistemas se encuentra detallada por medio de tablas en la sección de Anexo B.

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen.

Tabla 1 Conclusiones para el subsistema Geometría

Conclusión	Facilidad de Construcción	Cp (Coeficiente de Potencia)	Autonomía	Σ	Prioridad
Solución A	0.07	0.05	0.1	0.217	3--4
Solución B	0.03	0.18	0.03	0.242	2
Solución C	0.02	0.1	0.1	0.217	3--4
Solución D	0.05	0.18	0.1	0.325	1

Como se puede apreciar en la tabla 1, la mejor solución para para el problema es la Solución D, que en nuestro caso es el Rotor H, sin embargo, este tiene el peor coeficiente de potencia de todos. Además, se decidido realizar una geometría mixta entre la solución B y D, ya que el rotor de tipo Savonius no requiere un arranque externo por lo que su autonomía es mayor.

Subsistema Material

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- **Solución A:** Resina con fibra de vidrio.
- **Solución B:** Madera de balsa/ pino
- **Solución C:** Madera de bambú
- **Solución D:** Plásticos PET



Figura 2 Material considerados para la construcción del generador eólico. Madera de bambú, madera de balsa y resina de fibra de vidrio (PRO & CAR, 2018) (Ya-Gu, 2022)

Los criterios definidos para la selección del subsistema Material fueron los siguientes:

- Peso
- Precio
- Facilidad de construcción
- Renovable
- Durabilidad en el tiempo

Se da prioridad a que el material sea renovable ya que es una especificación del cliente.

Los criterios peso, facilidad de construcción y durabilidad en el tiempo se consideran

igual de importantes entre sí ya que se busca una solución que optimice el uso de recursos, sea liviano y resistente ante las fuerzas ejercidas por el flujo del viento. Por último, el precio del material, donde se tiene cierta flexibilidad económica y no es un criterio que afecte directamente al desempeño del generador eólico.

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen.

Tabla 2 Conclusiones para el subsistema Material

Conclusión	Peso	Precio	Facilidad de Construcción	Renovable	Resistencia Mecánica	Σ	Prioridad
Solución A	0.02	0.007	0.02	0.03	0.04	0.080	4
Solución B	0.08	0.013	0.05	0.12	0.02	0.260	1
Solución C	0.06	0.027	0.05	0.12	0.08	0.253	2
Solución D	0.04	0.020	0.08	0.07	0.06	0.207	3

Como se puede observar en la tabla 2, la solución que abarca de mejor forma los criterios establecidos es la solución B; la cual hace referencia a la madera de balsa. Este es un material liviano, de bajo costo y su degradación natural no tendrá un gran impacto en el medio ambiente. Sin embargo, su resistencia mecánica y flexibilidad para la construcción de geometrías complejas no es del todo adecuado. Por ende, se decidió realizar una combinación de soluciones para formar una híbrida. La nueva solución es realizar la construcción del generador eólico combinando los materiales de plástico PET y madera de balsa, donde la madera de balsa será usada en las piezas que no requieran una geometría muy compleja como los brazos de las aspas, mientras que la impresión 3D usando plástico PET será utilizada para la construcción de las aspas que requieren un perfil alar específico. La solución sigue siendo renovable al utilizar componentes orgánicos (madera de balsa) y la reutilización del plástico PET, se aprovecha la mayor

resistencia mecánica de la solución D sin descuidar el peso de la estructura con la solución B. Así mismo ambos materiales no requieren de una gran inversión económica.

Subsistema Generador (Alternador)

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- **Solución A:** Generador síncrono de rotor bobinado
- **Solución B:** Generador síncrono de imanes permanentes
- **Solución C:** Generador asíncrono de rotor bobinado
- **Solución D:** Generador asíncrono de jaula de ardilla



Figura 3 Generador síncrono de rotor bobinado, generador síncrono de imanes permanentes, generador asíncrono de rotor bobinado y generador asíncrono de jaula de ardilla

Los criterios definidos para la selección del subsistema Generador fueron los siguientes:

- Precio
- Eficiencia
- Facilidad de implementación
- Dimensiones

Para la selección del generador el criterio más importante es la eficiencia, puesto que mientras más eficientes mayor capacidad de carga se obtendrá. Luego es importante mantenerse dentro del presupuesto, y el generador es uno de los componentes más caros, por eso se debe tomar en cuenta el precio, lo ideal sería conseguir un generador que no sea tan caro y que tenga una buena eficiencia. La facilidad de implementación es el tercer criterio para seguir para que no se complique las conexiones y adaptación del componente

con los demás. Y por último las dimensiones, se debe conseguir un tamaño ideal para que encaje en el sitio donde se va a colocar.

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen.

Tabla 3 Conclusiones para el subsistema Generador

Conclusión	Eficiencia	Precio	Facilidad de implementación	Dimensiones	Σ	Prioridad
Solución A	0.12	0.120	0.07	0.03	0.340	2
Solución B	0.16	0.090	0.07	0.04	0.360	1
Solución C	0.04	0.045	0.03	0.02	0.135	4
Solución D	0.08	0.045	0.03	0.01	0.165	3

Como se puede observar en la tabla 3, la mejor opción es la solución B que es el generador síncrono de imanes permanentes. Este tiene la mejor eficiencia y el precio para un generador con las especificaciones requeridas del proyecto se encuentran dentro del presupuesto, y no es más costoso que los otros generadores. Como segunda opción está el rotor bobinado, esta opción se descarta porque es menos eficiente que la solución B. Luego está la jaula de ardilla, que también se puede usar para aerogeneradores y conectarse directamente, el problema es que aparte se necesitan variadores de frecuencia y conectarse con engranes. Esto es igual para la última solución que es el generador asíncrono con rotor bobinado. Otra razón por la que también se descartan es que al requerir otros componentes tienen menor facilidad de implementación, además también son más robustos y pesados por lo que cuentan con dimensiones mayores para el diseño del proyecto

Subsistema Controlador de Carga

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- **Solución A:** Regulador de Carga PWM
- **Solución B:** Regulador de Carga MPPT
- **Solución C:** Regulador de Carga tipo “Voltage Regulator”

Los criterios definidos para la selección del subsistema Controlador de Carga fueron los siguientes:

- Eficiencia de Carga
- Facilidad de Implementación
- Precio
- Ciclo de vida

Se prioriza la eficiencia de carga del controlador de carga ya que mientras mejor sea este parámetro más rápido se cargará la batería (por ende, el sistema tendrá disponibilidad de cargar más dispositivos) y a la vez la vida útil de la misma se preservará. Luego se presenta la facilidad de implementación ya que uno de los requerimientos del proyecto es que existe un monitoreo de los datos, mientras más fácil sea la implementación del componente también será su programación para obtener información de la energía generada. Posteriormente se coloca el precio ya que al ser un componente electrónico complejo puede tener un costo elevado si es que su dimensionamiento ni sus funciones están bien determinadas. Por último, se encuentra el ciclo de vida ya que mientras más complejo es el controlador se requiere que sus componentes sean más duraderos en el tiempo

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen

Tabla 4 Conclusiones para el subsistema Controlador de Carga

Conclusión	Ciclo de vida	Precio	Eficiencia de Carga	Facilidad de Implementación	Σ	Prioridad
Solución A	0.05	0.07	0.13	0.10	0.35	1.00
Solución B	0.03	0.03	0.20	0.05	0.32	3.00
Solución C	0.02	0.10	0.07	0.15	0.33	2.00

Como se puede observar en la tabla 13, la solución A es la óptima para la implementación en el proyecto. La opción A consiste en un controlador o regulador de carga de tipo PWM

es decir de modulación de ancho de pulso. Se seleccionó esta opción ya es presenta una eficiencia de carga intermedia entre las opciones mostradas, no tiene la modalidad de carga máxima presente en los controladores MTTP no tampoco es tan básico como un regulador de voltaje. También ofrece un precio intermedio dentro de las opciones presentadas debido a que este tipo de controladores están realizados para sistemas de generación de dimensiones reducidas. Por último, también es selecciona esta opción ya que su ciclo de vida es el mejor de todas las opciones, presentando los componentes electrónicos que más durarían a través del periodo de funcionamiento de del proyecto

Subsistema Microcontrolador

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- **Solución A:** Arduino UNO

Amestica, Melin, & Lagos, 2019) (Tech Explorations , 2022) (TECmikro, 2022)

- **Solución B:** Raspberry Pi Pico

Gosh, 2021) (Grupo Electrostore, 2022) (Raspberry Pi, 2022)

- **Solución C:** Arduino Mega

Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3, 2022) (Amestica, Melin, & Lagos, 2019).

- **Solución D:** ESP32

Electronics-Tienda de Robótica, 2022) (Amestica, Melin, & Lagos, 2019) (Espressif Systems, 2022)

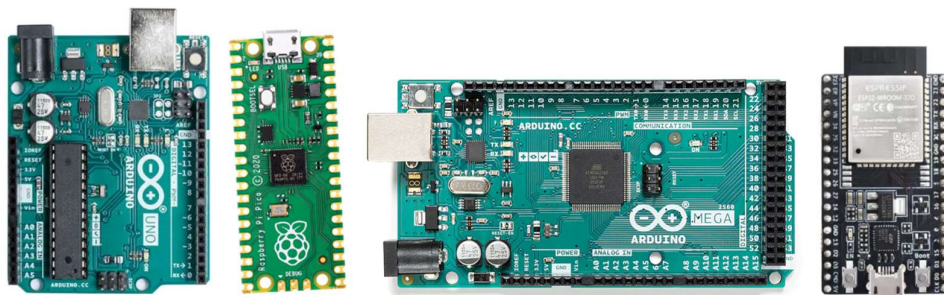


Figura 4 Microcontrolador Arduino Uno, Raspebrry pi Pico, Arduino Mega y microcontrolador ESP32 (Arduino, Arduino UNO, 2022) (Mouser Electronics, 2022) (Electronics-Tienda de Robótica, 2022)

Los criterios definidos para la selección del subsistema Microcontrolador fueron los siguientes:

- Facilidad de programación
- Conectividad de internet
- Precio
- Capacidad de procesamiento

El criterio con mayor prioridad es la capacidad de procesamiento, ya que esta característica es de vital importancia para medir el desempeño del generador eólico donde se puede observar la cantidad de potencia generada y la velocidad del viento en un determinado instante con el fin de realizar un procesamiento de datos y evaluar la eficiencia del generador eólico. Le sigue el criterio de conectividad a internet, ya que el dispositivo debe tener esta característica para el almacenamiento, envío de las lecturas y el monitoreo del equipo en tiempo real ex situ; lo cual facilita el uso del generador eólico. En tercer lugar, de prioridad está la facilidad de programación donde se busca un dispositivo que utilice un lenguaje que sea sencillo de interpretar y programar, sin embargo, este criterio está sujeto a la capacidad del programador y no afecta en la lectura, recopilación o transporte de datos. Por último, está el precio, donde se tiene cierta flexibilidad con el costo del dispositivo en base al presupuesto asignado y no influye en el desempeño del generador eólico.

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen:

Tabla 5 Conclusiones para el subsistema Controlador de Carga

Conclusión	Facilidad de programación	Conectividad con Internet	Precio	Capacidad de procesamiento	Σ	Prioridad
Solución A	0.03	0.045	0.04	0.04	0.155	4
Solución B	0.07	0.090	0.025	0.12	0.305	2
Solución C	0.03	0.045	0.01	0.08	0.165	3
Solución D	0.07	0.120	0.025	0.16	0.375	1

Como se puede observar en la tabla 5, la solución D, que hace referencia al uso del dispositivo ESP32, es aquella que cumple de mejor forma con todos los criterios definidos. Este microcontrolador ya tiene integrada la conectividad con internet mediante Wi-Fi sin hacer uso de ningún componente externo, como en el caso del Arduino UNO y Arduino Mega. Sin embargo, el dispositivo Raspberry Pi Pico también cuenta con conexión a internet mediante Wi-Fi, pero lo hace mediante un chip externo. En este caso el programador indica que el lenguaje de programación MicroPython es más sencillo y además la cantidad de librerías y scripts que se pueden incluir en el código están limitadas por la memoria del dispositivo sin afectar a su velocidad de procesamiento, a diferencia del lenguaje C++ que utiliza el Arduino UNO y Arduino Mega. De igual forma, el ESP32 tiene un precio económico de alrededor de 14USD y una capacidad de procesamiento superior al resto de alternativas, con 32 bits.

Subsistema Conexión de Salida

Las soluciones planteadas para este subsistema se enumeran a continuación:

- **Solución A:** Salida 110V AC
- **Solución B:** Salida USB A/ USB C
- **Solución C:** Salida 220V AC

Igual que los 110V tiene una conexión con fase, neutro y tierra. Estas salidas se utilizan más para equipos y maquinarias industriales que requieren de alto voltaje.



Figura 5 Salida 110V AC , salida USB A/ USB C y salida 220V AC (WorldStandards, 2022) (Addtam, 2022)

Los criterios definidos para la selección del subsistema Conexión de Salida fueron los siguientes:

- Versatilidad
- Precio
- Satisfacción del cliente
- Facilidad de conexión.

El criterio con mayor prioridad es la satisfacción del cliente, debido a que siempre deben estar funcionales los conectores para los usuarios y que no cuenten con inconvenientes para cargar sus dispositivos. Después está el criterio de versatilidad, para que sea funcional para distintos dispositivos y la posibilidad de más usuarios. El tercer criterio es la facilidad de conexión, es decir que sean conectores universales compatibles con los cables utilizados para la carga de dispositivos. Por último, está el precio. Este criterio se puso al final debido a que primero se debe tomar en cuenta la calidad, y también porque la mayoría de los tomacorrientes o conectores para carga están en un rango similar de precio.

Se determina la solución óptima mediante el siguiente cuadro de resumen

Tabla 6 Conclusiones para el subsistema Conexión de salida

Conclusión	Versatilidad	Precio	Satisfacción del cliente	Facilidad de conexión	Σ	Prioridad
Solución A	0.15	0.033	0.133	0.07	0.383	2
Solución B	0.10	0.050	0.200	0.10	0.450	1
Solución C	0.05	0.017	0.067	0.03	0.167	3

Como se puede observar en la tabla, la solución B es la que cumple con la mayoría de los criterios, siendo las conexiones USB A y USB C la óptima para la satisfacción de los usuarios, debido que la mayoría de las cargas van a hacer de tabletas y celulares. Esto se debe a que la capacidad generada por la turbina eólica no sea suficiente para cumplir con

los requisitos de carga de una laptop u otro dispositivo que requiera mayor capacidad de carga. También los conectores USB son más económicos que los conectores de 110V o 220V.

GESTIÓN DEL PROYECTO

En cuanto a la gestión del proyecto, se debe revisar el cronograma programado en la propuesta oficial del proyecto. Revisando el cronograma y las fechas de los avances entregados se puede verificar el cumplimiento de cada fase.

Se puede observar que se cumplieron con las fechas establecidas por el diagrama Gantt, sin la necesidad de realizar cambios en alguna actividad. Tener este cronograma fue de gran ayuda para poder cumplir con cada actividad sin retrasos, además de que ya se tenía en cuenta que actividad realizar con anticipación, como ya tener los materiales antes de la construcción final. Sin embargo, siempre hubo ciertos cambios en el diseño del proyecto por lo que algo que se cambiaría sería tener el diseño final CAD y la construcción final hasta antes de la presentación, debido a que hubo mejoras luego de realizar las pruebas del prototipo.

Una de las partes más importantes para el diseño del prototipo es el análisis de riesgos, donde se tomaron en cuenta riesgos técnicos, como falla estructural, sobrecarga del sistema y mala instalación. Los riesgos de seguridad para evitar daños al usuario y al prototipo. Debido a que el generador eólico debe ser ubicado en el exterior está expuesto a fuertes lluvias, las radiaciones UV e incluso los fuertes vientos pueden dañar a los componentes. Para el ensamble del prototipo se tomó en cuenta el tiempo necesario de construcción, y para eso en el calendario de gestión del proyecto se establecieron una fecha máxima para la obtención o fabricación de los componentes. Y por último también

se debe realizar un manual para que el usuario pueda realizar el uso correcto del prototipo y de los mantenimientos evitando cualquier riesgo de operación.

ESTANDARES INGENIERÍLES

Para la construcción de un generador eólico se deben cumplir con varias normativas, que varían en aspectos estructurales, electrónicos, aerodinámicos, de seguridad, etc. A continuación, se detallan varios estándares ingenieriles que se deben cumplir los generadores eólicos con un área de barrido menor a 200m^2 .

ISO 2394

Esta norma es utilizada para la evaluación de los principios generales para fiabilidad de la estructura, con el fin de que esta no tenga fallas estructurales críticas. Dentro de la misma se detallan los siguientes temas (ISO, 2015) :

- La estructura no debe superar la capacidad de carga de los rodamientos
- La estructura no debe presentar deformaciones en el suelo
- La estructura no debe ser afectada en caso de inundaciones, incendios, impactos, fallos locales, etc.
- La estructura debe tener un tiempo de mantenimiento menor al tiempo del diseño del componente en cuestión.
- Se debe enlistar y clasificar los riesgos a los cuales la estructura estaría expuesta.
- La deformación de la estructura debe ser de máximo $L/1000$, donde L representa la longitud libre de la estructura o la luz.
- Se debe contar con un plan de acción en caso de accidentes para salvaguardar la integridad de la estructura y la salud del personal humano alrededor de esta.
- El límite de seguridad no debe ser inferior al límite de desempeño del elemento más crítico.
- La estructura debe ser capaz de soportar las influencias ambientales, como lo son factores físicos, químicos o biológicos.

Esta norma beneficia considerablemente al diseño del prototipo, ya que su cumplimiento asegura que no se tendrán fallas estructurales y en el caso de que las halla se tenga un plan de contingencia.

IEC 62035

El prototipo al estar ubicado al aire libre puede ser expuesto al impacto de rayos. Por ende, esta norma es seleccionada para cumplir con los requerimientos a cumplir para la protección de rayos. Dentro de la misma se detallan los siguientes temas (Lightning and Surge Protection (LSP), 2022):

- La estructura debe contar con una conexión a tierra para descargar la corriente eléctrica provista por el rayo.
- La toma de acciones debe ser tomada en base a una gestión de riesgos con las siguientes categorías: Riesgo de pérdidas humanas (R1), riesgo de pérdida de

servicio al público (R2), riesgo de pérdida del patrimonio cultural (R3), riesgo de pérdida de valor económico (R4).

- Si la estructura presenta riesgo de explosión, se debe tener un sistema de protección contra rayos (LPS) aislado.
- La clase de LPS utilizado varía en función de las corrientes mínimas y máximas más probables que los rayos de la zona pueden tener.
- La conexión a tierra debe ser de baja resistencia eléctrica entre el electrodo y la tierra, debe tener buena resistencia a la corrosión.
- Las baterías deben ser cambiadas en un periodo entre los 6 y 10 años.

La norma beneficia al proyecto ya que al momento de ubicar el prototipo se puede evaluar si cumple con los requerimiento de seguridad en base a su ubicación y elementos aledaños.

IEC 61400-13

Esta norma es seleccionada para el cumplimiento de condiciones atmosféricas adecuadas para la implementación de un generador eólico. Dentro de la misma se detallan los siguientes temas (IEC, 2015):

- El flujo de viento a la altura de los álabes debe ser mandatorio
- El flujo de viento transversal por debajo de los álabes debe ser mandatorio
- Se recomienda un entorno con condiciones atmosféricas estables
- Direccionamiento del viento hacia los álabes es mandatorio

El beneficio que trae esta norma es que se evalúan las condiciones climáticas de la zona con el fin de saber si es que estas son adecuadas previo a la implementación del generador eólico.

UNE-EN 60204-1

Esta norma es seleccionada ya que se detalla la seguridad de máquinas y equipo eléctrico de las maquinas. Dentro de la misma se detallan los siguientes temas (UNE-EN, 2019)

- Cumplimiento de condiciones de maquinarias no portátiles y equipos y sistemas electrónicos, electrónicos y electrónicos programables
- Seguridad de circuitos eléctricos
- Regulación y proyección se sistemas de accionamiento de potencia

El cumplimiento de esta norma beneficia al proyecto ya que se asegura un ambiente laboral seguro en cuanto al manejo de equipos y maquinaria eléctrica.

SELECCIÓN DE COMPONENTES Y MATERIALES

Para la selección de componentes y materiales se utiliza el proceso de selección en base a criterios ponderados y los resultados del análisis ingenieril que se mostraran en las siguientes secciones

Eje Principal

Para el eje principal, encargado de mantener la turbina ubicada en su posición y ayudar a la transmisión del movimiento para la generación de energía eléctrica. Se presentaban tres opciones principales para la selección del material: eje solido de aluminio, eje de duralón y tubo de aluminio. Considerando la inercia y las cargas que se generan en el componente, se consideró que la selección de un eje de aluminio solido no era optimo ya que aumentaría la inercia, requiriendo una mayor velocidad del viento para girar; un eje de duralón, reduciría el peso del componente y la inercia generada, sin embargo, puede verse afectada la durabilidad del componente ya que es un plástico que puede llegar a deformarse o dañarse durante periodos de operación largos o con fuerzas elevadas; por

esta razones se tomó la decisión de seleccionar un eje de un tubo de aluminio 6061 que cumpla con los requerimientos mecánicos de equipo.

El diámetro el eje se selecciona mediante el un análisis de fatiga que permite conocer que diámetro soportara las cargas generadas por el viento durante el periodo de mayor velocidad. En función de estas cargas a fatiga también se calcula el espesor del tubo requerido para evitar la falla.

Poleas

Se requiere el uso de poleas para la transmisión de potencia entre el eje principal y el alternador. La relación de transmisión debe ser determinada en función de los rpm generados por el eje principal y los requeridos por el alternador:

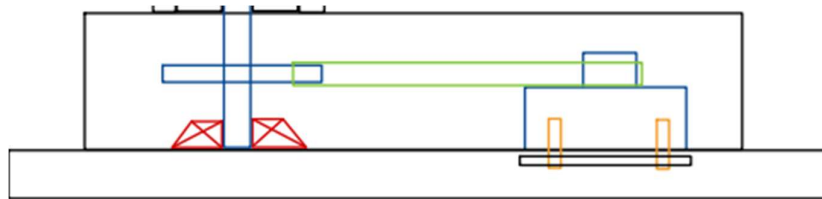


Figura 6 Diagrama del sistema de poleas

Dentro de la disponibilidad del mercado existen poleas de aluminio acero y de acero fundido. Tomando en cuenta el criterio de disponibilidad cualquiera de las dos puede ser seleccionada, sin embargo, el precio de una polea de aluminio fundido es mucho menor que de una de acero fundido. Tomando en cuenta la inercia del eje de la turbina se requiere seleccionar una polea que aporte con el menor peso posible, siendo una polea de aluminio fundido más liviana que una de acero fundido. Además, el aluminio tiene una maquinabilidad menos complicada que el acero fundido. Por último, se selecciona la

polea de aluminio fundido ya que la banda que utiliza es de tipo V sin dientes, presentando una mayor facilidad de implementación.

Chumaceras

La selección de la chumacera cumple la función de soporte y guía del eje principal, por lo que debe seleccionarse una que presente un diámetro interno de 1 pulgada y pueda ser sujeta a la caja (estructura principal) mediante pernos. Las chumaceras se encuentran estandarizadas por lo que debe seleccionarse una que cumpla con los requerimientos mecánicos y además se encuentre disponible en el mercado.

Adicionalmente la chumacera debería presentar un grasero para que pueda lubricarse con facilidad en los respectivos periodos de mantenimiento.

Componentes de sujeción

Los pernos, tuercas y arandelas son componentes de sujeción que se utilizan para fijar los diferentes componentes del sistema diseñado. Según los proveedores presentes en el mercado existen dos tipos diferentes de componentes de sujeción, aquellos fabricados de hierro negro o de acero inoxidable. Los componentes de acero inoxidable pueden tener un periodo de vida útil más largo, sin embargo, estos tienen un costo más elevado que los de hierro negro. Por esta razón, se seleccionaron los componentes de sujeción hechos de hierro negro para la implementación y construcción del proyecto

Caja – Estructura principal

La estructura principal está compuesta por una caja dentro de la que se encontraran los diferentes componentes mecánicos y electrónicos del sistema. La caja puede realizarse diferentes materiales, sin embargo, dentro de los requerimientos del proyecto, está la utilización de materiales biodegradables, por lo que la implantación de una estructura de metal o de plástico, no aporta al cumplimiento del requerimiento. Se seleccionaron

tablones de madera con un espesor de 9mm, según el proveedor los tablones tienen un tamaño de 120x60mm (Edimca, 2022).

Rotor H y Brazos del Rotor H

El rotor H, como se mencionó anteriormente, es un perfil alar de un generador de eje vertical que tiene una forma aerodinámica. Existen diferentes materiales para la construcción este componente. Con el objetivo de cumplir el requerimiento de biodegradabilidad del sistema diseñado, materiales como acero, plástico o fibra de vidrio deben ser descartados para optar por el uso de la madera para la fabricación de este. La madera de balsa o de pino es un buen elemento, cuya maquinabilidad es relativamente barata y de buena calidad para un experto en el trabajo de madera. En Además existen buena disponibilidad en el mercado de bloques de madera que cumplen con las dimensiones necesarias para manufacturar los componentes del Rotor H.

Acoples, apoyos de sujeción y componentes adicionales

Para la correcta sujeción de los diferentes componentes principales del sistema es necesario recurrir a geometrías especiales o complicadas, que pueden ser difíciles de conseguir mediante procesos de manufactura por desprendimiento de viruta. Una opción óptima para obtener soluciones de bajo costo y personalizadas es la impresión 3D. Dependiendo de si los componentes se encuentran bajo cargas mecánicas o solo son aportes visuales, se pueden utilizar diferentes tipos de materiales para la manufactura aditiva. Para el caso de componentes bajo cargas mecánicas se debe utilizar filamento PETG, mientras que en el caso de componentes confines visuales pueden ser impresos con filamento PLA, que presentan menores ventajas físico/químicas y mecánicas.

Rotor Savonius

El Rotor Savonius en la otra parte de la turbina, la cual abarca la mayor parte de del área efectiva del mismo. Esta presenta una forma de medialuna la cual puede ser conseguida

mediante manufactura aditiva o el uso de láminas de plástico plegables, sin embargo, ambos materiales presentan costos muy altos, que reducen el cumplimiento del uso de materiales biodegradables o de la conciencia ambiental del proyecto. Por esta razón se toma la decisión de utilizar un balde de plástico, común en el mercado, el cual puede ser cortada y adaptado para que cumpla con la forma y dimensiones del tipo de rotor.

Alternador

Utilizando la matriz de selección de acuerdo con los criterios ponderados se selección que le uso de un alternador (generador) de imanes permanentes es la selección óptima para implementación del proyecto ya presentan una eficiencia de generación elevada y el precio no es relativamente elevado, por lo que se encuentra dentro del presupuesto establecido. Además, otra ventaja de este tipo de alternador es que no requieren velocidades de rotación altas, por lo que no es necesario implementar complejos sistemas para aumento los rpm generados por la turbina








Controlador de Carga



Utilizando la matriz de selección de acuerdo con los criterios ponderados se selección que el uso de un controlador de carga de tipo PWM, es decir una modulación de ancho de pulso. Se selecciona este componente ya que presenta una eficiencia buena, además de tener un precio razonable y un ciclo de vida útil mayor al de un controlador de carga de tipo MTTP o un regulador de voltaje simple. Es importante mencionar que este tipo de dispositivos no requieren el uso de una Dummy Load para disipar la energía sobrante generada si no que utilizan un frenado electrónico mediante una serie de Mosfet.

A continuación, se puede observar una tabla de resumen de los componentes y materiales seleccionados para la implementación del proyecto:

Tabla 7 Selección de materiales de componentes manufacturados del sistema diseñado

Componente	Material	Figura
-------------------	-----------------	---------------

Eje Principal	Aluminio 6061	
Polea	Aluminio Fundido	
Chumaceras	Chumacera cuadrada de Hierro Colado	
Componentes de sujeción	Hierro Negro	
Estructura principal	Tablones de Madera Tríplex	
Rotor H y Brazo del Rotor H	Madera de Pino	
Acoples, apoyos de sujeción y componentes adicionales	Material de impresión 3D – PLA y PETG	

Rotor Savonius	Plástico	
Alternador y controlador de carga		

DISEÑO PARA MANUFACTURA

La teoría de diseño para construcción se enfoca en la investigación de todos los aspectos necesarios y relevantes para la fabricación de un elemento o proyecto. Dentro de esta teoría se tiene la definición de la problemática y su respectiva solución. Para ello, se realiza una investigación general del tema que se está tratando para luego profundizar en los criterios de diseño y requerimientos que se deben cumplir para resolver la problemática. (Friedman, 2002) (Neira, 2021).

El diseño para construcción está estrechamente relacionado con el diseño mecánico, donde se analizan los esfuerzos a los que están sometidos los elementos mecánicos para su posterior diseño de diámetros, longitudes, etc. Para ello se define un factor de seguridad en función del tipo de cargas, con el fin de determinar qué medidas debe tener el elemento para que esté dentro de los límites para un seguro y correcto funcionamiento (Budynas & Nisbett, 2019).

El diseño para fabricación y ensamble también conocido como DFMA hace referencia a las técnicas y metodologías aplicadas para realizar el diseño, rediseño de un producto o un sistema con el objetivo de optimizar aspectos de fabricación y montaje, mantenimiento de las funcionalidades y reduciendo el costo de ambos procesos.(Fernández García,

2010)El montaje al ser el paso final dentro del diseño de un producto tiene un carácter unificador ya que en él se confluyen las diferentes partes y subsistemas diseñados en la etapa de manufactura.

Para el mantenimiento del generador eólico se debe tomar en cuenta los componentes eléctricos como el alternador, controlador, batería, cables, etc. y los componentes mecánicos como los rodamientos, ejes, bandas, poleas y la turbina. Con respecto a los componentes mecánicos se toman en cuenta los materiales de los que están hechos, y si los materiales reciben algún tratamiento para aumentar la resistencia a climas extremos. Como indica (García, 1984), en el diseño que se realiza en la rama de la ingeniería mecánica se deben tomar varios procesos, criterios y varias cuestiones en consideración a la hora de diseñar componentes o sistemas mecánicos. Cuando se está realizando el análisis “pre-proyecto”, esto quiere decir todas las consideraciones que se deben tomar a la hora de diseñar, es fundamental contemplar el “pronóstico de funcionamiento” (García, 1984). Se hace referencia al análisis de vida útil que se va a dar a los sistemas, módulos, materiales, etc., en nuestro sistema/máquina a diseñar; con la finalidad de tener un estimado del tiempo de trabajo de nuestros equipos, y como finalmente desecharlos.

Lista de tecnologías

Dentro del diseño para manufactura primero es necesario considerar un listado de todas las tecnologías y procesos contemplados dentro del proyecto. A continuación, se presentan una tabla detallada de todas las operaciones necesarias para la manufactura del prototipo del generador eólico.

Tabla 8 Operaciones y Tecnologías de manufactura del Generador Eólico de eje vertical

Tecnologías/ Operaciones	Descripción
Torneado	Las poleas tienen que ser maquinadas para que su agujero tenga el diámetro requerido, por lo que se utilizó el torno para agrandar aquella medida. En adición una de las poleas

	debe tener un roscado interior para poder ser acoplada al eje del alternador, lo cual se realiza en un torno CNC. Por último, los anillos de sujeción se realizaron a través del torneado de un cilindro de metal, en el cual se redujo a las medidas necesarias y la realización de los agujeros.
Corte en sierra vaivén	El corte de los ejes se realizó en una sierra vaivén la cual es ideal para cortes en piezas de metal, debido a su precisión y facilidad de uso
Corte en sierra de mesa	Este equipo es especializado para el corte de madera, y fue utilizado para realizar los cortes a la plancha de madera tríplice y los brazos para el rotor H, donde se consiguió de forma rápida y fácil las dimensiones requeridas
Impresión 3D	La impresión 3D fue utilizada para la manufactura de los acoples ya que se requería una geometría y un ángulo específico y preciso. En adición, esos componentes son pequeños por lo que su fabricación en una impresora 3D no requiere de una gran cantidad de material ni de tiempo.
Taladrado	Esta tecnología de manufactura fue utilizada primordialmente en los brazos del rotor H, donde se realizó un agujero en uno de los extremos de esas piezas para el encaje del acople, esto mediante un taladro de mano. En adición se lo utiliza para realizar agujeros en los perfiles alares donde los acoples encajan y ensamblar por completo el rotor H. Finalmente, será utilizado para la sujeción de la geometría de la turbina savonius hacia los brazos del rotor H, facilitando en encaje de los tornillos hacia la madera y los ángulos de metal requeridos
Fresado	Se hará uso de una fresa para realizar un acanalado a las paredes de la caja, con el fin de encajar una plancha de acrílico y que funcione como una puerta de acceso para el mantenimiento del equipo.
Esmerilado	Se hace uso de un esmeril para eliminar las aristas vivas en los elementos de metal como en el eje y varillas roscadas después del corte.

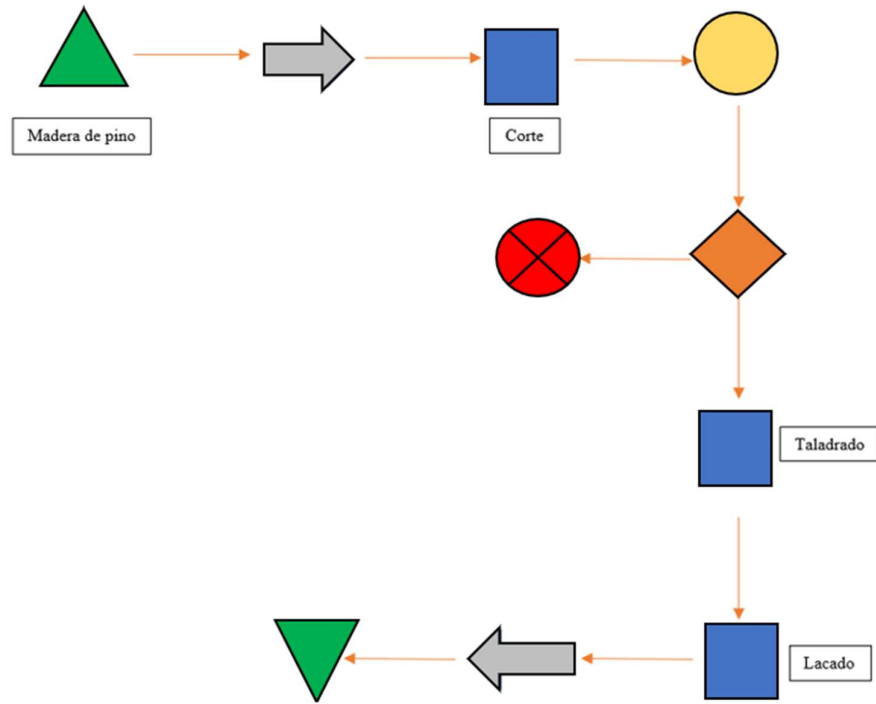


Figura 8 Diagrama de flujo para la manufactura de los brazos del Rotor H

- **Manufactura de las Poleas**

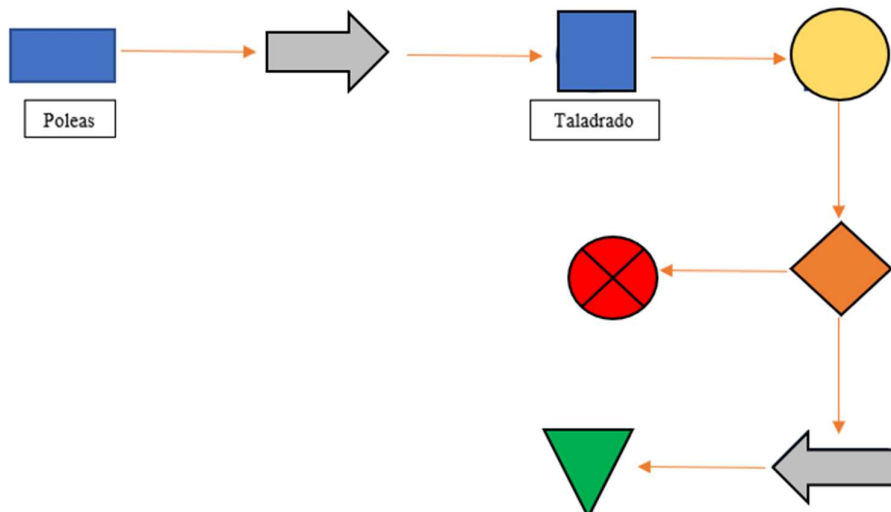


Figura 9 Diagrama de flujo para la manufactura de las poleas

- **Manufactura del eje**

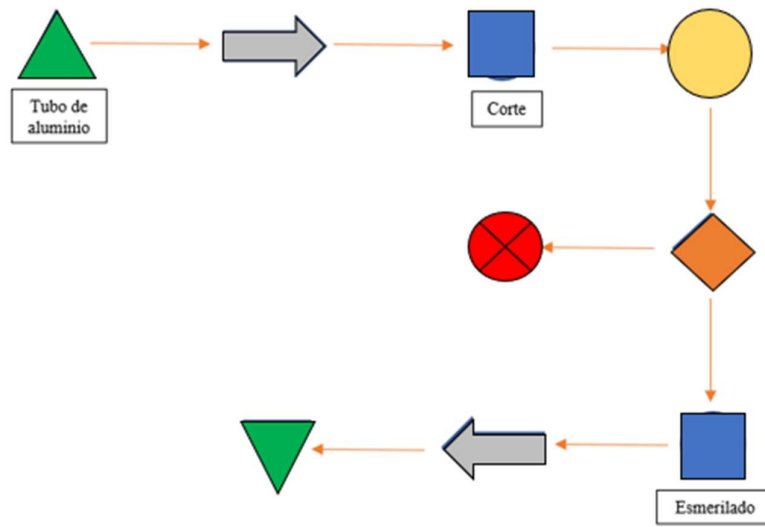


Figura 10 Diagrama de flujo para la manufactura para los ejes

- **Manufactura de los acoples**

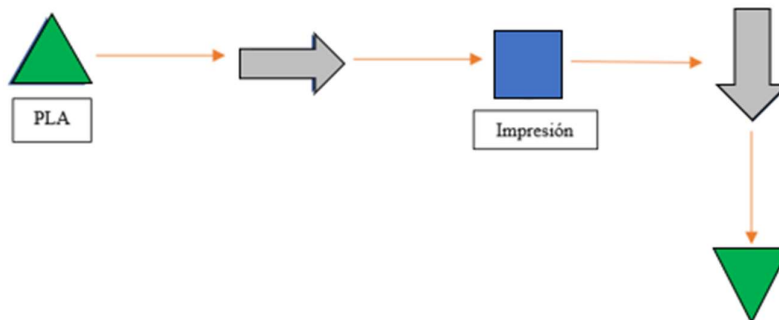


Figura 11 Diagrama de flujo para la manufactura de los acoples

- **Manufactura de la caja (estructura principal)**

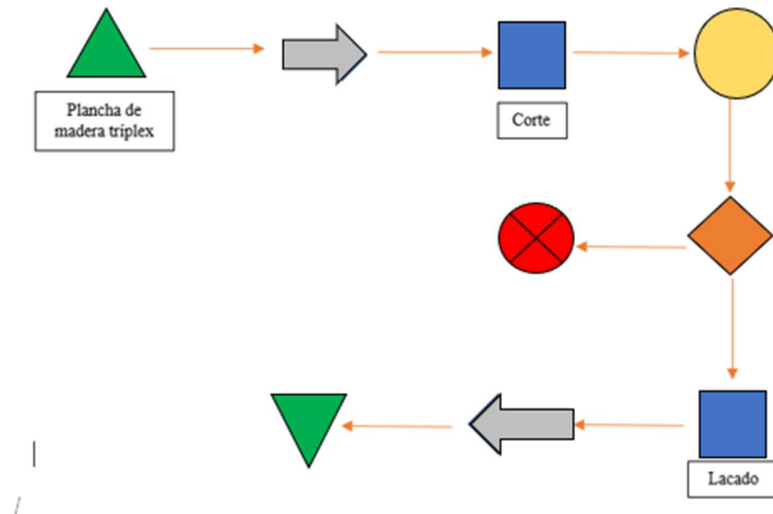


Figura 12 Diagrama de flujo para la manufactura de la estructura principal

- **Manufactura de la turbina Savonius**

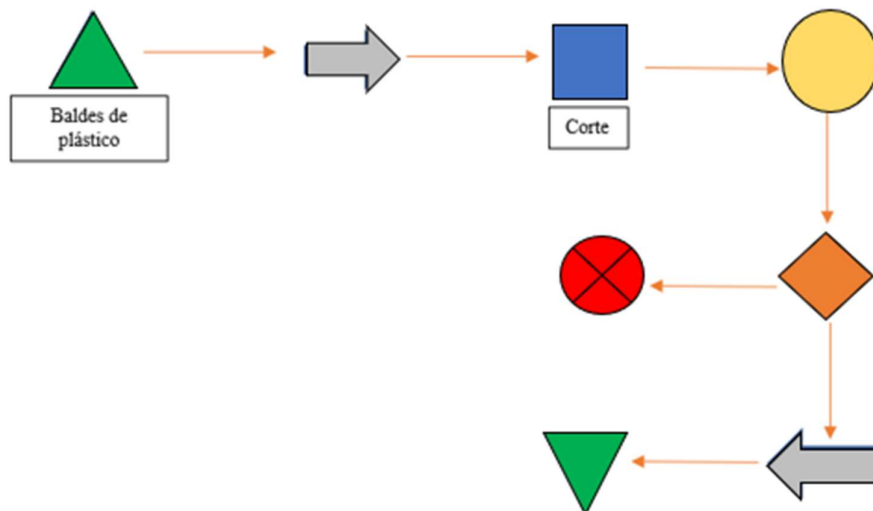


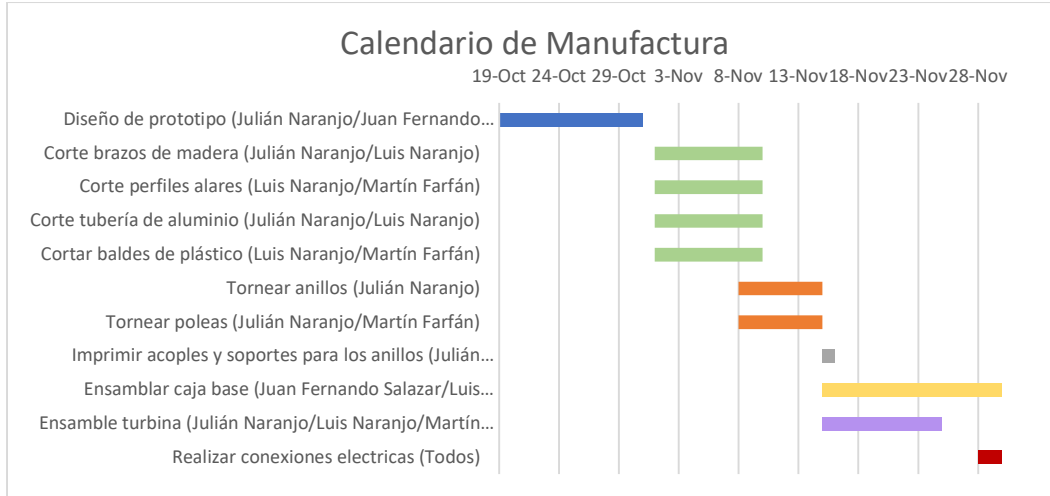
Figura 13 Diagrama de flujo para la manufactura para la turbina savonius

Calendario de Manufactura

Se presenta el calendario de manufactura en el que se detalla cada procedimiento inmiscuido en la construcción del generador eólico de eje vertical. Para cada actividad

está asignado el responsable y con el cuadro de Gantt se especifica el tiempo dentro del que se deben cumplir las mismas.

Tabla 9 Calendario de Manufactura



Dimensiones de manufactura y revisión de tolerancias

Para entender que es la tolerancia y los dimensionamientos de manufactura, hay que entender lo que nos dice la norma ISO286. Con esta norma, se puede entender que la tolerancia es la distancia máxima y mínima que puede ser permisible a la hora de manufacturar una pieza. (Universidad Mar de Plata, 2017). Como este mismo trabajo nos menciona, ningún proceso de manufactura da como resultado una pieza perfecta, siempre tiene ligeras desviaciones a la hora de ser desarrollada. En estos desperfectos entra el concepto de tolerancia, y la aplicabilidad de estas tolerancias. Con esto, se puede definir a la ISO286 como un conjunto de tolerancias, desviaciones y ajustes, reconocidos internacionalmente para la normalización de piezas (Coban Engineering, 2022).

Con estos criterios en mente, lo primero que se solicita es una lista de las cotas y tolerancias a chequear. La tolerancia es algo que, en la parte de construcción mecánica de nuestro proyecto, se tomó muy en cuenta, en especial con las uniones. Se tomó como valor referencial $\pm 1\text{mm}$ para todas las medidas reales; que, justamente, coinciden con el CAD previamente realizado. Al tener estos valores de referencia ya registrados en

modelos 3D y planos, se facilitó el proceso de sujeción de piezas en la construcción. Los encargados de revisar las cotas en planos, y su correspondiente equivalencia en el prototipo son Luis Naranjo y Martín Farfán. Los equipos utilizados para las mediciones de estas son: flexómetros, con tolerancia $\pm 0.5\text{mm}$; calibrador digital, con $\pm 0.005\text{mm}$; y regla, con tolerancia $\pm 0.5\text{mm}$. La metodología para comprobar las medidas es tomar estas con los instrumentos previamente expuestos, tabular estas, y comparar estas con las cotas de los planos previamente realizados y corregidos.

A continuación, se encuentra el detalle de las tolerancias utilizadas para cada uno de los materiales y elementos que se fabricaron.

Tabla 10 Tabla de tolerancias en función de los materiales de los componentes fabricados

Componente	Material	Tolerancia
Soporte de Brazo (TT-GE-PP001) Tapa caja electrónica (TT-GE-PP002) Caja electrónica (TT-GE-PP003) Acople Brazo (TT-GE-PP004) Acople para cables (TT-GE-PP009)	Plástico PLA	$\pm 0.1\text{ mm}$
Anillo (TT-GE-PP005)	Acero A36	$\pm 0.1\text{ mm}$
Base del tensor (TT-GE-PP010) Eje del tensor (TT-GE-PP011) Guía del tensor (TT-GE-PP013)	Acero A36	$\pm 1\text{ mm}$
Brazo (TT-GE-PP006) Rotor H (TT-GE-PP007) Soportes estructura (TT-GE-PP019)	Madera de Pino	$\pm 2\text{ mm}$
Pared lateral derecha (TT-GE-PP014) Pared lateral izquierda (TT-GE-PP015) Pared lateral posterior (TT-GE-PP016) Pared inferior (TT-GE-PP017) Pared superior (TT-GE-PP018)	Madera Tríplex	$\pm 3\text{ mm}$
Savonius (TT-GE-PP008)	Plástico	$\pm 1\text{ mm}$

Eje principal (TT-GE-PP012)	Aluminio 6061	± 2 mm
Placa de acrílico (TT-GE-PP020)	Acrílico	± 0.2 mm

REPORTE DE DISEÑO

Con respecto al diseño, se decidió utilizar una turbina con 3 aspas, es decir 3 perfiles alares y 3 semicírculos del Savonius. se estableció un prototipo con una altura aproximada de 1 metro, donde 44 cm ocupa la altura máxima de la turbina con un radio de 37 cm. La altura es la misma para el rotor H, además tiene un espesor de 18mm y se coloca en un ángulo de ataque de 9° . En cuanto al Savonius se tiene una altura de 33cm y un diámetro de 30cm. Para el Savonius se aumentó el diámetro para compensar la pérdida en altura y de esta forma se aumentó el área efectiva.

Para conectar las turbinas con el eje, se utiliza un anillo de aproximadamente 60mm de diámetro, con un espesor de 13mm, y 3 agujeros que se encuentran a 120° . Además, se realizó la impresión de un soporte para los brazos que se encuentra entre el anillo y el brazo, donde pasan dos pernos por cada brazo para evitar que pivotee el mismo. El eje se encuentra sostenido por dos chumaceras, una está en la tapa de la caja a mitad de distancia del eje y la otra se encuentra en la base de la caja. Las chumaceras sostienen el eje con dos prisioneros. Dentro de la caja, al lado izquierdo del eje se encuentra el alternador a 25 cm de distancia, en la parte de arriba del eje del alternador se encuentra una polea de 2.5 pulgadas que se une con una banda a una polea del mismo diámetro ubicada en el eje, y se ubicó un tensor a la mitad de la distancia de ambas poleas.

Con respecto a la parte electrónica del proyecto, en la parte de atrás del alternador se ubicó el controlador de carga en la pared posterior de la caja y a la izquierda del alternador se encuentra la batería de 12V. Luego se tiene una apertura con un acople en la pared

izquierda por donde salen los cables desde la batería donde se conecta al microcontrolador ESP32 y finalmente al puerto de carga USB. A continuación se encuentra el diagrama de las fases para el diseño del prototipo, donde se indican los componentes que van a hacer fabricados siguiendo el proceso de manufactura indicado en la anterior sección.

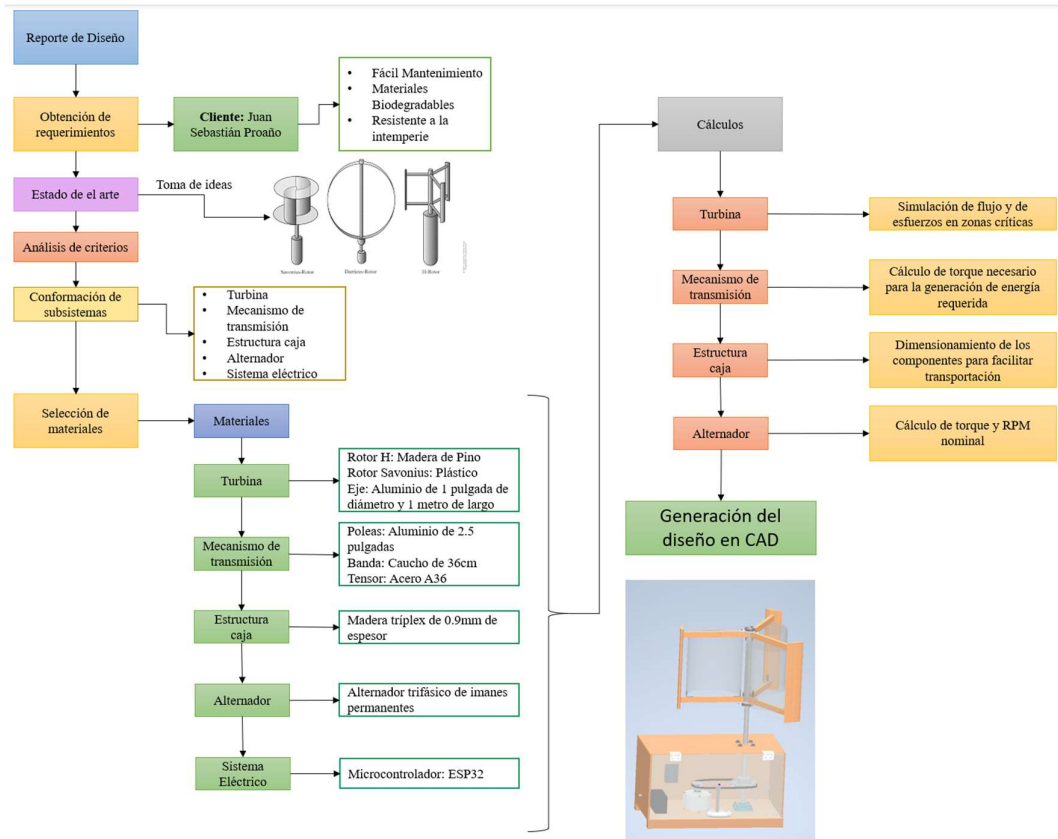


Figura 14 Diagrama reporte de diseño

ANÁLISIS INGENIERIL

Análisis de viento

- **Metodología:**

Para obtener datos históricos de velocidad del viento y temperatura en la Universidad San Francisco de Quito los integrantes del grupo se encargaron de comunicarse con el IIA-USFQ, específicamente con Edgar Herrera, que es el Instituto de Investigaciones Atmosféricas dirigido por María de Carmen Cazorla y Edgar Herrera. El instituto se

encarga de desarrollar nuevos conocimientos que contribuyan al entendimiento de los fenómenos meteorológicos y los métodos de contaminación del aire. El IIA-USFQ dispone de su brazo experimental que es la Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ (0.19° S, 78.43° W, 2414 msnm), la cual está ubicada en la terraza del edificio Maxwell desde el año 2014, que empezó su funcionamiento. El equipo EMA puede realizar tanto mediciones meteorológicas como de calidad a tiempo real, por lo que es una herramienta indispensable dentro del proyecto para entender la velocidad del viento presente en los alrededores de la universidad.

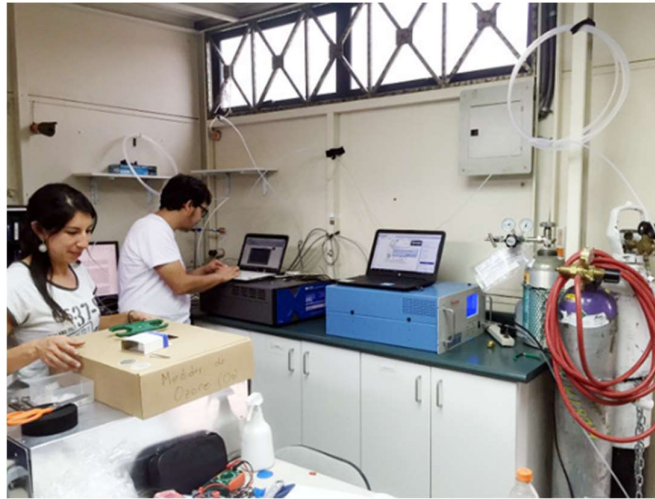


Figura 15 Instituto de Investigaciones Atmosféricas dirigido por María de Carmen Cazorla y Edgar Herrera (Universidad San Francisco de Quito)

Se obtuvieron las velocidades del viento diarias promedio tanto máximas y mínimas. Para determinar el momento del día en donde la velocidad es máxima y mínima se utilizó la función moda y únicamente se tomó en cuenta la hora sin minutos, esto permitirá generar un intervalo de una hora donde la velocidad sea máxima o mínima.

Con las velocidades promedios máximas y mínimas diarias se genera el valor promedio mensual y nuevamente se generan los histogramas correspondientes.

Además, también se determinó la frecuencia de los rangos de velocidad del viento. Para realizar esto se generaron rangos de velocidad con intervalos de 0.5 m/s. De esto modo se determinó cuantas horas al año se producía cada rango de velocidades, la frecuencia y

el porcentaje del año que se produce. A partir de estos valores se puede determinar el rango de velocidades más frecuentes con el objetivo de realizar el diseño en función de la velocidad más frecuente y además tomar en cuenta que tanto pueden afectar las velocidades atípicas al generador eólicos, tomando en cuenta que se producen muy pocas horas al año.

- **Resolución:**

Los datos obtenidos eran de todo el año 2021 y tenían una resolución de 10 minutos, es decir que el IME tomaba datos de las condiciones meteorológicas con ese periodo de espera. Al obtenerse una gran cantidad de datos por día, semana y mes. Era necesario procesarlos de manera concisa para que su visualización sea más simple.

En primer lugar, se realizaron los promedios diarios de la velocidad del viento. A continuación, se puede observar un ejemplo de un histograma de velocidad diarias promedio de mes de enero del 2021.

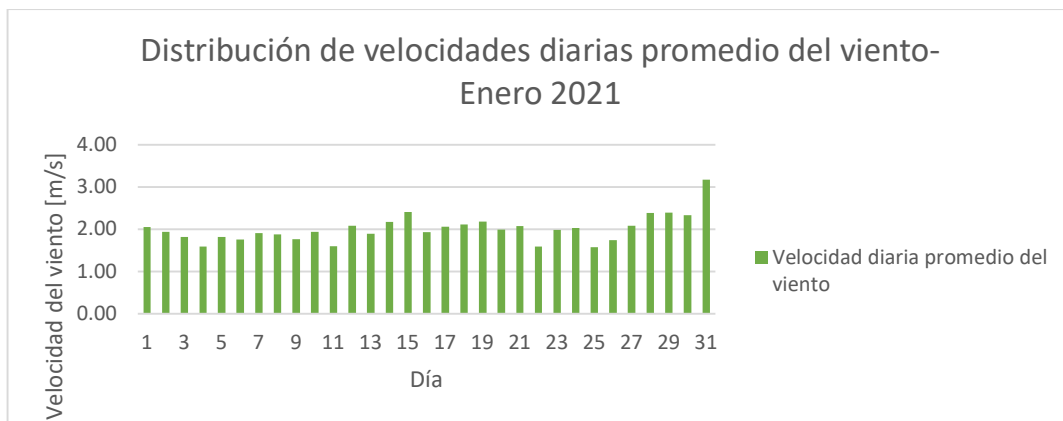


Figura 16 Distribución de velocidades diarias promedio del viento en el mes de enero del 2021 (Universidad San Francisco de Quito)

Utilizando la velocidad promedio diaria, se generaron las velocidades promedio mensuales. Este dato es importante ya que permite generar un Histograma anual de las

velocidades promedio del viento, el cual será de utilidad para futuros cálculos. Con esto, se puede ver el dato de la velocidad promedio mensual de enero, siendo esta 2.01 m/s.

A partir de estos valores se genera una tabla y gráfico de resumen para todos los resultados de los meses del año 2021. La tabla detalla puede encontrarse en la sección de Anexo D.

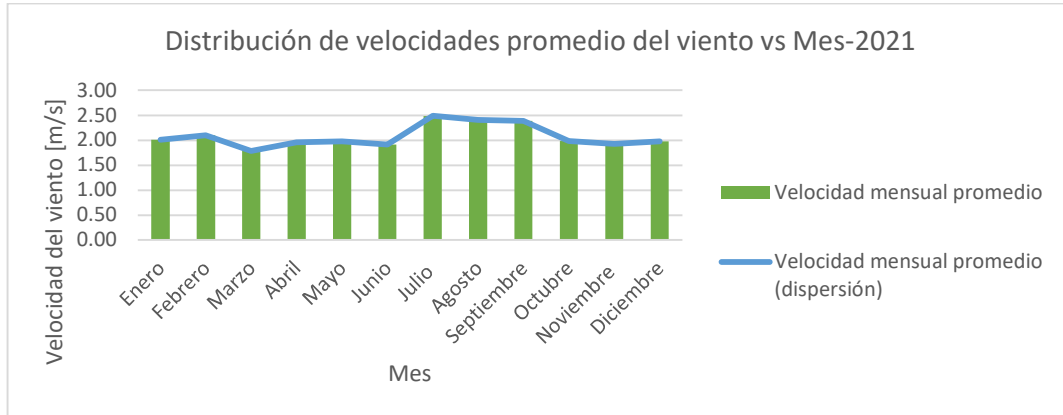


Figura 17 Distribución de velocidades promedio del viento vs Mes-2021 (Universidad San Francisco de Quito)

Se obtienen las velocidades promedio máximas y mínimas para cada mes. A continuación, se puede observar las velocidades tanto máximas y mínimas para el mes de enero del 2021.

Tabla 11 Velocidades promedio máxima y mínimas para enero del 2021

Velocidad Promedio Mensual Máxima de Enero [m/s]	5,16
Horario de la Velocidad Promedio Máxima [h]	14-15
Velocidad Promedio Mensual Mínima de Enero [m/s]	0,44
Horario de la Velocidad Promedio Mínima [h]]	18-19

Se repite el proceso descrito anteriormente para cada mes del 2021 y se obtiene la tabla de resultados del año 2021 y conjuntamente los diagramas de velocidad tanto mínimas

como máximas. Las tablas de velocidad Promedio máximas y mínimas mensuales se encuentran en la sección de Anexo D.

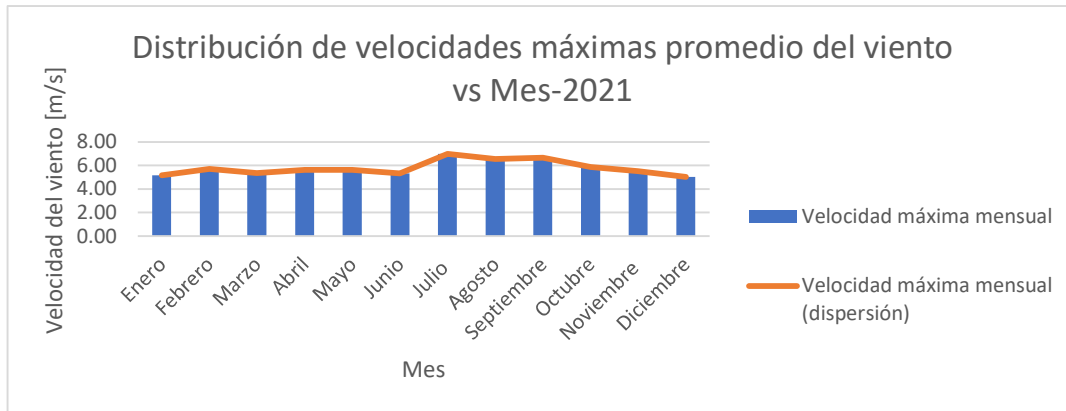


Figura 18 Distribución de velocidades máximas promedio del viento vs Mes-2021 (Universidad San Francisco de Quito)

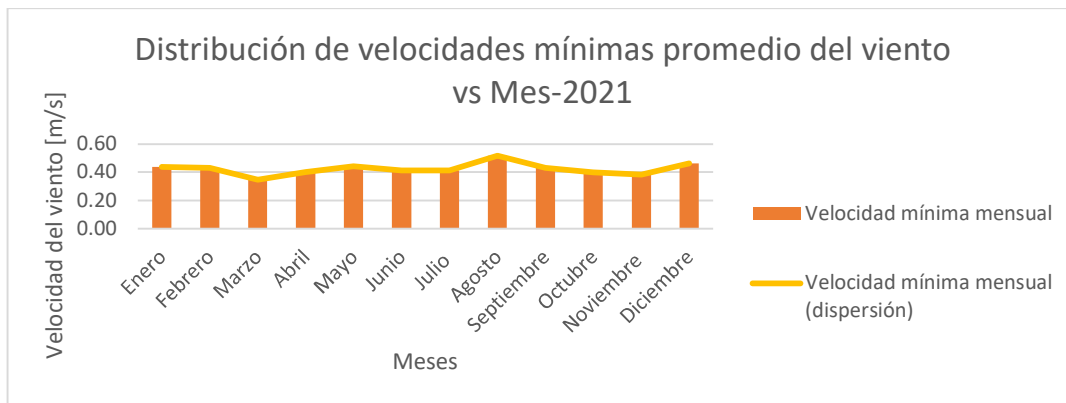


Figura 19 Distribución de velocidades mínimas promedio del viento vs Mes-2021 (Universidad San Francisco de Quito)

Posteriormente se generan los intervalos de velocidad a partir de los cuales se realizan las frecuencias de dichos grupos a través de todo el año 2021. Se generaron 23 intervalos de datos con una diferencia de 0.5 m/s, es decir, se inició con el primer intervalo de 0 m/s a 0.5 m/s hasta el veintitresavo intervalo que es de 11 m/s hasta 11.5 m/s. Para realizar esto se obtuvieron las frecuencias mensuales para cada mes del año 2021, para esto se utilizó la función Frecuencia dentro de Excel. A partir de esto también se determinó la cantidad

de horas al mes que se produce dicho intervalo velocidades, para esto se puede utilizar la relación entre la resolución de los datos obtenidos y cuantos se obtienen al año.

$$\text{Horas al mes} = \text{Frecuencia} * \frac{1}{6}$$

También se obtiene el porcentaje mensual mediante la división de las horas al mes para la suma de todas las horas que hay en un mes. La tabla con los resultados de las frecuencias con sus respectivos intervalos puede encontrarse en el apartado de Anexo D.

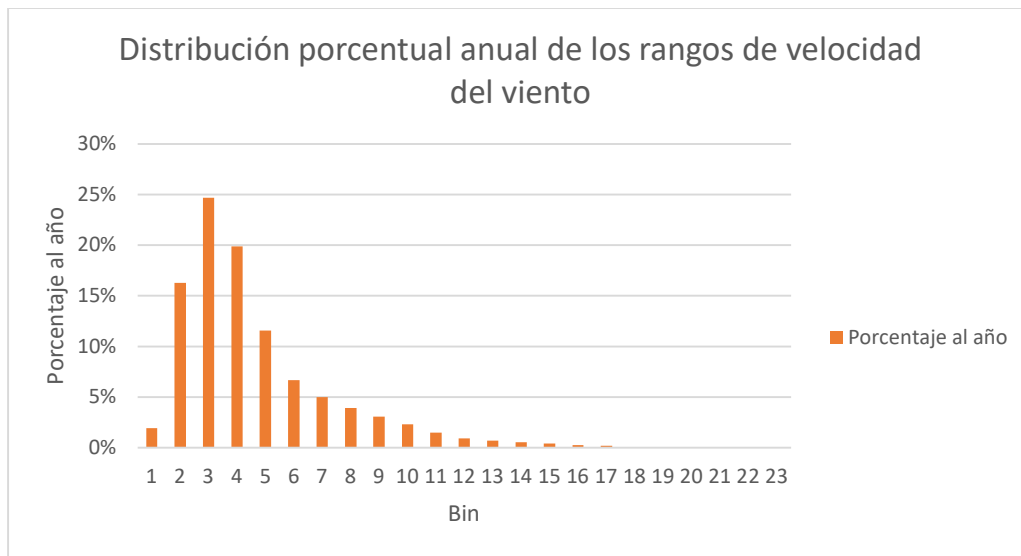


Figura 20 Distribución porcentual anual de los rangos de velocidad del viento para el año 2021 (Universidad San Francisco de Quito)

Determinación de la Oferta energética

- **Metodología:**

Al obtener las velocidades máximas y mínimas del viento en todo el 2021, se determinó de igual manera la velocidad promedio de todos los meses del año. Suponiendo que no existan grandes variaciones en las mediciones del viento entre los años 2021 y 2022, se determinó la potencia promedio que se podría generar por mes en todo un año natural.

Vale realizar el cuestionamiento del porqué esta fórmula de potencia está sobre área. Esto es porque no se considera un área efectiva dentro de esta fórmula. Esto da la oportunidad de realizar un análisis paramétrico para comparar la variación de potencia neta entregada

a los usuarios con relación al área efectiva que abarque el generador eólico. Este cálculo se lo desarrollará en el software Excel

- **Análisis teórico:**

Para realizar el análisis de la oferta energética se puede utilizar la ecuación encontrada en el libro *Energy Systems Engineering* (Vanek , 2008):

$$\dot{W} = \frac{1}{2} * \rho * U^3$$

Con la ayuda de la tabla A-16 del libro *Termodinámica* (Cengel, 2015) se determinó la presión atmosférica a esta altura en específico; siendo de 75.63kPa. Con la ayuda del software EES, asumiendo que la temperatura ambiente promedio de Cumbayá es de 25°C, se determinó que la densidad del aire es 0.8838 kg/m³.

La oferta energética se la mide en kWh/m², y vamos a presentar la energía entregada por intervalos, tanto la energía observada como la energía estimada. Según Vanek, la energía observada es la que tenemos por medición experimental y toma de datos, mientras que la energía estimada se la aplica por la distribución de Rayleigh. Esta distribución tiene la forma de:

$$P(U \leq U_{promedio}) = 1 - \exp\left(\left(-\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{U}{U_{promedio}}\right)^2\right)$$

Que se la define como: “La probabilidad que la velocidad del viento esté igual o menor que la velocidad de interés, tomando como referencia la velocidad promedio” (Vanek , 2008). Esto nos sirve para tener un referente matemático con el cuál comparar nuestros

resultados experimentales con criterios matemáticos. Se siguió la metodología presentada en este libro:

- Obtener $U_{promedio} = \sum_{i=1}^n frecuencia_i * U_{i_{promedio}}$
- Utilizamos esta fórmula para obtener la probabilidad en porcentaje de los límites superior e inferior de los intervalos.
- Se restaban porcentajes entre límite superior y límite inferior.
- Esta diferencia (porcentaje) se multiplicaba por el total de horas del análisis, en este caso de todo el año 2021.

En función de esto se puede los respectivos resultados, mediante el uso de la herramienta Excel.

- **Resolución:**

Para determinar la oferta se debe calcular la potencia mensual promedio, máxima y mínima para cada mes del año. También se obtienen los intervalos de potencia. Todos estos cálculos se realizan en función de las tablas y gráficos obtenidos anteriormente en el análisis del viento provenientes de la estación meteorológica de la USFQ. Las tablas de los cálculos de potencia para obtener la energía promedio pueden encontrarse en la sección de Anexo D.

A continuación, se puede observar la Potencia y energía promedio entregada por metro cuadrado Esta tabla ayuda a entender cuánta energía en promedio se genera al mes.

Tabla 12 Energía y potencia entrega en un promedio mensual

Meses	Potencia promedio [W/m ²]	Energía promedio [kWh/m ²]
Enero	3.59	2.67
Febrero	4.09	2.75
Marzo	2.51	1.87
Abril	3.31	2.38
Mayo	3.43	2.55
Junio	3.10	2.23

Julio	6.80	5.06
Agosto	6.15	4.57
Septiembre	6.01	4.33
Octubre	3.47	2.58
Noviembre	3.16	2.28
Diciembre	3.40	2.53
Total		35.80

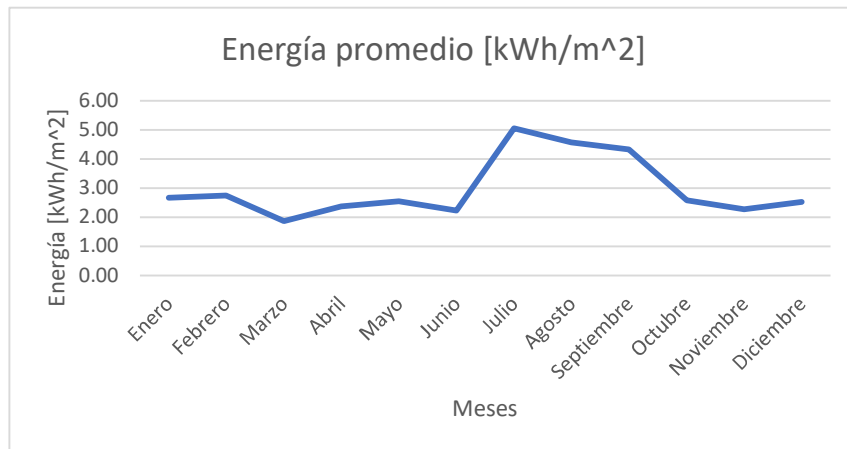


Figura 21 Energía promedio [kWh/m²] para los meses del año 2021 (Universidad San Francisco de Quito)

Determinar la demanda energética

- **Metodología:**

Utilizando los datos de consumo energético medidos por la universidad, se determinó X% son utilizados para cargar dispositivos inalámbricos como celulares, tabletas y laptops.

Para conocer la demanda se debe realizar un estudio muestral, por lo que se realizó una encuesta en Google Forms que permita determinar la cantidad de usuarios que cargan dispositivos y el tiempo promedio de dejan los dispositivos conectados. Conociendo estos datos, se puede realizar un cálculo para estimar la cantidad de energía consumida por la gente de la u, y determinar si nuestra oferta energética puede suplir esta demanda.

- **Resolución:**

Se supone que todos los aparatos electrónicos, smartphones y tablets, necesitan 20W a la hora de cargarlos, ya que se toma como común denominador al cargador de fábrica que

viene en todos los aparatos Apple, que, a la vez, es el común en la industria tecnológica (Apple, 2021). Por el contrario, para cargar una laptop se necesita una potencia de 80W (Gana Energía, 2018).

Se asume que la cantidad de estudiantes de la u es de 9000 estudiantes. En total se estudia regularmente 4 días (lunes a jueves), se estudia 15 semanas, y en promedio se está 5 horas al día en la universidad. Esto nos da un total de 300 horas por semestre, 600 horas contando los dos semestres que existen. No se tomaron en cuenta los veranos ni periodos atípicos.

Para nuestra muestra, se realizó esta encuesta a 119 estudiantes de la universidad. Utilizando los conceptos vistos en la clase de estadística, se pueden extrapolar estos datos muestrales a la población total.

Algunos de los resultados obtenidos mediante la encuesta fueron los siguientes.

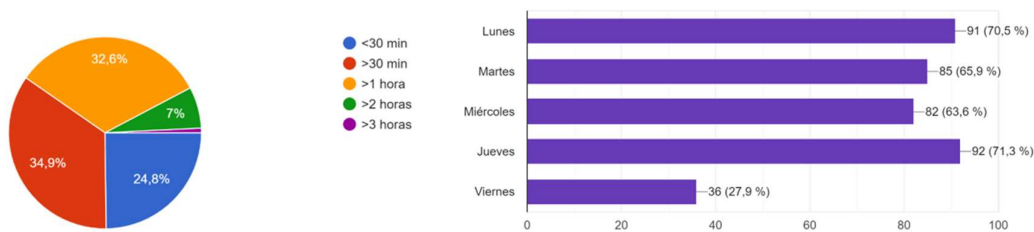


Figura 22 Resultados de encuesta en el área de duración de carga y frecuencia de carga entre semana

El resto de los resultados se pueden encontrar en la sección de Anexo D.

Con estos porcentajes, más el cálculo de horas efectivas presentadas previamente, se procede a hacer un cálculo estimado de la potencia y la energía que consumen los dispositivos electrónicos portátiles. dato, se multiplica por el valor de 20W para obtener cuanta potencia es necesaria para alimentar a todos estos dispositivos. Para el cálculo de energía, se multiplica la potencia por las horas indicadas de carga, y por los 120 días que se estudia regularmente en la USFQ.

Tabla 13 Demanda global de energía anual para cargar solo celulares

Duración de carga [h/día]	Cantidad	Potencia [W]	Energía [kWh]
---------------------------	----------	--------------	---------------

0.5	4787	95746.86	5744.81
1	2614	52283.88	6274.06
2	561	11226.6	2694.38
3	64	1283.04	461.89
	Total	160540.38	15175.15

Los resultados para el caso de tablets y laptops pueden encontrarse en la sección de Anexo D.

Coefficiente de Potencia

- **Metodología:**

El coeficiente de potencia se define como:

$$C_p = \frac{(U - v)^2 c_d \cdot v}{U^3}$$

Donde:

C_p : coeficiente de potencia

U : velocidad del viento [m/s]

v : velocidad linealizada [m/s]

c_d : coeficiente de arrastre

La velocidad linealizada se define como:

$$v = \omega \cdot R$$

Donde:

ω : velocidad radial de la turbina [rad/s]

R : radio de la turbina [m]

Por otro lado, para encontrar la velocidad radial de la turbina se tiene:

$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{U}$$

Donde:

TSR : Tip speed ratio

Por último, para el coeficiente de arrastre se determina con la siguiente expresión:

$$F = 0.5\rho U^2 C_d A$$

Donde:

ρ : densidad del aire [kg/m^3]

A : área efectiva [m^2]

- **Resolución:**

Se tienen los siguientes datos:

$$F_{\text{máximo}}=111.43 \text{ N}$$

$$F_{\text{promedio}}=4.7 \text{ N}$$

$$T_{\text{aire promedio}}=16.34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{promedio Quito}}=71.94075 \text{ kPa}$$

$$\rho_{\text{aire}}=0.866 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$A=0.68 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{máximo}}=10.93 \text{ m/s}$$

$$U_{\text{promedio}}=2.08 \text{ m/s}$$

- **Resolución**

$$R=0.35 \text{ m}$$

$$TSR=0.69$$

El valor del TSR se seleccionó en base a un estudio realizado con la misma geometría híbrida (Sanusi, Soeparman, Wahyudi, & Yuliati, 2016). Por otro lado, la densidad del aire fue determinada con el programa EES en base a la presión atmosférica y temperatura promedio de Quito. Los valores de velocidad del aire máximo y promedio fueron

determinados en base a los datos recopilados por la estación meteorológica (EMA) de la USFQ.

Resolviendo las ecuaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Cp_{m\acute{a}ximo} = 0.2101$$

$$Cp_{promedio} = 0.2447$$

Se tienen dos coeficientes de potencias ya que uno es determinado con la velocidad máxima del viento registrada y el otro con la velocidad promedio anual.

Simulaciones

- **Metodología**

Para la simulación se realizó un diseño preliminar de la turbina mixta con el rotor Savonius y rotor H. Las dimensiones utilizadas, son las establecidas para cumplir con el área efectiva necesaria para cumplir con la potencia.

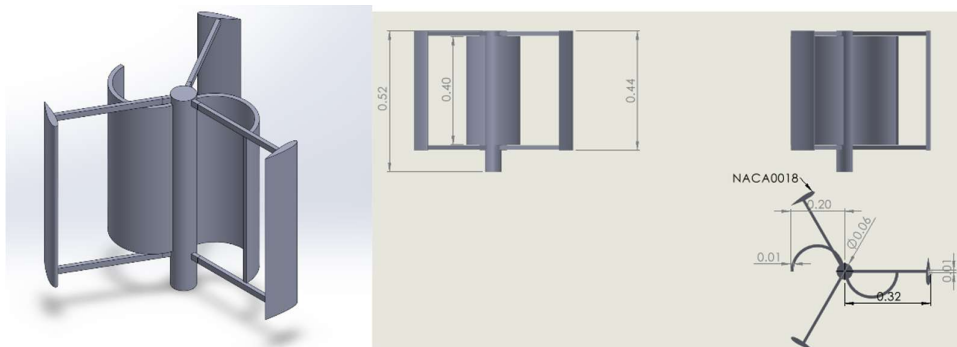


Figura 23 Diseño preliminar de la turbina

Utilizando el software de Solid Works se realizó una simulación de flujo. Para eso se crea una parte cilíndrica que contenga la turbina y sea más fácil establecer el objeto rotacional. Para el dominio, se utiliza dimensiones con relación a la altura, que es de 0.4m. En el eje

x son dos dimensiones 3 dimensiones adelante y 5 dimensiones atrás, en el eje y son una altura arriba y abajo, y para el eje z son dos dimensiones a cada lado.

A continuación, se puede observar la simulación planteada en el ambiente de Solid Works.

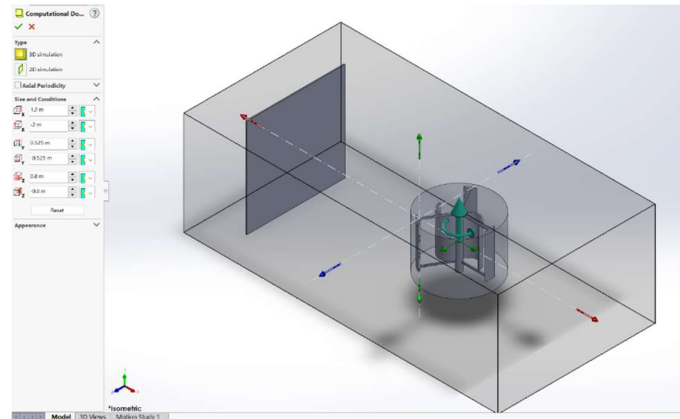


Figura 24 Dominio computacional para la simulación

Se selecciona un objeto el objeto que va a rotar, en este caso es el cilindro. La velocidad angular se obtiene, del radio, TSR, y la velocidad del aire. Con la velocidad del aire y el TSR se obtiene la velocidad linealizada, y al dividir para el radio se obtiene la velocidad angular.

$$TSR = \frac{V}{U}$$

Para este caso se tomó que el TSR de la turbina tendrá un valor de 0.69. El valor de TSR seleccionado se obtiene del estudio explicado de la geometría híbrida mencionada en la sección de cálculos del C_p . Esta primer estimación es utilizada para determinar especificaciones geométricas, sin embargo, para un entendimiento más acertado del

prototipo se puede plantear obtener dicho valor de manera experimental en un túnel de viento y un ambiente controlado, del que lastimosamente no se dispone

$$0.69 = \frac{V}{10.25 \text{ m/s}}$$

$$V = 7.07 \text{ m/s}$$

$$V = \omega * r$$

$$7.07 \text{ m/s} = \omega * 0.3 \text{ m}$$

$$\omega = 30.06 \text{ rad/s}$$

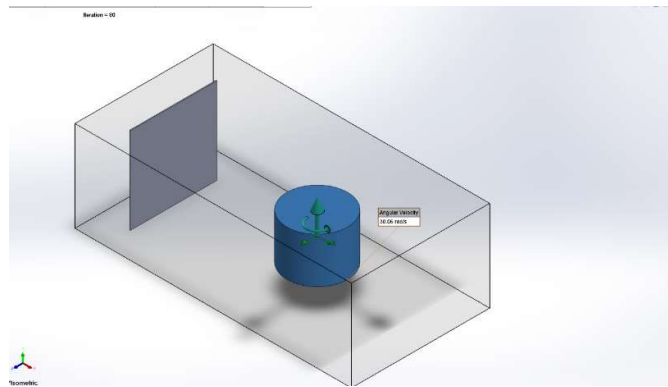


Figura 25 Velocidad angular para el objeto rotacional

- **Resolución**

A continuación, se encuentra la gráfica con los resultados de la turbina, donde se obtuvo una velocidad promedio de 6.634 m/s y una fuerza en x de 111.43 N.

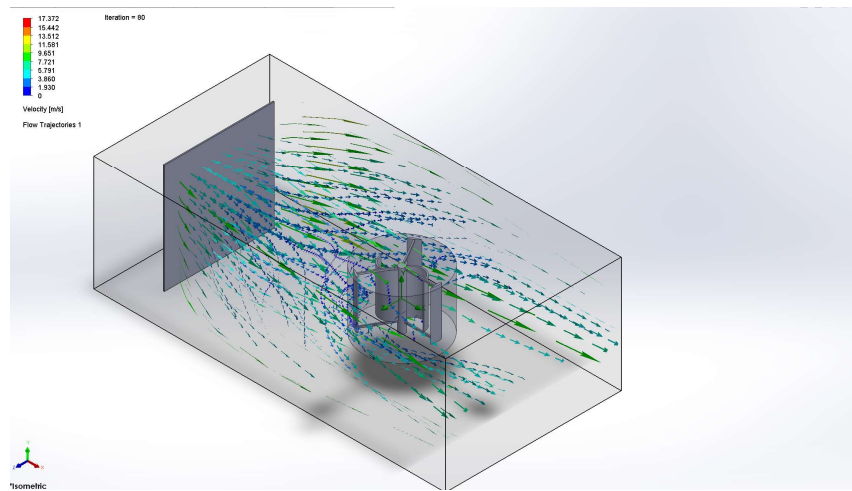


Figura 26 Perfil de flujo de velocidades alrededor de la turbina

En función de las velocidades del viento y cargas en x simuladas se pueden realizar los cálculos de diseño a fatiga, que posteriormente se mostraran en esta sección.

Diseño del Eje

- **Metodología:**

Uno de los componentes críticos que se tiene en el generador eólico es el diseño del eje, ya que este es una parte fundamental para la generación de energía. Debe ser capaz de soportar la fuerza de flexión ejercida por el flujo del viento. La fuerza ejercida de forma

axial por el peso de los componentes es menospreciada ya que no representa una magnitud relevante, pesando un total de 1.02 kg).

A continuación, se puede observar el diagrama de cuerpo libre para el caso de fatiga analizado.

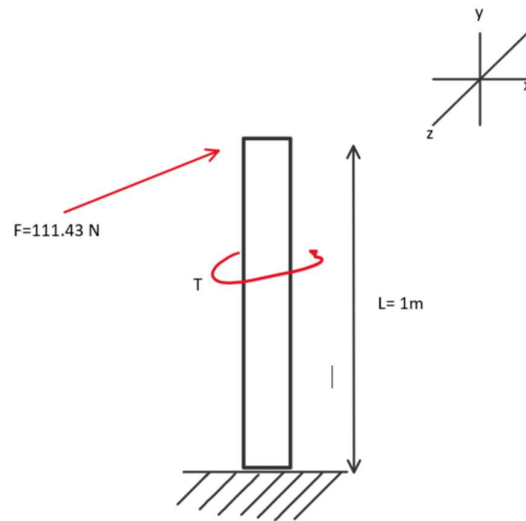


Figura 27 Diagrama de cuerpo libre del Eje de la Turbina

- **Análisis teórico:**

Para los cálculos, la fuerza ejercida corresponde al caso crítico, es decir la velocidad máxima del flujo del viento registrado en todo el año 2021, es decir 10.93 m/s. La fuerza ejercida por el viento genera un torque el cual se lo tomó como una carga totalmente reversible, es decir que toma una fuerza sinusoidal debido a que no es una fuerza constante y simétrica porque el eje al momento de rotar recibe la misma carga de forma radial. Esto también implica que se tiene un torque amplitud igual al nominal y un torque medio igual a 0. Por otro lado, la misma fuerza del viento ejerce una carga de flexión la

cual se la tomo como constante, obteniendo un momento amplitud constante igual al momento nominal (Budynas & Nisbett, 2019).

A continuación, se muestra una representación gráfica de cómo actúa el esfuerzo de torsión.

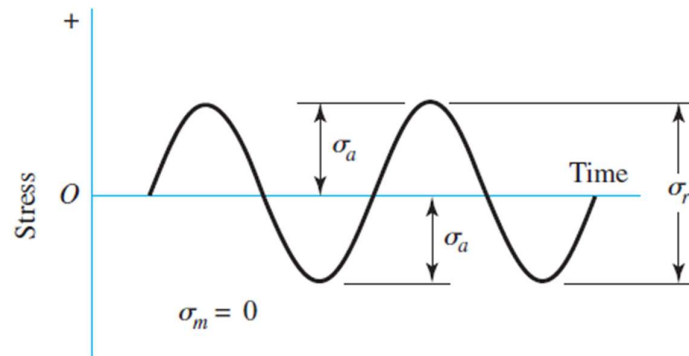


Figura 28 Diagrama de torque aplicado en el eje (Budynas & Nisbett, 2019)

Las ecuaciones utilizadas para determinar el diámetro exterior del eje son (Budynas & Nisbett, 2019):

$$d = \left(\frac{16\eta}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

M_a : Momento amplitud [MPa]

M_m : Momento medio [MPa]

T_a : Torque amplitud [MPa]

T_m : Torque medio [MPa]

Se : Límite de resistencia a la fatiga [MPa]

Sut : Esfuerzo último [MPa]

K_f : Concentrador de esfuerzo por flexión

K_{fs} : Concentrador de esfuerzo por torsión.

η : factor de seguridad

En la implementación del eje no hay concentradores de esfuerzo por lo que los valores de K_f y K_{fs} son igual a 1. Mientras que se tomó un factor de seguridad de 1.3.

Para el límite de resistencia a la fatiga se utilizó la siguiente ecuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * 0.5 * Sut$$

Donde:

k_a : Factor de modificación por la condición superficial

k_b : Factor de modificación por el tamaño

k_c : Factor de modificación por la carga

k_d : Factor de modificación por la temperatura

k_e : Factor de confiabilidad

k_f : Factor de modificación por efectos varios

El torque medio y amplitud también debe ser determinado mediante las siguientes ecuaciones

$$T_a = T_{nominal} = F_{viento} * D_{eje}$$

Donde:

$T_{nominal}$: Torque nominal [N*m]

F_{viento} : Fuerza del viento [N]

D_{eje} : Distancia al eje [m]

El momento medio y amplitud también debe ser determinado mediante las siguientes ecuaciones

$$M_a = M_{nominal} = F_{viento} * L_{eje}$$

Donde:

$M_{nominal}$: Momento nominal [N*m]

F_{viento} : Fuerza del viento [N]

L_{eje} : Longitud del eje [m]

Utilizando las ecuaciones se pueden realizar los respectivos cálculos.

- **Resolución**

El detalle de los cálculos realizados se encuentra en la sección de Anexo D.

Realizando el remplazo de las ecuaciones se pueden que los modificadores del límite de resistencia a la fatiga son los siguientes:

$$k_a = 1.033$$

$$k_b = 0.9$$

$$k_c = 1$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 0.868$$

$$k_f = 1$$

El límite de resistencia a la fatiga resulta en:

$$S_e = 104.9 \text{ MPa}$$

El torque amplitud y medio obtenidos son los siguientes:

$$T_m = 0$$

$$T_a = 39 \text{ Nm}$$

Por otro lado, el momento amplitud y medio obtenido son los siguientes:

$$M_m = 0$$

$$M_a = 111.43 \text{ Nm}$$

El diámetro del eje exterior necesario entonces es de

$$d = 0.02449 \text{ m}$$

Recalculando el valor obtenido mediante una segunda iteración se obtiene que el diámetro necesario es de

$$d = 0.02467 \text{ m}$$

Se secciona entonces un eje de diámetro externo de 1 pulgada o 25.4 mm

Diseño del Rodamiento (Chumacera)

- **Metodología:**

Otro de los elementos críticos del prototipo son los rodamientos que serán utilizados, estos componentes son de vital importancia ya que son los que permitirán al eje realizar su rotación y a su vez son el mecanismo que permite que la energía cinética otorgada por el viento sea transformada en energía eléctrica a través del alternador. Para ello se buscó chumaceras, que son rodamientos que se ubican de forma paralela a la placa inferior del

aerogenerador con un diámetro interior igual al del eje, es decir 25.4 mm o 1 pulgada. Según el catálogo del fabricante se requiere una chumacera tipo brida cuadrada.



Figura 29 Chumacera tipo brida cuadrada (BHR, OEM, 2022)

- **Resolución**

Este tipo de chumacera tiene una capacidad de carga de 14 kN, lo cual cumple fácilmente con la carga máxima aplicada sobre el eje, que son 111.43 N a la velocidad máxima del viento (Koyo, 2022).

Diseño del sistema electrónico

- **Metodología**

El sistema electrónico incluye todo el proceso en el que la energía producida en el generador sincrónico de ejes permanente es utilizada para cargar la batería que posteriormente permitirá cargar los dispositivos móviles.

A continuación, se puede observar el diagrama general del proceso que se llevara a cabo para adaptar la energía producida.

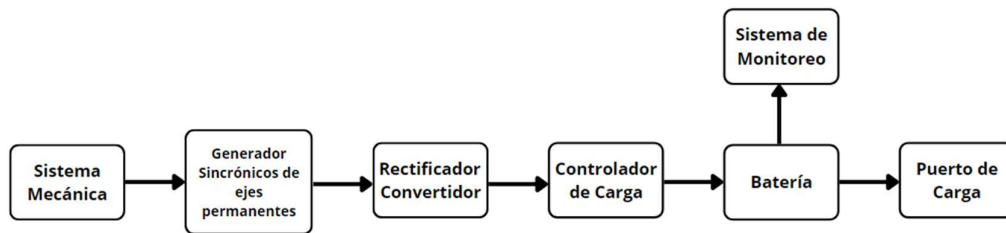


Figura 30 Diagrama del sistema electrónico/ eléctrico

El controlador y rectificador de carga es un elemento que debe adquirirse en función de las necesidades de generación y del alternador. Este elemento por lo tanto no debe diseñarse. El sistema de monitoreo y el puerto de carga por ende si debe diseñarse, simularse e implementarse.

El sistema de monitoreo se encuentra diseñado para analizar dos aspectos. Por un lado, conocer el perfil de carga de la batería y además analizar el uso del puerto de carga. La información de voltaje, corriente y potencia obtenida entre la batería y el puerto de carga se recolectan a través del ESP32 para ser enviada al servicio de IoT y generar las curvas de uso del puerto de carga. El sistema de monitoreo este compuesto por tanto un sensor

de voltaje como por un sensor de corriente los cuales enviaran las respectivas señales hacia el microcontrolador para ser analizadas y diagramadas.

Para la carga de los dispositivos móviles es necesario colocar puertos de carga dentro de la universidad, por lo que es necesario reducir y adaptar el voltaje acumulado en la batería.

Para realizar el sistema de carga es necesario utilizar dos componentes principales.

Los dispositivos móviles generalmente requieren 5V y 1.5-3A por lo que es primordial adaptar el voltaje y corriente de la batería al óptimo para cargar un celular. Primero es necesario regular la energía que suministra la batería y posteriormente adaptarlo para que se pueda conectar un puerto USB.

- **Resolución**

El sistema de monitoreo está constituido por 3 secciones principales:

- Sensor de corriente: el sensor de corriente podrá enviar datos de corriente con regularidad hacia el microcontrolador para que sean posteriormente analizados y graficados.
- Sensor de voltaje: el sensor de voltaje podrá enviar datos de voltaje con regularidad hacia el microcontrolador para que sean posteriormente analizados y graficados.
- Microcontrolador: el microcontrolador seleccionado es un ESP32 el cual se puede programar dentro del IDE de Arduino para mayor facilidad.

El esquema del sistema de monitoreo es el siguiente

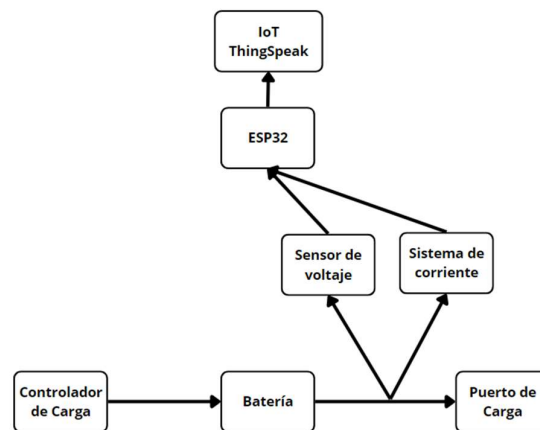


Figura 31 Diagrama de funcionamiento de la estación de monitoreo

En función de este diagrama se realizan las simulaciones del sistema de monitoreo realizadas en el programa de Proteus en función de los esquemas mostrados en la sección de resolución.

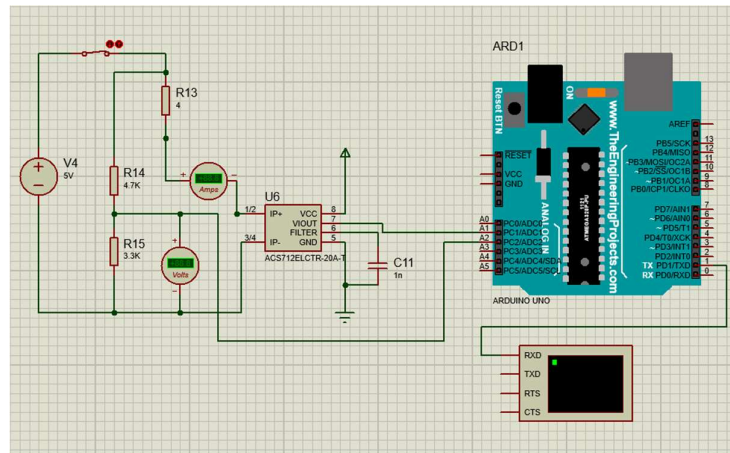




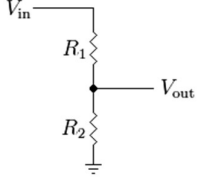
Figura 32 Simulación en Proteus de la estación de monitoreo

Para la gráfica mostrada anteriormente se utiliza una resistencia de 4 Ohm para simular el puerto de carga USB. Como se puede observar se encuentra tanto el sensor de corriente como el puente divisor de voltaje que hace las veces de sensor de voltaje. En este caso se utilizó un Arduino para simular el sistema, sin embargo, para la implementación se colocará un ESP32.

A continuación, se detalla los componentes requeridos para la estación de monitoreo:

Tabla 14 Componentes de la estación de monitoreo

Componente	Descripción	Figura
ESP32	El microcontrolador seleccionado para el proyecto es el ESP32 principalmente por la velocidad en la que proporciona los datos, pero también la facilidad de programación es mayor y viene integrado en si el módulo de conexión a internet, por lo que no se requiere de un módulo externo para la comunicación con IoT.	

ACS712	Este módulo es un sensor de corriente basado en el efecto Hall en el que se genera un campo magnético inducido y transformado de manera proporcional en corriente. Este sensor debe ser seleccionado en función de la corriente que circulara, la cual puede ser 5 A, 20 A o 30 A. Tiene el mismo funcionamiento que un amperímetro.	
Sensor de voltaje	Para realizar un sensor de voltaje es necesario utilizar un puente divisor de voltaje que se realiza únicamente utilizando resistencias de diferente valor	

Por otro lado, el esquema del puerto de carga puede observarse a continuación. Cabe recalcar que existen dos posibilidades de puertos de carga. Por un lado, el que únicamente presentan un transistor LM7805 y puede generar hasta un máximo de un 1 A mientras que la versión con dos transistores permite cargar los dispositivos móviles con 2 A, es decir, mediante una carga rápida.

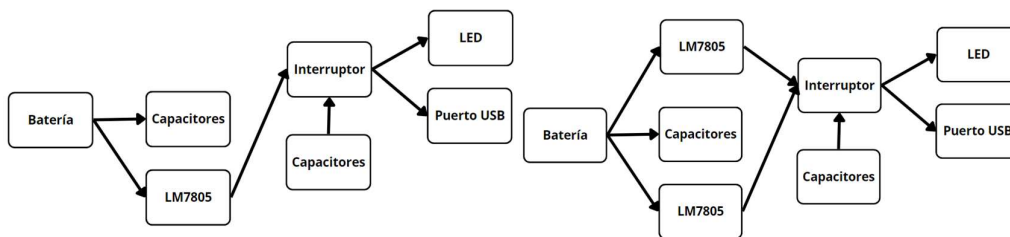


Figura 33 Diagrama de funcionamiento del Puerto de carga

A continuación, se puede observar las simulaciones del puerto de carga realizadas en el programa de Proteus en función de los esquemas mostrados en la sección de resolución.

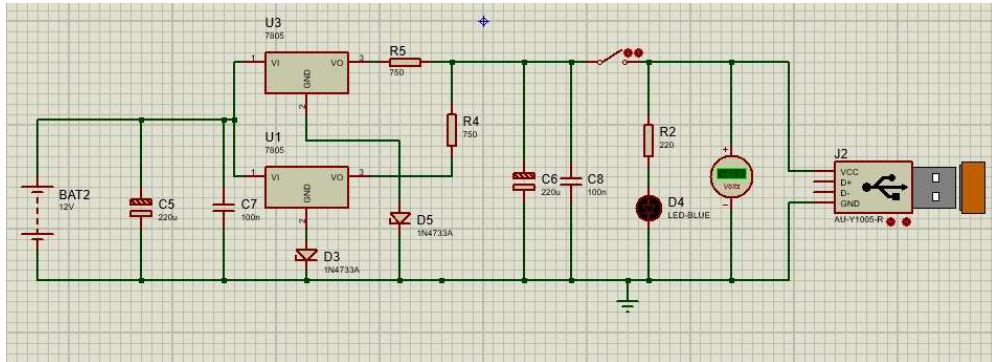



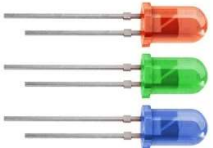




Figura 34 Simulación en Proteus de Puerto de carga

A continuación, se muestra una tabla a detalle con los componentes requeridos para el puerto de carga:

Tabla 15 Componentes del puerto de carga

Componente	Descripción	Figura
Regulador LM7805	El regulador permite realizar la reducción de voltaje de 12V a 5V que son aptas para cargar la batería del dispositivo móvil. A estos reguladores es necesario pegarlos un disipador de calor para evitar que su funcionamiento se reduzca debido al sobrecalentamiento.	
Capacitores 220uF-1000uF	Los capacitores se utilizan para almacenar energía en su interior. Se los considera como componentes pasivos ya que no tienen la capacidad de interruptor, modificar o ampliar el flujo eléctrico.	
Resistencia 220ohm	EL diseño del circuito también requiere la implementación de una o más resistencias para llegar hasta el voltaje de alimentación deseado	
Led	Una luz Led conectada en el circuito permitirá saber en qué momento está funcionando el	

	sistema de carga y se encuentra entregando voltaje a los puertos de carga.	
Interruptor	Se colocar un interruptor que permita prender u apagar el puerto de carga cuando los usuarios únicamente lo requieran.	
Puerto USB-Hembra	El puerto de carga USB y USB-C de tipo hembra es la salida requerida por el sistema para que se puedan conectar los cables de los usuarios para cargar los celulares.	

PLAN DE PRUEBAS DE PROTOTIPO

Para el desarrollo del plan de pruebas del prototipo se tiene que tener en cuenta los requerimientos del proyecto, propuestos al inicio del proyecto. Este plan consiste en realizar distintas pruebas, sean acciones tomadas o a tomar, pruebas de funcionamiento, instalaciones, etc., con la finalidad de poder catalogar al prototipo como exitoso; que cumple con todas las especificaciones del cliente. Estos requerimientos son los siguientes, con sus respectivas pruebas a realizar son:

Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico

Las pruebas por realizar, con la finalidad de cumplir este requerimiento del cliente, son las siguientes. Primero, hacer funcionar todo el sistema mecánico para forzar el funcionar del alternador. Esto va a producir electricidad, donde se tiene el controlador de carga, el microprocesador, etc. Con toda esta corriente generada, se probarán y calibrarán los sensores presentes, con la finalidad de visualizar el voltaje y la corriente saliente al puerto de carga, la carga receptada por los celulares y comprobar que esta sea suficiente para

cargar la batería de estos. Aunado esto, también se probará el monitoreo y envío de datos por parte de los señores previamente mencionados y el microcontrolador ESP32.

Fácil mantenimiento

En el momento en que se quiera implementar esta solución de forma masiva en la universidad, o donde se contemple ubicarlas, se necesita que el mantenimiento de esta sea fácil para cualquier operario; sin la necesidad de que este sea estudiado en el tema de generadores eólicos o ingeniero. Cabe recalcar que este requerimiento es considerado solo para la parte mecánica del prototipo. La parte de conexiones electrónicas si debe tener un mantenimiento de un especialista y conocedor de microcontroladores, sensores, etc. Por esta razón, se hizo énfasis en escoger componentes fáciles de entender su operación, el armado del “casing” exterior es de tipo modular (desarmable solo con un destornillador), etc. La prueba a realizar fue explicar el armado y mantenimiento del prototipo a varias personas, y preguntar el grado de dificultad presente en esto. Los procesos son sencillos: limpiar polvo, lubricar las chumaceras, verificar el ajuste de las uniones, y aplicar recubrimientos sencillos, como Laca.

Resistente a la intemperie

Debido a lo cambiantes que pueden ser las condiciones climáticas a las que será expuesto el prototipo. Por esta razón, las pruebas a realizar son dejar al generador eólico, con un proceso de lacado previo, a distintas horas con distintas condiciones climáticas; sean estas de noche o día, sol, llovizna leve, ambiente seco o húmedo. Esto con el propósito de analizar el comportamiento y la eficacia de los materiales a las condiciones reales a las que será expuesto.

Resistencia a cargas fluctuantes

El viento, al ser intermitente, pone en riesgo al proyecto debido al fenómeno conocido como fatiga. Este fenómeno es falla del material por cargas fluctuantes (Budynas &

Nisbett, 2019). Se realizaron distintas simulaciones, CFD (computational fluid dynamics) en Solid Works, como análisis de esfuerzos en Inventor 2022. De estas simulaciones, se obtuvieron datos de fuerza máxima y esfuerzo máximo en los componentes principales. El eje es el componente que más va a estar expuesto a estas cargas fluctuantes, por lo que se realizaron distintas pruebas a las que se lo someterá a distintos esfuerzos; con la finalidad de observar como el eje escogido no fleja ni sufre deformación axial.

No genere altos niveles de ruido

Para este requerimiento, se harán pruebas con un medidor de decibeles descargado en la App Store llamado Decibel X. En esta se realizarán mediciones de calibración para tener referencia los rangos en los que estaría expuesto, y cuánto sonido incorporaría al ambiente. Se tomarían medidas de decibeles en el taller mecánico de la USFQ en silencio, en el mismo lugar registrar los decibeles de una conversación normal, y, por último, hacer funcionar el prototipo (en silencio el lugar de pruebas) y anotar cuántos decibeles se registran a la hora de la operación. Con esto se podrá obtener cuántos decibeles genera esta turbina eólica en su funcionamiento.

Cumplimiento del abastecimiento energético

Las pruebas que se realizarán para poder medir la generación del prototipo se efectuarán en dos localidades distintas. Como se obtuvo en los datos del EMA (2022) y comparándolos con la tabla de velocidades presente en el libro de energías renovables de Vanek (2008), la velocidad del viento en la USFQ, por lo general, no es la más óptima para generación. Por eso se realizará, a las horas con más frecuencia de altas velocidades, las pruebas del prototipo en el lugar destinado dentro de la universidad. Posteriormente,

se lo trasladará a un lugar con mejores condiciones meteorológicas, para comparar su funcionamiento entre ambos lugares, y su operación en estos.

Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente

Uno de los requerimientos más importantes del cliente es que este generador sea altamente biodegradable, o que tenga un alto grado de reciclaje de sus materiales. Esto debido a la alta contaminación que generan los generadores eólicos convencionales al final de su vida útil. Por eso la prueba necesaria para este requerimiento era analizar la procedencia de los distintos materiales a utilizar, para tener conocimiento del impacto medioambiental de cada uno de ellos, y sus características de fin de vida útil, como se los desecha, en que otras aplicaciones utilizar estos materiales, etc.

Por último, se presenta una tabla en la cual se resume el requerimiento del cliente, la prueba a realizar, y como ésta evidencia que el requerimiento ha sido cumplido:

Tabla 16 Resumen Plan de Pruebas

Requerimiento	Prueba	Evidencia
Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico	Correcta calibración y obtención de datos de los sensores.	Al poder recibir los datos y gráficos de los perfiles de carga en la plataforma ThingSpeak, se puede decir que se tiene un monitoreo continuo de datos.
Fácil mantenimiento	Comentar el proceso de mantenimiento a personas ajenas y afines al tema, y realizar encuestas para ver su grado de facilidad.	Se debe revisar los resultados de esta encuesta (trabajo a futuro) y verificar el porcentaje de personas que consideran difícil el mantenimiento, y en qué se complican más.
Resistente a la intemperie	Con una capa de laca, dejarlo a diferentes climas y condiciones.	Después de algunos días de pruebas, revisar el estado de los materiales del prototipo y analizar cuál ha sido el efecto de distintos climas en este.

Resistencia a cargas fluctuantes	Realizar simulaciones (esfuerzos y CFD) sumado a una prueba de flexión.	Al no tener flexión considerable cuando se aplica la fuerza máxima (111N), y se realizaron todos los análisis de esfuerzos, se considera satisfactoria esta prueba.
No genere altos niveles de ruido	Medición de los decibeles generados al funcionar el prototipo.	Al verificar los niveles de decibeles generados por el prototipo, con un medidor de sonido, comprobar que estos sean menores a 10 db. Si es así, se puede tomar como satisfactoria la prueba.
Cumplimiento del abastecimiento energético	Comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, y su generación, en lugares especificados.	Al tener niveles de generación energética constante con una velocidad del viento óptima, controlada y visualizada con el sistema electrónico presentado en el primer requerimiento, se asume como aprobado.
Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente	Analizar la procedencia de los materiales, y el fin de su vida útil, con respecto a la norma de biodegradabilidad ASTM D-6954.	Al revisar, sea en fichas técnicas, catálogos o en detalles de facturación, la procedencia del material y sus indicaciones de desecho, y revisar que este cumpla con los requerimientos de la norma propuesta, se puede considerar que el material a utilizar cumple con los requerimientos de materiales.

SEGURIDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO

La seguridad a través del diseño conlleva la identificación de posibles riesgos, valorar y evaluar los mismos, para determinar la forma óptima de manejarlos.

A continuación, se detallan los riesgos identificados dentro proyecto implementado:

Técnico

- **Sobrecarga del sistema (R1)**

El aerogenerador permite la carga de una batería que además permite cargar dispositivos móviles de los estudiantes en una zona específica de la universidad. El sistema presenta un subsistema eléctrico/ electrónico que al no ser diseñado e implementado correctamente puede traer una serie de problemas entre los que se encuentra las sobrecargas del sistema. Las sobrecargas del sistema se producen cuando se consume más energía de la que se produce, generalmente debido a que una falla en funcionamiento o cuando se conectan más dispositivos de la cantidad diseñada. Este riesgo debería ser evitado para mantener los componentes el sistema en óptimo funcionamiento. (Para-Rayos, 2021).

- **Riesgo de falla estructural (R2)**

Debido a condiciones meteorológicas atípicas, varios componentes mecánicos del sistema pueden fallar. Entre las fallas consideradas se pueden tomar en cuenta el daño mecánico del eje, rotura de la estructura mecánica, daño en las juntas empernadas, falla en los rodamientos, desprendimiento del perfil alar, entre otros. Para evitar dichos riesgos estructurales/mecánicos se deben realizar cálculos y simulaciones dentro del área de diseño mecánica con el objetivo de seleccionar los componentes del sistema tomando en cuenta un factor de seguridad de 2.

- **Riesgo de mala instalación (R3)**

Al presentarse un sistema tanto mecánico como eléctrico pueden presentarse fallas debido a riesgo de mala instalación cuando se encuentran conexiones vistas que generen corto circuitos al entrar en contacto con agua; el generador puede entrar en contacto con agua;

conexiones aisladas, mala sujeción estructural, entre otros. Al evitar este riesgo se puede reducir costos de mantenimiento al igual que daños en los componentes mecánicos y eléctricos.

Seguridad

- **Riesgo de electrocución (R4)**

El aerogenerador tiene componentes eléctricos los cuales se conectan por medio de cables, justamente si estas conexiones no están correctamente realizadas, existe el riesgo de electrocución para aquellas personas que estén realizando el mantenimiento del equipo o simplemente estén en contacto con este. Esto implica un riesgo de seguridad ya que la electrocución puede causar fibrilación ventricular, paro respiratorio y quemaduras, por lo que se debe mitigar este riesgo y no comprometer la salud de los usuarios (Universidad Politécnica de Valencia , 2012).

- **Riesgo de caída de objetos en altura (R5)**

El generador eólico de eje vertical se lo debe ubicar en un lugar a gran altura, con el fin de aprovechar el flujo más rápido de viento. Por ende, existe el riesgo de que, a causa de vientos atípicos, mala sujeción u otro factor el equipo pueda caerse e impactar a las personas que estén cerca. De igual forma, esto representa un riesgo de seguridad donde el equipo puede causar contusiones u otras lesiones a las personas debido al impacto desde una gran altura. El riesgo debe ser evitado para no comprometer la salud de las personas que se encuentren cerca del lugar de instalación del aerogenerador (Escaleras Arizona, 2018).

Ambientales

- **Riesgo de desgaste por lluvia (R6)**

El clima no necesariamente es beneficioso para los generadores eólicos, al estar expuestos a las radiaciones UV o fuertes lluvias pueden ser perjudiciales tanto para las partes

mecánicas como eléctricas del generador. La intensidad de las lluvias o incluso el granizo crea zonas de desgaste produciendo un efecto negativo en la aerodinámica y en el rendimiento. Esto se debe a la erosión de las lluvias sobre la pintura, revestimientos, bordes y puntas de las palas (MideBien, 2015).

- **Riesgo estructural por vientos atípicos (R7)**

Los aerogeneradores necesitan de una velocidad mínima para empezar a rotar y estar en funcionamiento, pero también existe una velocidad máxima a la que puede expuesto. Debido a que existe el riesgo de que los componentes no resistan un exceso de velocidad y se genere un fallo por fatiga.

Manejo de Recursos

- **Riesgo de agotamiento de materia prima (R8)**

Puede existir el caso donde los materiales comprados para la fabricación del generador eólico no son suficientes, debido a errores en el diseño, fallos de cálculo para obtener la cantidad, o algún accidente con el material donde ya no pueda ser reutilizado.

Financieros

- **Riesgo de presupuesto excedido (R9)**

Existe el riesgo que, en el proceso de manufactura y compra de componentes necesarios para la realización del generador eólico, se exceda el presupuesto del proyecto. Este riesgo puede ser a causa de no tomar en cuenta los gastos de envío si es que se compra un instrumento fuera del país o si los materiales u opciones de diseño tienen un costo mayor al considerado. Este es un riesgo financiero ya que, si se excede con el presupuesto, podría

retrasar la construcción del proyecto e incluso hasta suspenderlo, en base a la decisión del cliente si es que desea continuar otorgando mayor financiamiento o no.

Operacionales

- **Riesgo de atraso en la recepción de componentes (R10)**

Uno de los riesgos más importantes que tenemos en nuestro proyecto es la no recepción de los componentes pedidos por tiendas online (Amazon, Mercado Libre, eBay). Esto se debe a que algunos componentes son necesarios para la construcción o implementación del sistema eléctrico. Un ejemplo de esto es el caso del dummy load, que es necesario comprarlo para que no exista una sobrecarga de las baterías y pueda re direccionar la potencia generada después de completar carga en las baterías. Al no existir este componente en el Ecuador, se lo debe importar desde el exterior (Amazon). Este es el riesgo más importante debido a que sin este componente no se pueden realizar las conexiones previstas. Otro componente importante que se debe pedir online es el generador sincrónico de imanes permanentes.

- **Riesgo de no contar con personal capacitado para mantenimiento (R11)**

Este riesgo no es tan mayor, dependiendo de las condiciones a las que nuestro generador se exponga. El riesgo contemplado aquí es un mal mantenimiento efectuado por personal no capacitado, lo que degenere en más problemas y sin personal que pueda solucionarlo. La acción que se pretende, en este caso, es capacitar al personal de planta física con la finalidad de perpetuar el proyecto después de la graduación de los participantes.

Legales

- **Riesgo de no obtención de permisos de instalación (R12)**

El mayor riesgo es no poder obtener los permisos para ubicar nuestros generadores eólicos en distintos puntos de la universidad, y que no se puedan realizar pruebas empíricas en lugares públicos, y de donde se obtuvieron los datos. Esto se puede solucionar hablando

con el personal pertinente de planta física, consultando los permisos de ubicación, instalación, y mantenimiento de nuestros generadores.

A continuación, se realiza la valoración cualitativa y cuantitativa de los riesgos presentados anteriormente.

Tabla 17 Valoración cualitativa de cada riesgo del proyecto

impacto	Severo	R2, R3, R4, R12	R1, R10	
	Mediano	R5, R7, R11	R9	
	Bajo	R8		R6
	Nulo			
		Baja	Media	Alta
		Probabilidad		

Tabla 18 Valoración cualitativa de cada riesgo del proyecto

impacto	5	R4, R12	R1, R2	R10		
	4	R3, R7		R9		
	3	R5, R11				
	2		R8			R6
	1					
		1	2	3	4	5
		Probabilidad				

Se realiza un registro y monitoreo de riesgos en el que se incluye al responsable del riesgo y las acciones para prevenir que los riesgos se detallados se produzcan. Se incluyen también la prioridad, el estatus del riesgo y si existe alguna observación adicional

La tabla detallada se encuentra en la sección de Anexo F.

En función del análisis de riesgos realizado, se determinó que los riesgos que presentan un mayor impacto y probabilidad de afectar al proyecto son: el riesgo de atraso en la recepción y el riesgo de exceder el presupuesto establecido. Al entender la importancia de dicho evento, se tomaron decisiones administrativas desde el inicio del proyecto, determinando límites para la compra e importancia de ciertos componentes y materiales. Para evitar el sobrepaso del presupuesto preestablecido, se realiza una primera aproximación y un análisis de proveedores para obtener los precios más bajos dentro del

mercado. Además, se conversó con el cliente y se planteó la posibilidad de aumentar el presupuesto del proyecto para que se cumplan los requerimientos del prototipo

Otro riesgo que presentan una dificultad para el proyecto son la falla estructural y la sobrecarga del sistema. Para lograr evitar el primer riesgo es necesario ejecutar un diseño estructural en el que se contemplen los efectos de esfuerzos en fatiga. Para la sobrecarga del sistema se logró solventar dicho riesgo mediante la implementación del controlador de carga

MANTENIMIENTO Y MANUAL DE OPERACIONES

El manual de mantenimiento y operaciones cuenta con los datos técnicos del equipo, un detalle de los componentes de este, el plano de ensamble del equipo, información de seguridad, descripción de uso del sistema y las recomendaciones de mantenimiento. Todo lo descrito anteriormente se puede encontrar detallado a continuación:

Datos Técnicos

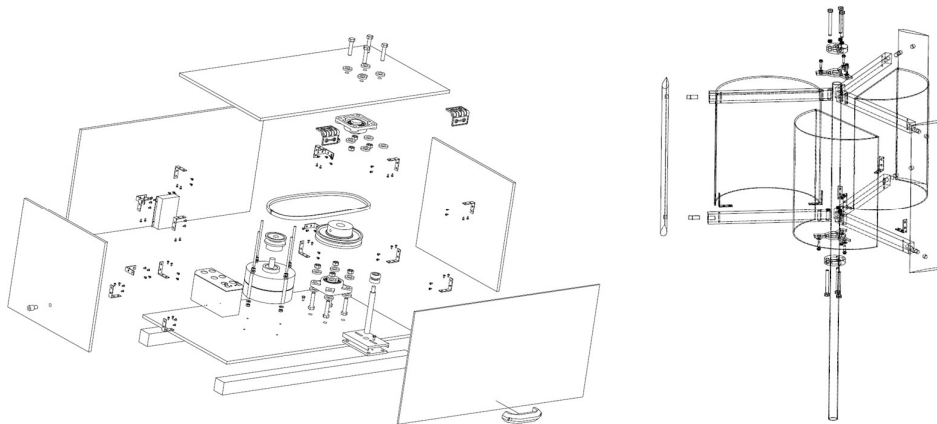


Figura 35 Vista explotada del Generador eólico de eje vertical

Especificación	Detalle
Peso	10 kg

Dimensiones	735 x 400 x 1000 mm
Materiales	Caja: Madera Triplex Carcasa transparente: Acrílico Poleas: Aluminio Componentes Impresos: PLA y PETG Rotor Savonius: Plástico PET Rotor H: Madera de Pino Soportes del rotor: Madera de Pino Soportes de caja: Madera de Pino Eje: Aluminio 6062 t6 Anillo de soporte: Acero A36 Tensor: Acero A36
Salida eléctrica	5 V – 1A /2A
Conexión de Salida	USB-A

Listado de Partes

El listado de partes se encuentra dividido en la lista de partes mecánico/ eléctricas y la lista de partes electrónica:

Tabla 19 Listado de componentes mecánico/eléctricos con su respectiva descripción

Código	Cant.	Parte	Descripción
001	1	Placa Base superior	Es una caja de madera la cual va a contener todos los componentes electrónicos y mecánicos, además protege a aquellos componentes de las condiciones climáticas a las que el generador eólico va a ser expuesto, como lo es la lluvia, sol, etc..
002	1	Placa Base inferior	Parte de la caja de madera
003	1	Pared Posterior	Parte de la caja de madera
004	1	Polea 2.5 in	Estas piezas son las encargadas de la transmisión del movimiento rotacional entre el eje principal al secundario, y luego hacia el eje del alternador

005	2	Chumacera UCF 205	Son las piezas que se acoplan a los ejes, estos componentes permiten su rotación y la transmisión de potencia. Están anclados a las planchas de madera triplex.
006	1	Regulador de carga	Dispositivo que permite regular el perfil de carga de la batería para evitar cualquier daño o afectación en la misma. La energía generada por el alternador es rectificadora y regulada mediante este dispositivo.
007	1	Batería 12V	La batería es necesaria implementar para que la energía suministrada por el alternador sea almacenada en la batería y posteriormente utilizada por los dispositivos móviles que sean conectados
008	1	Pared lateral izquierda	Parte de la caja de madera
009	2	Soporte Caja	Parte de la caja de madera
010	1	Eje	En el eje se encuentra ubicado la turbina la cual se encargará de transmitir el movimiento y producir energía eléctrica
011	1	Placa lateral derecha	Parte de la caja de madera
012	1	Alternador	El alternador es el componente principal, está va a hacer adaptado con una varilla enroscada para colocar la polea y conectar a los otros ejes
013	8	Perno M10 x 1.5	Son componentes que será utilizados para el ensamble y fijación de los distintos componentes del sistema.
014	16	Arandela - 12, CW	Son piezas que se ubican entre la cabeza del perno y el material, para evitar la formación de concentrador de esfuerzos.
015	8	Tuerca M10 x 1.5	Son piezas que se acoplan al final de la rosca del perno para formar una sujeción firme.
016	1	Acrílico	Parte de la caja de madera que permite ver el interior del equipo
017	1	Acople para cables	Pequeño elemento que permite dirigir la salida de los cables a través de un agujero y conectar con la caja electrónica y puerto de carga
018	16	Ángulos de metal	Son pequeñas piezas de metal en forma de L, son utilizados para la sujeción y ensamble de la turbina savonius hacia los brazos del rotor H.
019	64	Tornillo 2.9 x 6.5	Son piezas que se acoplan al final de la rosca del perno para formar una sujeción firme.
020	4	Perno M6 x 110	Son componentes que será utilizados para el ensamble y fijación de los distintos componentes del sistema.

021		Arandela	Son piezas que se ubican entre la cabeza del perno y el material, para evitar la formación de concentrador de esfuerzos.
022	8	Tuerca M6 x1	Son piezas que se acoplan al final de la rosca del perno para formar una sujeción firme.
023	1	Manija	Se coloca en el acrílico para poder levantar la tapa de manera más fácil.
024	2	Bisagra	Elemento de sujeción y movimiento de la tapa de acrílico.
025	1	Tensor	Elemento utilizado para conseguir que la banda de transmisión se encuentre debidamente tensada y evitar pérdidas de potencia y transmisión durante el funcionamiento.
026	1	Banda tipo V	Son piezas de caucho que se conectan entre las poleas, su función es la transmisión de movimiento rotacional entre los ejes y hacia el alternador.
027	1	Polea 5.5 in	Estas piezas son las encargadas de la transmisión del movimiento rotacional entre el eje principal al secundario, y luego hacia el eje del alternador.
028	1	Turbina	Subcomponente del sistema.
029	2	Anillo	Los anillos sujetan a los 3 brazos y transmiten el movimiento al eje principal por medio de prisioneros.
030	6	Brazo	Son las piezas que sostienen los perfiles alares y la geometría de la turbina Savonius. Están realizados en madera de pino, con recubrimiento de laca.
031	6	Acople	Son piezas utilizadas para el ensamble del rotor H con los brazos de madera, además dan la inclinación de 9° que corresponde al ángulo de ataque del perfil alar.
032	3	Rotor H	Son las aspas que se ubican a los extremos de la turbina y que presentan un perfil aerodinámico.
033	3	Savonius	Es la segunda geometría utilizada para el generador eólicos, a través del arrastre generado por el flujo del viento, se da la rotación del eje y en consecuencia la generación de energía eléctrica.
034	2	Soporte Brazo	Pieza utilizada para mejorar la sujeción de los brazos al eje de la turbina.
035	6	Perno M8 x 1.25 x 70	Son componentes que será utilizados para el ensamble y fijación de los distintos componentes del sistema.

036	6	Arandela	Son piezas que se ubican entre la cabeza del perno y el material, para evitar la formación de concentrador de esfuerzos.
037	6	Tornillo	Son piezas que se acoplan al final de la rosca del perno para formar una sujeción firme.
038	6	Tuerca M8 x1	Son piezas que se acoplan al final de la rosca del perno para formar una sujeción firme.
039	6	Angulo de metal	Son pequeñas piezas de metal en forma de L, son utilizados para la sujeción y ensamble de la turbina savonius hacia los brazos del rotor H.

Tabla 20 Listado de componentes electrónicos con su respectiva descripción

Código	Cant.	Parte	Descripción
E001	1	ESP32	Se selecciona el microcontrolador ESP32 debido a la velocidad de procesamiento que tiene y a que dispone en su interior de un módulo wifi.
E002	1	Sensor de Corriente	Este módulo es un sensor de corriente ACS 712 basado en el efecto Hall en el que se genera un campo magnético inducido y transformado de manera proporcional en corriente.
E003	1	Sensor de Voltaje	Módulo divisor de tensión para medir voltaje de hasta 25V. En su interior dispone de un puente divisor de voltaje.
E004	4	Resistencias	Elementos necesarios para regular el voltaje y amperaje en el circuito
E005	4	Capacitores	Elemento utilizado para realizar el puerto de carga y almacenar energía para la rectificación dentro de este.
E006	1/2	Regulador L7805	El regulador permite realizar la reducción de voltaje de 12V a 5V que son aptas para cargar la batería del dispositivo móvil.
E007	1	Puerto USB	Salida requerida del sistema para que se puedan cargar los dispositivos móviles.
E008	1	Switch	Interruptor para prender o apagar el sistema de carga durante su funcionamiento.

Planos de ensamble

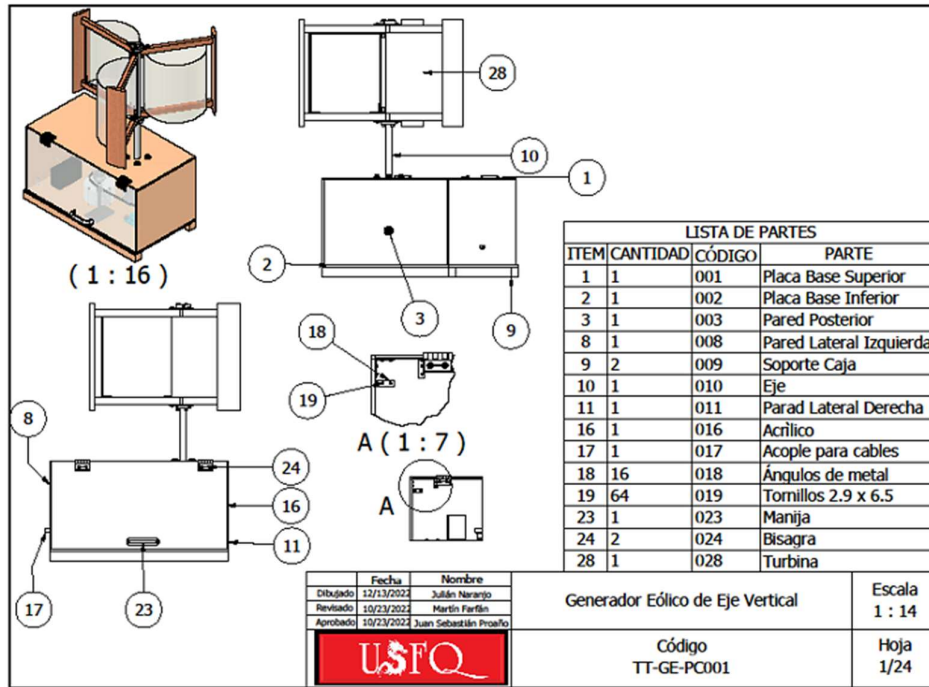


Figura 36 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC001

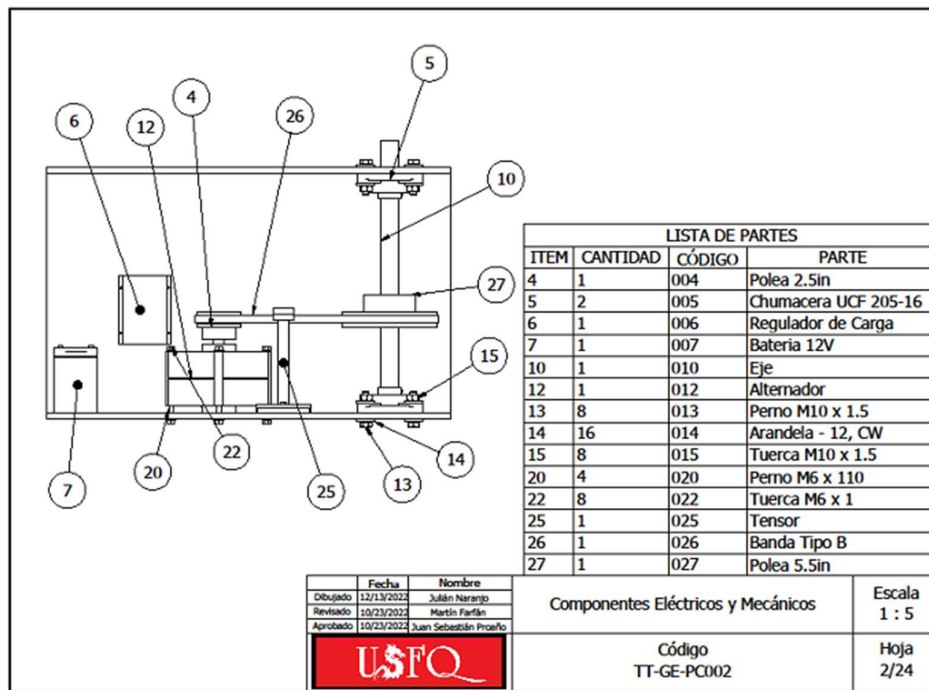


Figura 37 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC002

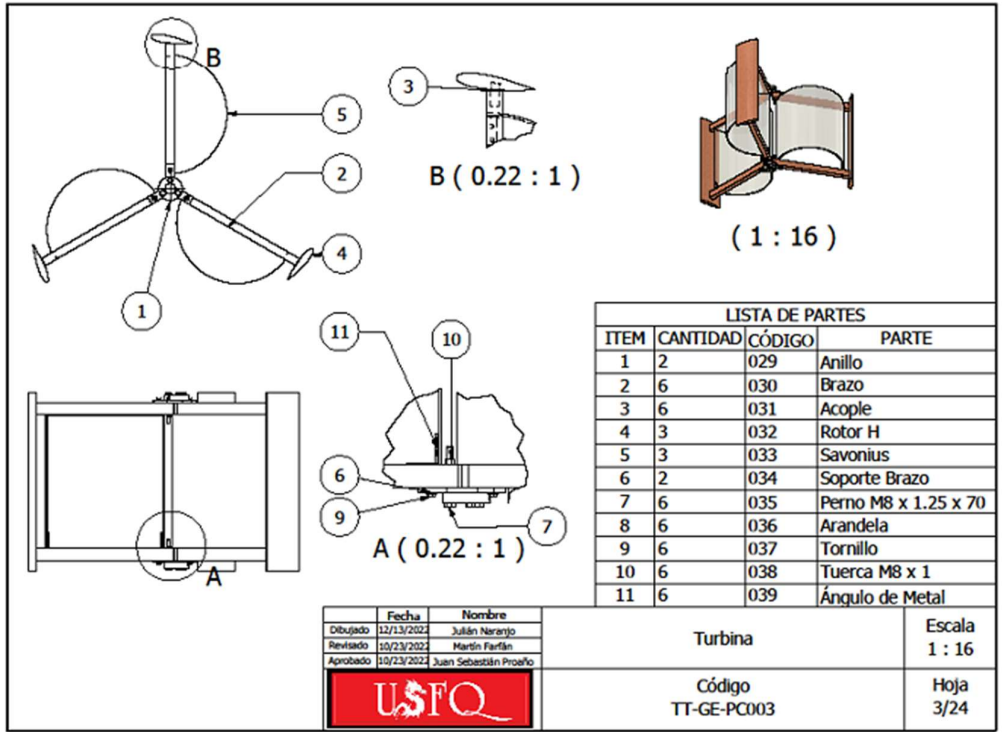


Figura 38 Plano de ensamble Generador eólico TT-GE-PC003

Información de seguridad

Para preservar la vida útil del equipo, es recomendable tomar en cuenta la siguiente información de seguridad

- No forzar el movimiento del rotor cuando está en funcionamiento.
- Tener precaución con aristas vivas y/o salidas de tornillos.
- No acercarse a partes del cuerpo cuando hacia el rotor cuando esté en movimiento.
- No apoyar objetos pesados en la estructura principal.
- Mantener cerrada la puerta de acrílico en todo momento.
- En caso de tormenta eléctrica, mantener distancia con el equipo.
- Solo personal capacitado puede mover el equipo y realizar el respectivo desarmado y mantenimiento.

Descripción general del producto y características

- **Arranque y Apagado**

La fuente principal de movimiento del generador eólico es el viento de la zona en la que se encuentra ubicado el equipo, por esta razón, se considera intermitente su funcionamiento. No existe un botón de arranque ni apagado, por lo que el equipo se encontrara funcionando mientras se encuentre ubicado en la zona de operación y todas las conexiones se encuentren en estado óptimo. Para el caso de la operación del equipo, igualmente no se necesita tener personal capacitado operando este generador eólico, debido a que todos los procesos son autónomos en su interior (movimiento de bandas, generación, toma de datos, etc.).

- **Almacenamiento**

Al ser una estructura modular, es decir, sin uniones permanentes, se lo podría desarmar en su totalidad, para un almacenaje óptimo.

- **Control y seguridad de operación**

En el caso del control, no se consideró necesario un sistema complejo de controladores de variables PID, debido a que las fuerzas, velocidades, y corrientes generadas, no son lo suficientemente considerables para tenerlas monitoreadas y controladas. Por último, en el caso de operación de rangos variables, se sometió a todos los componentes a un estudio de diseño en fatiga, ya que todas las fuerzas del sistema son variables y cíclicas; por lo que se consideró como fuerza y velocidad máximas (obtenidas mediante la simulación en CFD) como el límite superior de análisis, para lo cual se comprobó que el factor de diseño seleccionado si es óptimo para el funcionamiento en condiciones extremas del equipo.

- **Operación del puerto de carga**

Para el puerto de carga, el encendido y apagado se produce mediante un switch que permite cargar los dispositivos móviles. El puerto de carga se encuentra conectada con la batería por lo que siempre se encontrara suministrada por energía del alternador, el switch controla únicamente el voltaje que llega hacia el puerto de carga USB.

- **Operación del sistema de monitoreo**

El sistema de monitoreo se da mediante IoT, en el que el microcontrolador ESP32 envía datos a la nube los cuáles son procesados. Durante la implementación del proyecto ya se

diseñó el procesamiento de los datos por lo que únicamente es necesario ingresar al sistema para poder monitorear y observar el mismo.

Recomendaciones de Mantenimiento

1. Comprobar el estado físico de la caja y la turbina para identificar afecciones debido a condiciones meteorológicas anómalas
2. Limpiar los canales de las poleas y revisar si los ejes de las poleas se encuentran alineados correctamente. Comprobar la tensión de las correas para evitar pérdidas de transmisión
3. Aplicar laca en aerosol a toda la caja de madera dentro del periodo establecido o en función de las condiciones meteorológicas del lugar de operación.
4. Revisar y lubricar chumaceras utilizando el dispensador de grasa colocada en un lado del elemento
5. Comprobar las conexiones electrónicas y los cables de suministro de energía al puerto de carga para evitar posibles fallos en el funcionamiento y posibles corto circuitos
6. Revisar el nivel de baterías que suministra energía al ESP32 para evitar que este componente se quede sin alimentación durante su funcionamiento

Cronograma de mantenimiento

A continuación, se presenta el cronograma de mantenimiento del sistema diseñado

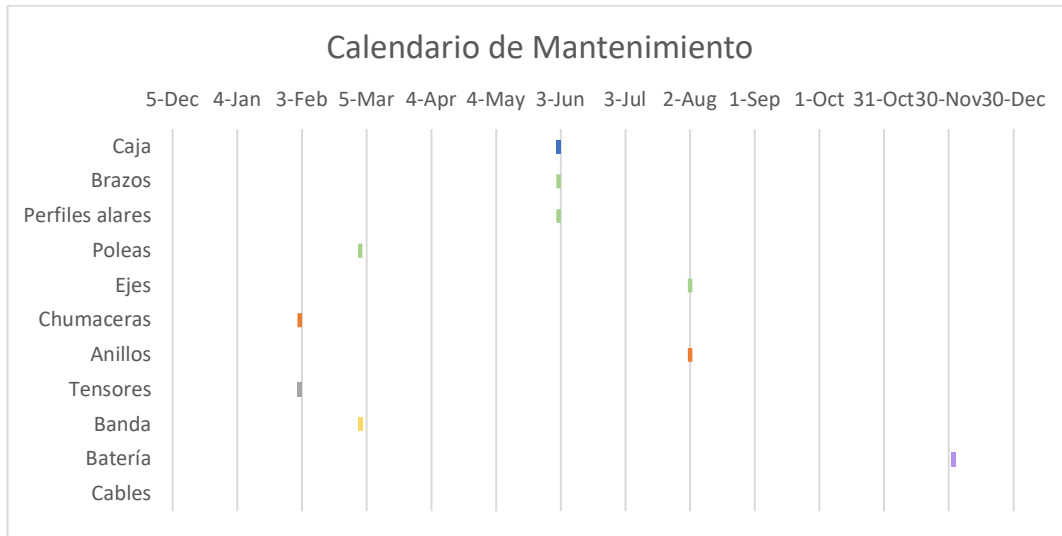


Figura 39 Cronograma de mantenimiento

Tabla 21 Lista del cronograma de mantenimiento

Elemento	Material	Mantenimiento	Tiempo
Caja	Madera de pino	Volver a recubrir con laca y verificar fugas	6 meses
Brazos	Madera de pino	Volver a recubrir con laca y verificar desgastamientos	6 meses
Perfil Alares	Madera de pino	Volver a recubrir con laca y verificar desgastamientos	6 meses
Poleas	Aluminio	Revisar estado de las poleas por cualquier desgastamiento y limpiar canales	3 meses
Ejes	Aluminio	Desmontar ejes y revisar que estén balanceados	8 meses
Chumaceras	Aluminio	Lubricar y limpiar	2 meses
Anillos	Acero	Recubrir con desoxidante y verificar desgastamiento	8 meses
Tensores	Acero	Verificar sujeciones y ajustar la banda	2 meses
Banda	Caucho	Verificar desgaste de la banda y limpiar suciedades	3 meses
Batería	Plástico/ Ácido Plomo	Verificar estado de carga de batería	12 meses
ESP32	Microcontrolador	Revisar suministro de energía del microcontrolador	1 mes
IoT		Revisar datos y funcionamiento del sistema de recopilación	12 meses

Cables	Cobre	Revisar conexiones que no estén sueltos o cables desgastados	3 meses
--------	-------	--	---------

RESULTADOS

La presentación de los resultados del proyecto se realiza en función de los requerimientos establecidos por el cliente, dichos requerimientos pueden observarse en a la sección “Definiciones y especificaciones del Proyecto”. Los requerimientos establecidos para el proyecto son dictaminados por el profesor de la carrera de ingeniería mecánica de la USFQ, Doctor Juan Sebastián Proaño.

Monitoreo continuo y automatizado del consumo eléctrico

El consumo energético del generador eólico de eje vertical diseñado se da mediante un puerto de carga con un conector USB tipo H. Este puerto permite conectar celulares para cárgalos. Además, se diseñó un sistema de monitoreo del consumo energético, que permite obtener datos de voltaje, corriente y potencia consumida durante la carga de los dispositivos móviles.

A continuación, puede observarse el diseño final del puerto de carga y el sistema de monitoreo de este.

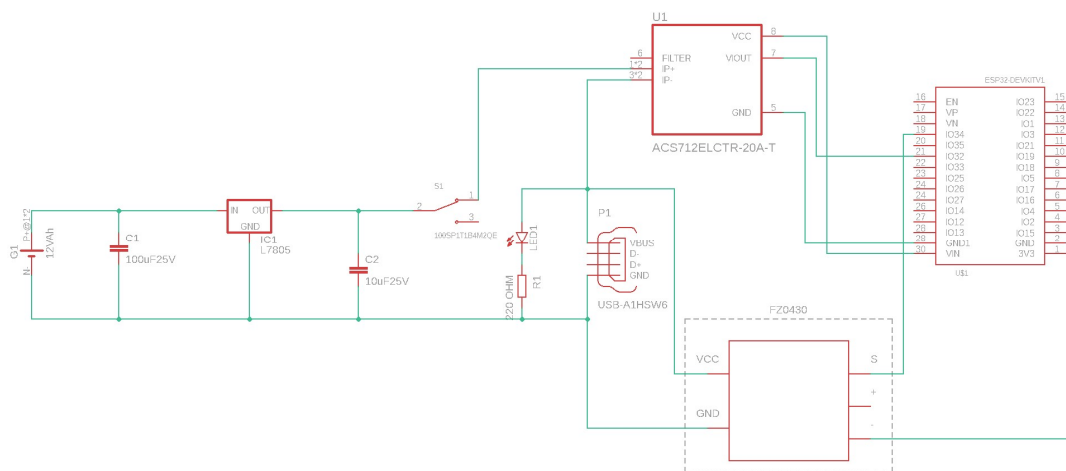


Figura 40 Diagrama del Puerto de Carga y Sistema de Monitoreo para ser implementado

Posteriormente se realizó la implementación física del circuito. Estas conexiones se realizaron de manera provisional utilizando un protoboard. Se diseñó una caja, impresa en 3D, que permita colocar dichos sistemas electrónico para que únicamente se pueda observar el interruptor y el puerto USB.

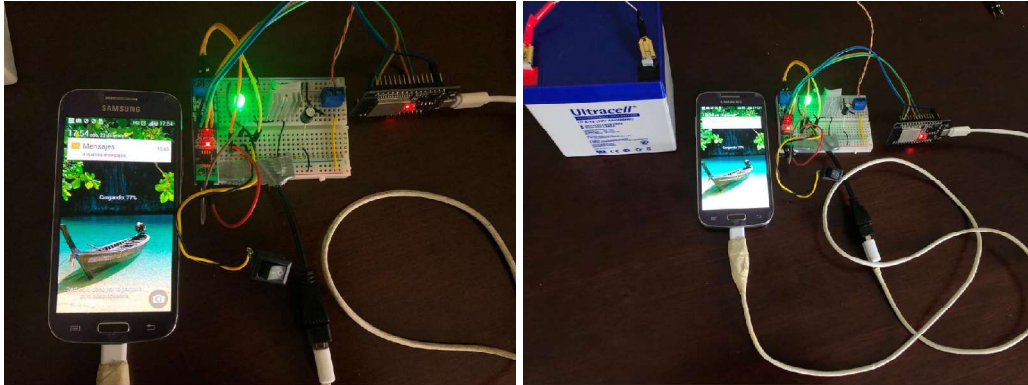


Figura 41 Funcionamiento del puerto de Carga y Sistema de Monitoreo realizado en un Protoboard

La programación del sistema de monitoreo se realiza en el lenguaje de C++ mediante el IDE de Arduino. El envío de los datos se realizó mediante Internet y fueron receptados utilizando la plataforma de ThingSpeak, que permite graficar en tiempo real los datos y también descárgalos en un archivo CVS para su posterior manejo. El código de la programación se encuentra detallado en la sección de Anexo G.

Es necesario identificar que la programación se realizó tanto para una conexión a internet mediante un sistema de seguridad WPA y WPA2, para que el puerto de carga pueda ser implementado tanto en la universidad USFQ o en otra ubicación, dependiendo de los requerimientos.

Además de enviar los datos a través de IoT, a la plataforma de ThingSpeak, los datos son registrados mediante el monitor serial el IDE de Arduino, Para comprar la veracidad de los datos enviados. En la sección de Anexo G se pueden observar un ejemplo de los datos respectados por el monitor serial.

Se pueden observar las gráficas realizadas en tiempo real mediante el programa de ThingsSpeak.



Figura 42 Gráficas de Voltaje, Corriente y Potencia vs Tiempo realizadas por la plataforma de ThingSpeak

También se obtiene los datos mediante CVS para ser analizados utilizando el programa de Excel. Se pueden observar los datos tratados en función de los periodos de operación que tienen el puerto de carga.

El sistema de monitoreo presenta tres configuraciones de obtención de datos principales

El primer caso consiste en el momento cuando el interruptor se encuentra prendido y un celular se está cargando en este momento.

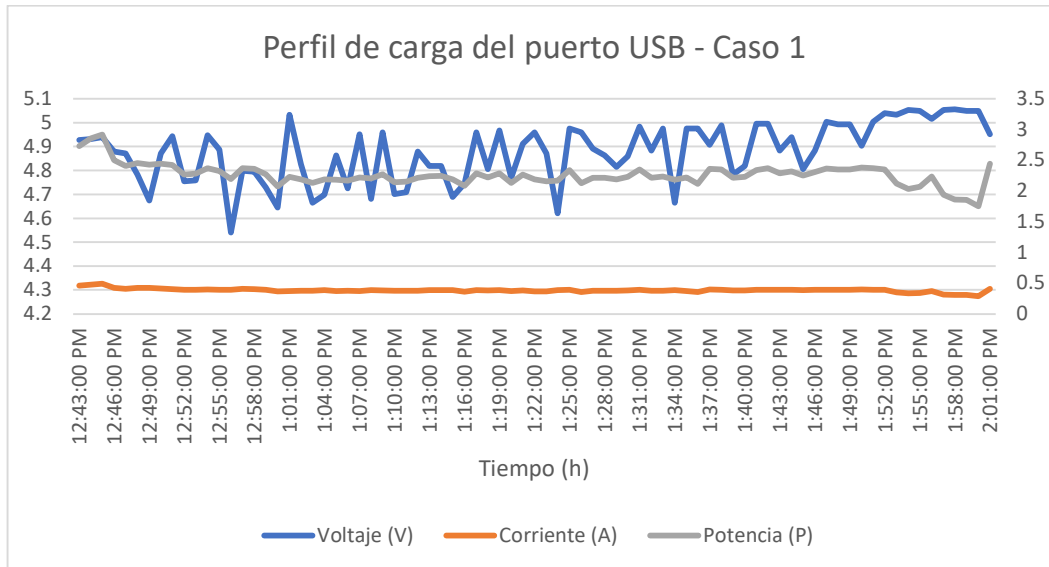


Figura 43 Prueba del perfil de carga del puesto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1. El eje secundario es utilizado para la gráfica de la línea de Corriente y Potencia

EL segundo caso es cuando el interruptor este prendido, pero no está ningún celular cargándose en ese momento.

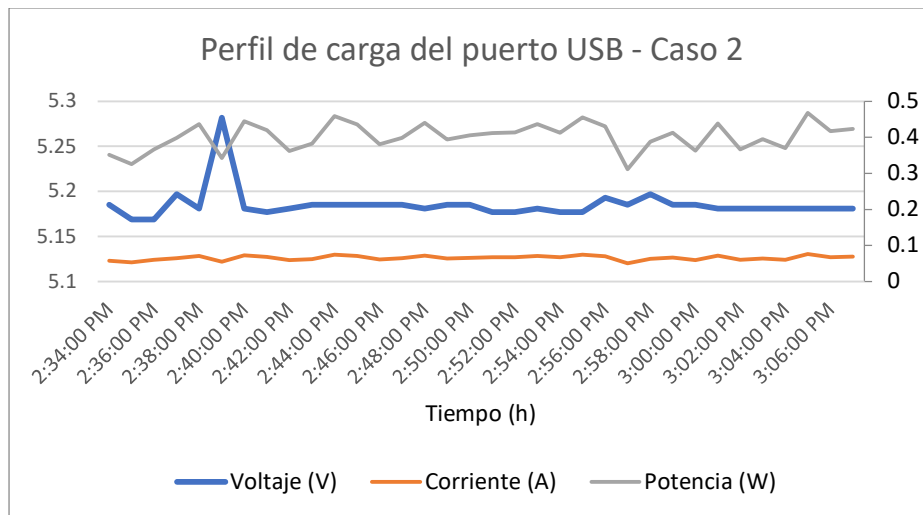


Figura 44 Prueba del perfil de carga del puesto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2. El eje secundario es utilizado para la gráfica de la línea de Corriente y Potencia

El último caso es cuando el interruptor esta desactivado y no esta ningún celular cargando en ese instante. En este caso el voltaje tendría un valor de 0 al igual que la corriente y la

potencia, sin embargo, debido a la sensibilidad de los sensores se produce ruido que debe ser limpiado.

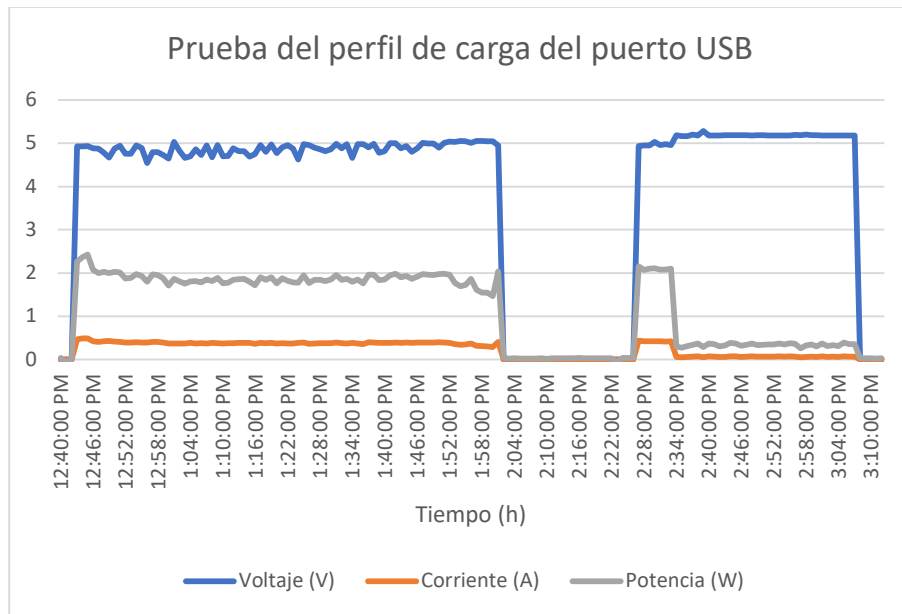


Figura 45 Prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4

En la gráfica mostrada antes se puede observar detalladamente los tres casos de uso del puerto de carga diseñado. Gráficas detalladas de las pruebas realizadas pueden observarse en la sección de Anexo G.

En función de las gráficas se pudo identificar que un celular Samsung S4 puede llegar a cargarse con un voltaje de alrededor de 5 V y una corriente consumida 0.4 A. Al celular le tomo alrededor de 2 horas cargarse un 25% de batería.

Resistente a la intemperie

La mayor parte de componentes del prototipo están construidas en madera de pino, para los componentes de la turbina como los brazos y los perfiles alares, y de madera trípex, para la estructura de la caja que contiene los componentes electrónicos y mecánicos. Por ende, para alargar la vida útil de estas piezas se aplicó dos capas de laca lo cual es un componente que protege a la madera y la hace más resistente a la descomposición natural y el agua (Leroy Merlin, 2022).

En adición, el eje principal es de aluminio junto a un tratamiento superficial de cromado, lo cual lo hace resistente a la corrosión, abrasión y desgaste. Por lo tanto, el eje tiene alta dureza y es resistente a la oxidación, que puede ser causada nuevamente por la lluvia (Collini Gruppe, 2018).



Figura 46 Laca utilizada en las piezas de madera de pino y triplex

Resistencia a cargas fluctuantes

El flujo del viento varía en función de la época del año, hora del día y entre otras condiciones climáticas; por lo que es un flujo intermitente lo que a su vez ejerce una carga fluctuante sobre el prototipo. El eje de la turbina es el componente en el cual estas fuerzas fluctuantes son ejercidas. Para el diseño de esta pieza se tomó el caso crítico, el cual corresponde a la velocidad máxima del viento de 10.93 m/s que ejerce una fuerza de 111.43 N sobre el eje, generando una torsión y momento en el extremo superior del componente. Para asegurar que el diámetro del eje sea el adecuado para soportar los esfuerzos fluctuantes, se definió un factor de seguridad de 1.3. Es así como se obtuvo un diámetro nominal de 1 pulgada.

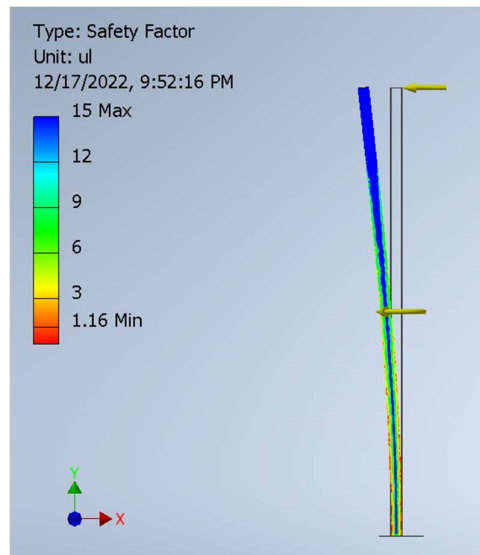


Figura 47 Simulación de esfuerzos para el eje principal

Por otro lado, la selección de las chumaceras se definió en base al diámetro seleccionado del eje, y en base a cómo van a estar ubicadas dentro del prototipo. Por ende, se seleccionaron la chumacera de tipo brida cuadrada, la cual tiene una capacidad de carga dinámica y estática de 14 kN y 7.85 kN, respectivamente, lo cual es capaz de soportar la fuerza máxima ejercida.

Fácil mantenimiento

Para el mantenimiento del prototipo se tiene el cronograma de mantenimiento encontrado en la tabla 20. Para los componentes mecánicos dentro del sistema de transmisión de las poleas, deben ser lubricados, reajustados y realineados con el eje; al igual que las chumaceras. Con respecto a los ejes estos deben verificarse que no tengan un desvío y reajustar con el resto de los componentes. Para la turbina, los componentes de madera pueden ser vueltos a tratar con laca para aumentar su vida útil y resistencia a la intemperie. En el caso de los anillos se deben desoxidar y reajustar, los tensores y la banda deben ser limpiados y reajustados. Después los componentes eléctricos se deben revisar el cableado

y que cada uno esté funcionando correctamente como el control de carga, el estado de carga de la batería y la recolección de datos del IOT.

No genere altos niveles de ruido

Para realizar estas mediciones de decibeles, se procedió a descargar un medidor de decibeles, o sensor de sonido, en el celular de uno de los integrantes. Este sensor, calibrado remotamente que obtiene datos por medio del micrófono del celular, se llama Decibel X; en el anexo E se encuentra la descripción del medidor a más detalle. Posteriormente, se realizaron dos medidas para tener un marco de referencia. La primera de estas fue medir el ruido ambiental, el que siempre está presente; se la realizó en el taller mecánico de la USFQ, donde existió un poco más de ruido por conversaciones muy bajas de fondo. El resultado de esta fue **49db**. Esto tiene concordancia con los datos presentados por (DBElectronics, 2018) que un cuarto en silencio tiene 40db. La segunda medida de calibración, en ese ambiente, fue conversar normalmente entre miembros del grupo y registrar los decibeles de la conversación. Este resultado fue de **65db**. Por último, al inducir movimiento en el sistema mecánico, los decibeles registrados fueron de **51db**. Esto nos quiere decir que existió una variación de entre 2-4 decibeles entre la habitación en silencio donde se efectuó la prueba, y el ruido existente al hacer funcionar el prototipo.

Cumplimiento del abastecimiento energético

Para el cumplimiento de la oferta energética, se tuvo que realizar varias pruebas en distintos lugares hasta que se pueda producir. Para todo esto, es necesario saber cuánta potencia se produciría tanto por mes como rango de velocidades presentes. Se tomó como referencia las tablas 58, 59 y 60, presentes en el Anexo D, para realizar unas tablas parecidas, pero con resultados más precisos. En estos resultados tenemos en cuenta distintos parámetros que despreciamos previamente, como, por ejemplo, el coeficiente de potencia C_p , la eficiencia de transmisión n_d , la eficiencia de generación n_g . Al depreciar

previamente estos parámetros adimensionales, se obtuvieron valores ideales, despreciando pérdidas por eficiencia del generador, las pérdidas energéticas contempladas en la fricción del mecanismo, etc.

La potencia eléctrica se define como (Korpela, 2020):

$$P_{el} = \frac{1}{2} \rho A_2 C_p n_g n_d c_{x1}^3$$

Donde ρ es la densidad del aire (1.2 kg/m^3), A_2 es el área efectiva del generador, c_p es 0.2441, η_g es 0.95 y se asume un valor de 0.9 η_d (Zona del Motor, 2021).

Con esto, se procederá a realizar un análisis paramétrico dependiendo de los rangos de velocidad, y de los meses del año. Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 22 Potencia Producida Real por rangos

Bin	Min	Max	Promedio	Porcentaje al año	Potencia [W]
0 - 0,5	0	0.5	0.25	2%	0.0027
0,5 - 1	0.5	1	0.75	16%	0.073
1 - 1,5	1	1.5	1.25	25%	0.338
1,5 - 2	1.5	2	1.75	20%	0.928
2 - 2,5	2	2.5	2.25	12%	1.97
2,5 - 3	2.5	3	2.75	7%	3.60
3 - 3,5	3	3.5	3.25	5%	5.94
3,5 - 4	3.5	4	3.75	4%	9.13
4 - 4,5	4	4.5	4.25	3%	13.29
4,5 - 5	4.5	5	4.75	2%	18.55
5 - 5,5	5	5.5	5.25	2%	25.05
5,5 - 6	5.5	6	5.75	1%	32.91
6 - 6,5	6	6.5	6.25	1%	42.26
6,5 - 7	6.5	7	6.75	1%	53.24
7 - 7,5	7	7.5	7.25	0%	65.96
7,5 - 8	7.5	8	7.75	0%	80.57
8 - 8,5	8	8.5	8.25	0%	97.20
8,5 - 9	8.5	9	8.75	0%	115.96
9 - 9,5	9	9.5	9.25	0%	137.00
9,5 - 10	9.5	10	9.75	0%	160.44
10 - 10,5	10	10.5	10.25	0%	186.41

10,5 - 11	10.5	11	10.75	0%	215.04
11 - 11,5	11	11.5	11.25	0%	246.46

Tabla 23 Potencia Producida Real por meses

Velocidad del viento [m/s]		Potencia [W]
Mes	Promedio Mensual	
Enero	2.01	1.41
Febrero	2.1	1.60
Marzo	1.78	0.98
Abril	1.96	1.30
Mayo	1.98	1.34
Junio	1.91	1.21
Julio	2.49	2.67
Agosto	2.41	2.42
Septiembre	2.39	2.36
Octubre	1.99	1.36
Noviembre	1.93	1.24
Diciembre	1.97	1.32

Se determina el porcentaje de error de los resultados obtenidos para analizar su desviación, con la siguiente expresión:

$$\%error = \frac{|teórico - real|}{teórico} * 100$$

Tras el cálculo, el dato real de potencia producida es 71.65% diferente al dato teórico. La tabla de comparación se encuentra en el Anexo D.

Según la tabla 65, un mínimo de velocidad de 4m/s es lo mínimo necesario. Se realizó el respectivo cálculo para comprobar la velocidad en la que esta turbina genera lo necesario. Estos cálculos están presentes en el anexo D. La velocidad del viento óptima para generar es 6.0707m/s. En la universidad, como se aprecia en la tabla 21, la frecuencia de esta

velocidad del viento es súper escasa, bordeando el 2%; y, tomando en cuenta que la generación se da desde los 4m/s, solo se podría generar electricidad un 10% del año.

Con esto presente, se veía la posibilidad de no poder realizar pruebas contundentes en el campus de la USFQ. Por esta razón, se decidió realizar pruebas en otras locaciones. Uno de los lugares de pruebas fue la avenida Universitaria, sobre la Ruta Viva, donde sí se pudieron registrar vientos de 6 m/s en promedio. La siguiente imagen muestra la velocidad promedio del nuevo lugar de pruebas, donde se pudo superar la velocidad óptima mínima de operación:



Figura 48 Imágen de prueba a 6.7m/s

Utilización de materiales biodegradables o más amigables con el ambiente

Cuando el cliente especificó que los materiales deben ser biodegradables, se realizó un diseño donde la mayoría de los componentes puedan ser realizados de madera. Después de realizar el estudio de mercado se seleccionó la madera de pino que cuenta con una alta resistencia de compresión y tensión, siendo más duradera y a parte económica. Por otro

lado, hay componentes impresos en 3D utilizando plásticos PETG, donde se utiliza un filamento de plástico reciclado.

DISCUSIONES

El puerto de carga realizado presenta ciertas limitaciones en su funcionamiento. En primer lugar, al utilizar un regular L7805, la corriente que suministra no es superior a 1 A, dependiendo del celular que se desee cargar, por lo que o se puede cargar de manera rápida celulares. Además, el puerto de carga únicamente funciona para celulares que utilicen un sistema operativo de tipo Android o similar, para el caso del sistema operativo iOS, debido a sus protecciones no es posible cargar celulares, por lo que debería identificarse si es una necesidad implementar un puerto extra que sea capaz de cargar estos dispositivos

Para el sistema de monitoreo, la alimentación del ESP32 está diseñada utilizando una batería de 3.3V (si es que se conecta en el pin Vin entonces de 5V) durante el periodo de pruebas del puerto de carga, sin embargo, esta implementación no es viable para el proyecto, y que, al estar en funcionamiento de manera continua, las pilas se descargarían, por lo que su reposición sería complicada y costosa. Es necesario plantear la posibilidad que la misma batería de 12V, que alimenta el puerto de carga, sea capaz de alimentar al ESP32 mediante utilizando un regulador de carga.

La plataforma de ThingSpeak, es una de las muchas herramientas online que existen para la recepción de datos mediante IoT. La facilidad de esta, y el costo nulo que tiene la hacen viable para la implementación del proyecto. La manera de exportar datos del programa

también es sumamente sencilla por lo que el manejo y entendimiento de estos no presentará complejidad.

Los componentes de madera triplex y de pino tendrán una mayor vida útil, que se espera que esté entre 15 y 20 años, debido al tratamiento superficial de lacado que se realizó. De igual forma, el eje seleccionado es de aluminio cromado donde este proceso provee de resistencia a la oxidación. Por ende, los componentes si son capaces de resistir a la intemperie sin dificultad.

En cuanto al diseño del eje, el dimensionamiento de su diámetro se realizó en base a la teoría de Goodman a fatiga, esto se debe a que el componente está sometido a fuerzas de forma intermitente ya que el flujo del viento, que es la causa de la fuerza ejercida sobre el eje, varía en función de la época del año y la hora del día. Por lo tanto, se tiene un esfuerzo de carga repetida donde se considera que en un ciclo se llega a un punto máximo, que se da con el flujo del viento que provoca el movimiento del eje, y luego desciende a un mínimo que es considerado como 0. Tras un proceso iterativo se obtuvo un diámetro final de 1 pulgada, el cual corresponde al usar un factor de seguridad de 1.3.

Para la selección de la chumacera se basó principalmente en base al dimensionamiento del eje, para su posterior encaje al momento del ensamble, donde claramente la capacidad de carga del rodamiento es mayor que la fuerza máxima registrada por lo que no se tendrá fallas críticas. Para el ensamble se colocaron dos chumaceras, en la placa superior e inferior de la estructura principal, con el fin de otorgar mayor estabilidad y facilidad de rotación al eje y mantenerlo alineado con dos puntos de apoyo.

Los niveles de contaminación de ruido al ambiente producido por el prototipo son muy bajos. Es de una variación de 1-2db, lo cual es casi despreciable en cualquier ambiente.

Esto se debe principalmente a la poca fricción que existe entre componentes, la ergonomía de estos con respecto al ambiente, y la lubricación que llevan estos.

Para el mantenimiento del generador eólico se debe tomar en cuenta los componentes eléctricos como el alternador, controlador, batería, cables, etc. y los componentes mecánicos como los rodamientos, ejes, bandas, poleas y la turbina. Con respecto a los componentes mecánicos se toman en cuenta los materiales de los que están hechos, y si los materiales reciben algún tratamiento para aumentar la resistencia a climas extremos.

En campos de la generación eléctrica, se puede ver que dentro de lo que es el campus de la universidad, no hay el suficiente viento para llegar a producir una cantidad aceptable de viento. Como se menciona en el libro de (Vanek , 2008), revisar anexo D tabla 65, la velocidad mínima aceptable para producción energética eólica es de 4m/s; mientras que, las mediciones de viento provistas por el EMA, son de 1.5m/s en promedio anual, y la velocidad de generación en estado estable es de 6m/s. Por esta razón se decidió hacer pruebas en otros lugares más ventosos, como, por ejemplo, la Ruta Viva, donde sí se pudo encontrar vientos mayores a 4, vientos que rondan entre los 4 y 7 metros por segundo. Todos estos cambios de viento se deben a distintos factores tanto geográficos como atmosféricos, sin embargo, son de gran importancia a tener en cuenta. El error de 70% con respecto a ambas potencias se debe a inclusión de varios factores que bajan el valor de potencia ideal, pero que acercan a valores más cercanos a realidad; siendo estos factores a considerar el Coeficiente de Potencia, la Eficiencia del Generados y Eficiencia Mecánica, y el Límite de Betz. Las tablas de resultados 21 y 22, más la 22, son las más importantes en estos resultados, ya que muestran cuál sería la potencia generada por la

turbina si el alternador no tuviera limitaciones físicas (un rango mínimo por el cual operar).

Uno de los requisitos del cliente era el uso de materiales biodegradables, livianos, resistente a la intemperie, baratos y que se puedan conseguir localmente. Utilizando la madera de pino, no solo soluciona el requerimiento de ser biodegradables, sino que es uno de los materiales más resistentes, duraderos y aparte livianos.

CONCLUSIONES

Se evidencia que el puerto de carga y el sistema de monitoreo es completamente funcional, permite cargar celulares y además se produce el monitoreo constante del consumo energético. La implementación de un segundo regulador L7805, permitiría aumentar la corriente suministrada y obtener un puerto de carga rápida.

Los datos son receptados por la plataforma ThingSpeak, con una frecuencia de un minuto (1440 datos por día), esto debido a que, al estar en constante monitoreo, tener una frecuencia de obtención de datos más reducida aumentaría los datos sin presentar mejoras sustanciales en cuestión de información obtenida. La plataforma de ThingSpeak, es una herramienta muy potente a la hora de representar datos, y da la posibilidad de analizarlos más a detalle mediante el uso de otro programa.

En función de las pruebas realizadas, se pudo identificar que el sistema de monitoreo presenta tres configuraciones de obtención de datos. El primer caso es cuando el interruptor se encuentra prendido y un celular se está cargando en este momento, con el celular (Samsung S4) que se realizó las pruebas, se determinó que el dispositivo se carga con un voltaje de 5V, una corriente de 0.4A y una potencia promedio de 2W. El segundo caso es cuando el interruptor este prendido, pero no está ningún celular cargándose en ese momento, en este caso existe un consumo de voltaje de 5V, pero la corriente se ve

reducida a un promedio de 0.06A y la potencia generada se encuentra en 0.3W. Por último, el tercer caso es cuando el interruptor esta desactivado y no esta ningún celular cargando en ese instante, para esto el voltaje, corriente y potencia tienen un valor muy cercano a 0, esto debido a la sensibilidad de los sensores que no permiten llegar a 0 absoluto.

El proceso de lacado para los componentes de madera fue sencillo y económico, y cumple con el requerimiento de que el prototipo no se vea afectado por las condiciones climáticas y sea resistente a la intemperie. De igual forma, para los componentes mecánicos como el eje, se tiene un tratamiento superficial de cromado lo cual evita su oxidación y aumenta su resistencia.

Los componentes críticos identificados fue el eje principal, donde tras un análisis de diseño mediante la teoría de Goodman a fatiga, se determinó el diámetro nominal que el componente debe tener para cumplir con un factor de seguridad de 1.3 y en base al caso crítico correspondiente a la velocidad máxima registrada en el año 2021. Por lo tanto, el eje es capaz de resistir las cargas fluctuantes sin presentar falla alguna y de esta forma cumplir con el requerimiento especificado. En adición, como se puede apreciar en la imagen de simulación de esfuerzos para el eje, factor de seguridad mínimo registrado es de aproximadamente 1.2, un valor muy cercano al planteado en los cálculos numéricos, que de igual forma indica que no se tendrá fallas de estos componentes al ejercer la fuerza máxima.

La contaminación sonora, un gran problema que aqueja al Distrito Metropolitano de Quito, es casi imperceptible en este prototipo, por lo que se puede concluir que se cumplió con este requerimiento.

Los mantenimientos son procesos sencillos, donde el usuario no requiere de una capacitación técnica avanzada. El único requisito es leer el manual de ensamblaje que

tampoco es complicado. Entre los procesos que no son complejos, está limpiar polvos, verificar conexiones y ajustar pernos. Finalmente se debe recubrimientos como laca y desoxidante, y lubricar las chumaceras.

Para la generación eléctrica, se puede concluir que los datos de potencia tanto anuales como por rangos (bins) se deben tener en cuenta todos los factores, coeficientes, eficiencias, para tener resultados más acordes a la realidad. También se puede concluir por las pruebas empíricas realizadas que el campus principal de la USFQ no es lugar ideal para instalar estos generadores eólicos. La razón principal es la baja velocidad del viento presente en el campus, por lo que no se tiene una velocidad de generación constante. Se logró realizar pruebas en otras locaciones (Ruta Viva, Ilaló) donde, al ser mayor el caudal existente de viento, se pudo dar una generación satisfactoria.

TRABAJOS FUTUROS

Las conexiones del puerto de carga deben realizarse de manera definitiva, tomando en cuenta las sugerencias realizadas en la sección de discusiones. Primero es necesario analizar la necesidad de implementar un puerto de carga para dispositivos que funcionen con sistema operativo iOS, esto puede realizarse mediante una encuesta de la cantidad de estudiantes que tiene uno de estos dispositivos u con cuanta frecuencia los cargan dentro de la universidad. Antes de realizar la conexión definitiva también considerase la necesidad de implementar otro puerto USB de carga rápida para poder cargar celulares que se encuentren complementa mente apagados.

El sistema de monitoreo funciona de manera correcta con el puerto de carga. A futuro podría implementarse al sistema monitoreo no solo para el consumo energético si no para la generación energética del sistema. Este planteamiento no se logró realizar debido a

limitaciones presupuestarias, sin embargo, la dificultad de implementación de esto es relativamente reducida.

En cuanto a los componentes contruidos en madera, se podría considerar en un futuro darles otro tratamiento superficial en vez del lacado, como puede ser el uso de un barniz lo cual es más resistente al agua y altas temperaturas.

A futuro se podría diseñar un eje más largo, con el fin de alcanzar a los vientos más rápidos, ya que la velocidad de flujo del aire aumenta con la altura. A pesar de que las mediciones experimentales realizadas en el campus de la USFQ mostraron los vientos más rápidos eran al nivel del suelo, un eje más largo puede servir para una futura aplicación en otra ubicación.

En cuanto a los mantenimientos, se puede realizar un tratamiento químico para la superficie de los anillos y evitar utilizar el uso de desoxidante. El tratamiento que se recomendaría es el pavonado para aumentar su resistencia a la corrosión y que no le afecte la lluvia. Con respecto a los materiales, se planea realizar el cambio de ciertos componentes como el rotor Savonius o el soporte de los brazos utilizando el Bambú o Balsa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Machado, J. (18 de Noviembre de 2021). *Quito: habitantes de siete sectores expuestos a altos niveles de ruido*. Obtenido de Primicias:
<https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/quito-ruido-contaminacion-auditiva-barrios/#:~:text=Tomando%20en%20cuenta%20las%20cinco,%2C%20con%2078%2C5%20decibeles.>
- Amestica, O., Melin, P., & Lagos, G. (2019). An Experimental Comparison of Arduino IDE Compatible Platforms for Digital Control and Data Acquisition. *Chilecon*, 2.
- Apple. (2021). *Manual de uso del iPhone*. Obtenido de Apple:
<https://support.apple.com/es-es/guide/iphone/iph8c1e31583/14.0/ios/14.0>
- Arduino. (2022). *Arduino Mega 2560 Rev3*. Obtenido de Arduino Store:
<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Arduino. (2022). *Arduino UNO*. Obtenido de Arduino: <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Argüeso, B. (10 de Julio de 2019). *La madera de balsa: sus propiedades y aplicaciones*. Obtenido de Maderea: <https://www.maderea.es/la-madera-de-balsa-sus-usos-y-aplicaciones/#:~:text=M%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%3A%202160%2D3200%20N%2Fmm2>
- BHR, OEM. (2022). *Cojinete de bloque de almohada de brida cuadrada, FY508M, F208, FY 40 TF, 208 FY40TF*. Obtenido de Alibaba:
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/chumaceras-FY508M-F208-FY-40-TF-1600284999521.html>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2019). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Cengel, Y. (2015). *Thermodynamics*. Boston: McGraw Hill.
- Coban Engineering. (2022). *SO Sistemas de tolerancia para los límites y ajustes*. Obtenido de Coban Engineering:
https://www.cobanengineering.com/Tolerancias/Sistema_de_la_Tolerancia.asp
- Collini Gruppe. (2018). *Cromado*. Obtenido de Collini:
<https://www.collini.eu/es/proceso/cromado/#:~:text=El%20cromado%20es%20un%20proceso,resistencia%20a%20los%20medios%20oxidantes.>

- Danish Wind Industry Association. (7 de Mayo de 2003). *Coeficiente de potencia*.
Obtenido de Danish Wind Industry Association : <http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/cp.htm#:~:text=El%20coeficiente%20de%20potencia&text=El%20coeficiente%20de%20potencia%20indica,t%C3%A9nicamente%20eficiente%20es%20un%20aerogenerador>.
- DBElectronics. (26 de Julio de 2018). *Intensidad del sonido en Decibelios*. Obtenido de DBElectronics: <https://www.dbelectronics.es/intensidad-del-sonido-en-decibelios/>
- Edimca. (2022). *Triplex*. Obtenido de Edimca: <https://edimca.com.ec/triplex.html>
- Efimarket. (25 de julio de 2017). *¿Cuánto tardan en degradarse los materiales?*
Obtenido de Efimarket : <https://www.efimarket.com/blog/cuanto-tardan-degradarse-los-materiales/#:~:text=Tiempo%20de%20degradaci%C3%B3n%20del%20vidrio%203A%20hasta%204000%20a%C3%B1os&text=Se%20puede%20reciclar%20totalmente%20para,de%20vidrio%20mediante%20vidrio%20reciclado>.
- Electronics-Tienda de Robótica. (2022). *Modulo Esp32 Wifi Bluetooth Arduino Electronics*. Obtenido de Mercadolibre: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516335047-modulo-esp32-wifi-bluetooth-arduino-electronics-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=e156ffbedd29-4229-bee5-3fcc4a74b2d6
- Escaleras Arizona. (2018). *4 riesgos del trabajo en altura que debes conocer y cómo prevenirlos*. Obtenido de Escaleras Arizona: <https://www.escalerasarizona.com/riesgos-del-trabajo-en-altura/>
- Espressif Systems. (2022). *ESP32 Series*. Obtenido de ESP32 Datasheet: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Friedman, K. (2002). Theory construction in design research. Criteria, approaches, and methods. *Design Research Library*, 3-5.
- Fundación Bosque Sagrado Dominicana. (2020). *¿Cuánto demora en degradarse...?*
Obtenido de Fundación Bosque Sagrado Dominicana: <https://fundacionbosquesagradosdominicana.org/cuanto-demora-en-degradarse/>

- Gana Energía. (11 de Noviembre de 2018). *¿Qué Consumo nos Supone Utilizar el Ordenador?* Obtenido de Gana Energía: https://ganaenergia.com/blog/que-consumo-nos-supone-utilizar-el-ordenador/#Potencia_ordenador_kW
- García, G. (1984). *Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica*. Chicago: IIT. Obtenido de IIT.
- González, H., Montoya, J., & Bedoya, J. (2007). RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN EN MUESTRAS DE BAMBÚ DE LA ESPECIE. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 1. Obtenido de <file:///C:/Users/clfna/Downloads/Dialnet-RESULTADOSDELENSAYOAFLEXIONENMUESTRASDEBAMBUDELAES-4805257.pdf>
- Gosh, A. (23 de Julio de 2021). *Raspberry Pi Pico vs ESP32*. Obtenido de The Customize Windows: <https://thecustomizewindows.com/2021/07/raspberry-pi-pico-vs-esp32/>
- Grupo Electrostore. (2022). *Raspberry Pi Pico Rp2020 133mhz Dual-core Arm Electrostore*. Obtenido de Mercadolibre: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517565668-raspberry-pi-pico-rp2020-133mhz-dual-core-arm-electrostore-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=ae70eb26-1dc8-4058-9432-737c702000e1
- Huertos Ecuador. (2022). *Bambú negro (BambusaLako)*. Obtenido de Huertos Ecuador: <https://huertosecuador.com/bambu-negro-bambusa-lako/16822>
- IEC. (2015). International Standar IEC 61400-13: Wind turbines- Part 13: Measurement of mechanical loads. *IEC*, 8-10.
- ISO. (2015). International Standard ISO 2394: General principles on reliability for structures. *ISO*, 9-19.
- Korpela, S. (2020). *Principles of Turbomachinery*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Koyo. (2022). *Tablas de dimensiones de Chumaceras*. Obtenido de Koyola: <https://koyola.com.pa/pdf/chumaceras/2.pdf>
- Leroy Merlin. (2022). *Laquear/Deslaquear*. Obtenido de Leroy Merlin: <https://www.leroymerlin.es/bricopedia/laquear-deslaquear>
- Lightning and Surge Protection (LSP). (2022). *BS EN IEC 62305 Norma de protección contra rayos*. Obtenido de Lightning and Surge Protection (LSP):

<https://www.lsp-international.com/es/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>

Maderame. (2022). *Madera de Bambú: Características y Uso*. Obtenido de Maderame:

<https://maderame.com/madera-bambu/#:~:text=Densidad%3A%20Aunque%20pueda%20parecerlo%20no,3%20al%2012%25%20de%20humedad>

Mouser Electronics. (2022). *Seed Studio Raspberry Pi Pico*. Obtenido de Mouser

Electronics: <https://www.mouser.ec/new/seed-studio/seed-raspberry-pi-pico/>

Nazza. (2022). *¿Te enseñamos todo sobre la Fibra de Vidrio Nazza, elige la correcta!*

Obtenido de Nazza: <https://www.nazza.es/content/14-productos-fibra-vidrio>

Neira, M. (2021). Diseño constructivo. *Universidad Católica de Colombia*, 1.

Ortiz, M. (2018). Caracterización de la densidad de madera de. *Escuela Agrícola*

Panamericana, 6. Obtenido de

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9eb5f84a-0b99-43c7-a0fa-9aa6d0e990bd/content>

Para-Rayos. (23 de Agosto de 2021). *¿Qué es una sobrecarga eléctrica y cómo*

evitarla? Obtenido de <https://www.para-rayos.com/sobrecarga-electrica/#:~:text=Causas%20de%20las%20sobrecargas%20el%C3%A9ctricas,%20tambi%C3%A9n%20por%20equipos%20defectuosos>.

Pintulac. (2021). *Fibra De Vidrio 375 X 10l X 1.2 A Dutran*. Obtenido de Pintulac:

<https://www.pintulac.com.ec/fibra-de-vidrio-375-x-10l-x-1-2-a-dutran.html>

Pintulac. (2021). *Masilla Poliester Pro9 Plus Con Catalizador De 1 Galon Wesco*.

Obtenido de Masilla Poliester Pro9 Plus Con Catalizador De 1 Galon Wesco:

<https://www.pintulac.com.ec/masilla-poliester-pro9-con-catalizador-galon-wesco.html>

Portillo, S. (26 de Enero de 2021). *Cuánto tiempo tarda en degradarse la madera*.

Obtenido de Ecología Verde: [https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tiempo-tarda-en-degradarse-la-madera-](https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tiempo-tarda-en-degradarse-la-madera-3234.html#:~:text=Se%20estima%20que%20una%20estaca,alcanzar%20hasta%20los%2015%20a%C3%B1os)

[3234.html#:~:text=Se%20estima%20que%20una%20estaca,alcanzar%20hasta%](https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tiempo-tarda-en-degradarse-la-madera-3234.html#:~:text=Se%20estima%20que%20una%20estaca,alcanzar%20hasta%20los%2015%20a%C3%B1os)

[20los%2015%20a%C3%B1os](https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tiempo-tarda-en-degradarse-la-madera-3234.html#:~:text=Se%20estima%20que%20una%20estaca,alcanzar%20hasta%20los%2015%20a%C3%B1os).

PRO & CAR. (2018). *Kit Resina Poliester + Fibra De Vidrio*. Obtenido de PRO&CAR:

<http://www.proandcar.com/es/acabados/613-kit-resina-poliester-fibra-vidrio.html>

- Raspberry Pi. (2022). *Raspberry Pi Pico W Datasheet- An RP2040-based microcontroller board with wireless*. Obtenido de Datasheets- Raspberry Pi: <https://datasheets.raspberrypi.com/picow/pico-w-datasheet.pdf>
- Sanusi, A., Soeparman, S., Wahyudi, S., & Yuliati, L. (2016). Experimental study of combined blade savonius wind turbine. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, 2.
- Taborda, J., Cañas, A., & Trisancho, J. (2016). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. *Universidad Nacional de Colombia*, 1. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/496/49655539004/html/>
- Tech Explorations . (2022). *The ESP32 Compared To The Arduino*. Obtenido de Tech Explorations: <https://techexplorations.com/guides/esp32/begin/esp32ard/>
- TECmikro. (2022). *UNO R3 PARA ARDUINO*. Obtenido de TECmikro: https://tecmikro.com/tarjetas-programables/618-1360-uno-r3-para-arduino.html#/307-cable-sin_cable_usb
- UNE-EN. (2019). Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. *UNE Normalización Española*.
- Universidad Mar de Plata. (2017). *Ajustes y Tolerancias*. Obtenido de GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>
- Universidad Politécnica de Valencia . (2012). *Energía eléctrica: efectos sobre el organismo*. Obtenido de Servicio Integrado de Prevención y Salud Laboral: https://www.sprl.upv.es/IOP_ELEC_02.htm#:~:text=QU%C3%89%20ES%20EL%20RIESGO%20DE,a%20trav%C3%A9s%20del%20cuerpo%20humano%22
- Valdés, M., Pérez, M., & Razo, J. (2022). Aerogenerador de eje vertical para aplicaciones In-situ. *Instituto Tecnológico Superior de Irapuato*, 119-129.
- Vanek , F. (2008). *Energy Systems Engineering-Evaluation & Implementation*. Nueva York: McGraw Hill.
- Wenehenubun, F., Saputra, A., & Hadi, S. (2015). *An Experimental Study on the Performance of Savonius Wind Turbines Related With The Number Of Blades*. Obtenido de Energy Procedia: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215005652>

Wilmer Torres. (04 de 06 de 2021). *Solo cinco de las 21 termoeléctricas del país operan a toda capacidad*. Obtenido de PRIMICIAS:

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/produccion-electricidad-recuperacion-termoelectricas-potencia/>

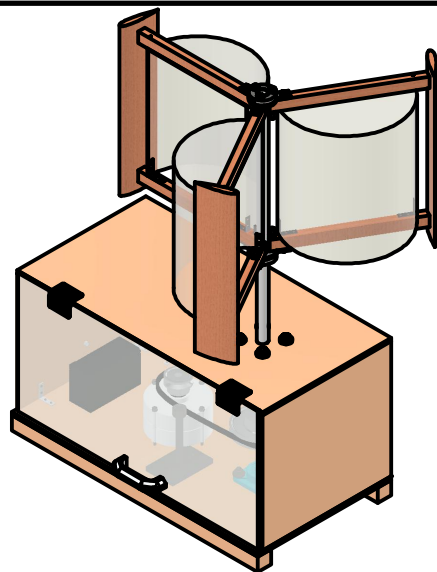
Ya-Gu. (2022). *Vendo Troncos De Madera De Balsa || Se Venden Por Unidades*.

Obtenido de Mercado libre: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518929124-vendo-troncos-de-madera-de-balsa-se-venden-por-unidades-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=09f61319-a95f-4dd7-97c2-b6ce261fe4d0

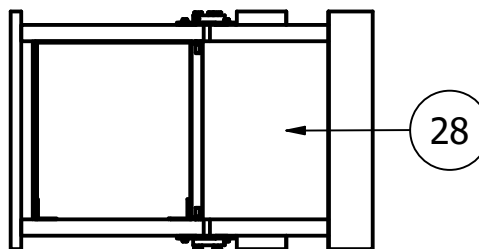
Zona del Motor. (2021). *Alternador* . Obtenido de Zona del Motor:

<https://zonadelmotor.com/alternador/>

ANEXO A: PLANOS Y DIBUJOS INGENIERILES



(1 : 16)

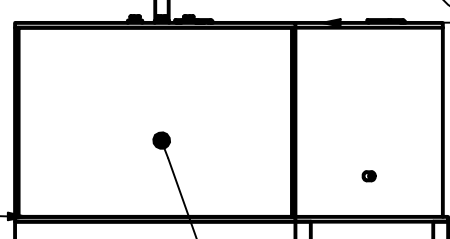


28

10

1

2



3

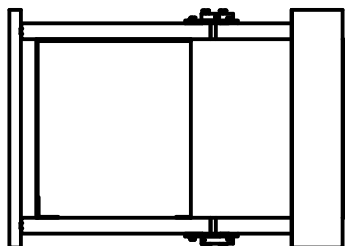
9

18

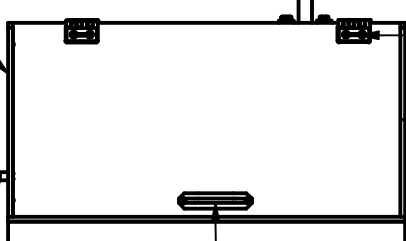
19

A (1 : 7)

A



8



24

16

11

17

23

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	CÓDIGO	PARTE
1	1	001	Placa Base Superior
2	1	002	Placa Base Inferior
3	1	003	Pared Posterior
8	1	008	Pared Lateral Izquierda
9	2	009	Soporte Caja
10	1	010	Eje
11	1	011	Parad Lateral Derecha
16	1	016	Acrílico
17	1	017	Acople para cables
18	16	018	Ángulos de metal
19	64	019	Tornillos 2.9 x 6.5
23	1	023	Manija
24	2	024	Bisagra
28	1	028	Turbina

	Fecha	Nombre
Dibujado	12/13/2022	Julián Naranjo
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño

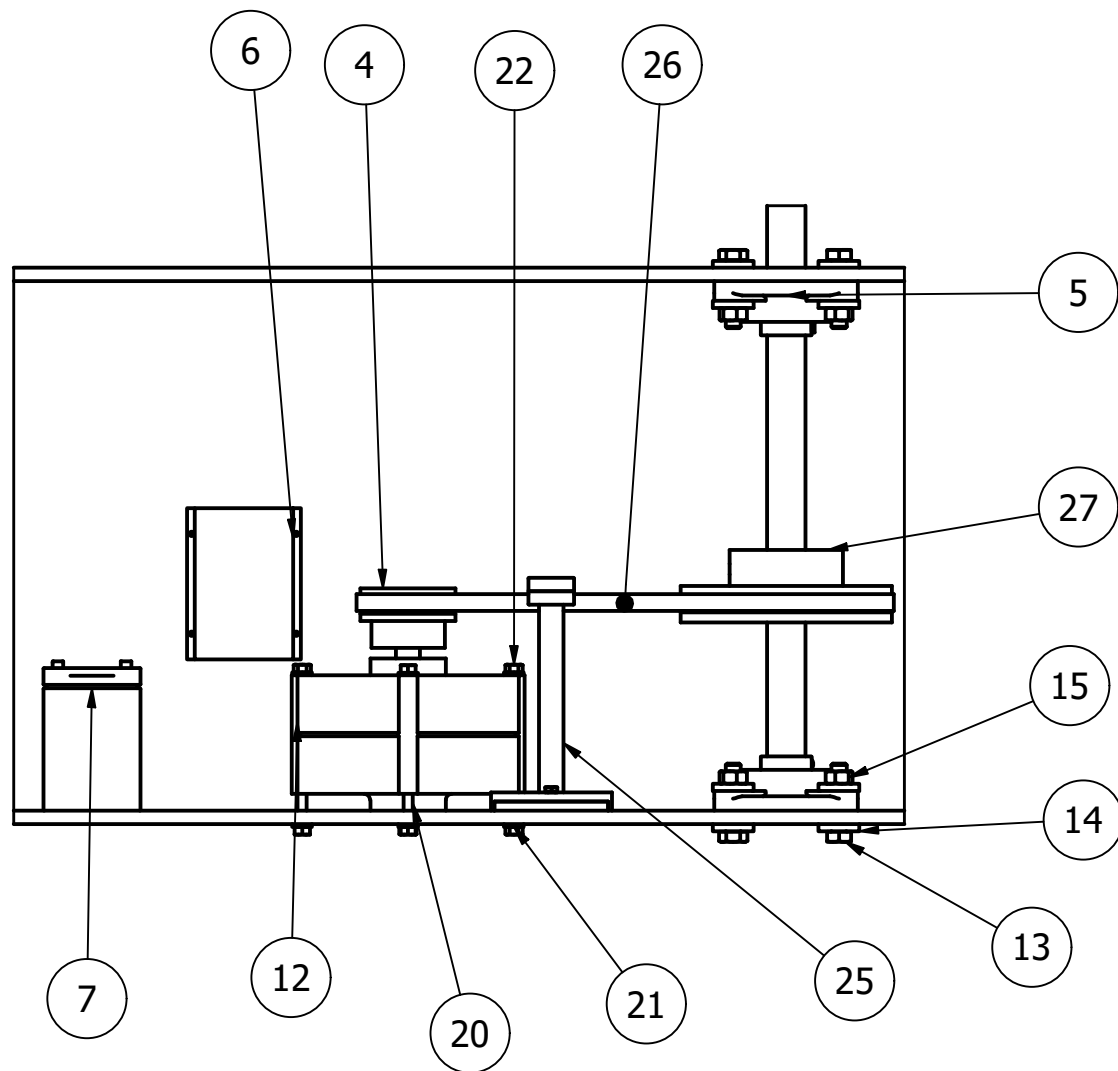


Generador Eólico de Eje Vertical

Escala
1 : 14

Código
TT-GE-PC001

Hoja
1/24



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	CÓDIGO	PARTE
4	1	004	Polea 2.5in
5	2	005	Chumacera UCF 205-16
6	1	006	Regulador de Carga
7	1	007	Bateria 12V
12	1	012	Alternador
13	8	013	Perno M10 x 1.5 x 45
14	16	014	Arandela - 12, CW
15	8	015	Tuerca M10 x 1.5
20	4	020	Perno M6 x 110
21	8	021	Arandela 6 N
22	8	022	Tuerca M6 x 1
25	1	025	Tensor
26	1	026	Banda
27	1	027	Polea 5.5 in

	Fecha	Nombre
Dibujado	12/14/2022	Julián Naranjo
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño

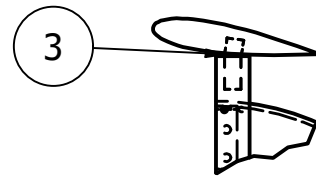
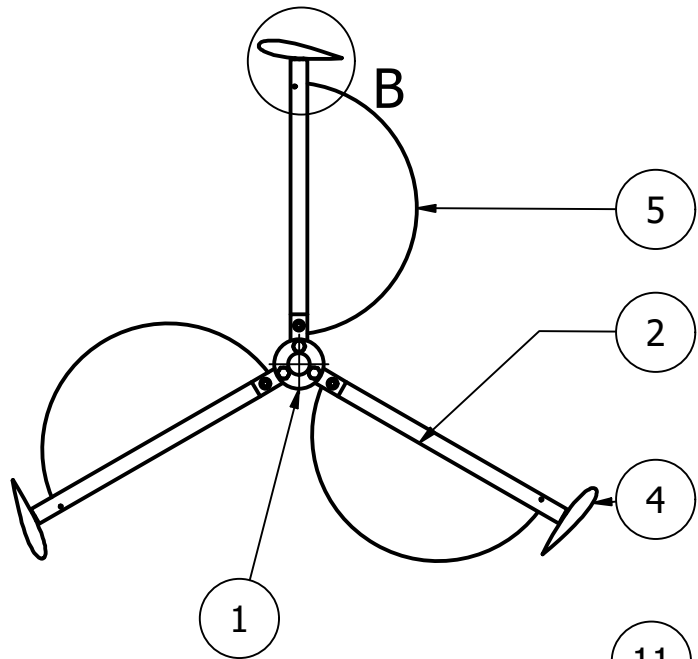


Componentes Eléctricos y Mecánicos

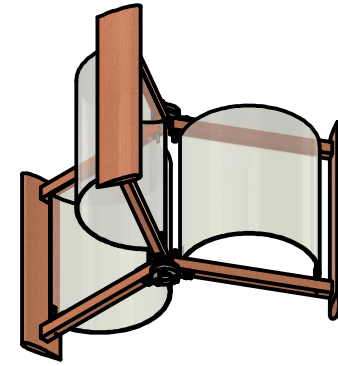
Escala
1 : 5

Código
TT-GE-PC002

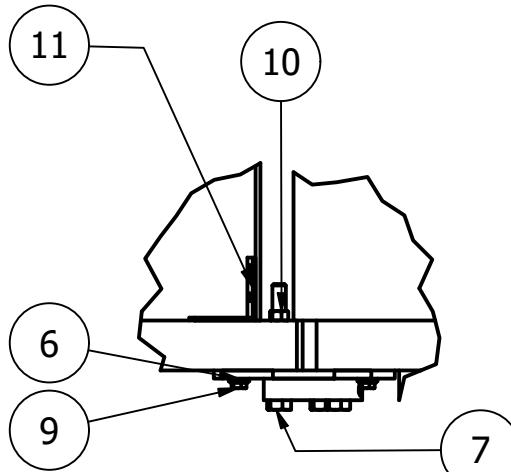
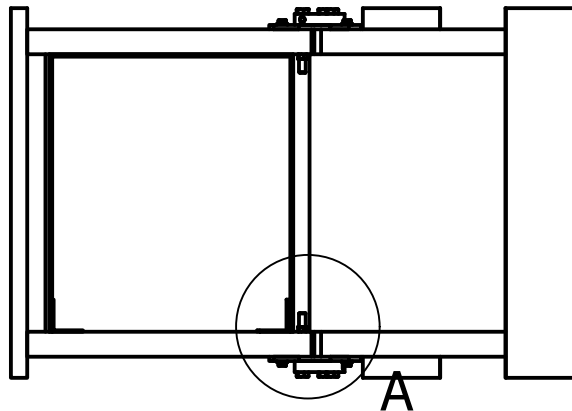
Hoja
2/24



B (0.22 : 1)



(1 : 16)



A (0.22 : 1)

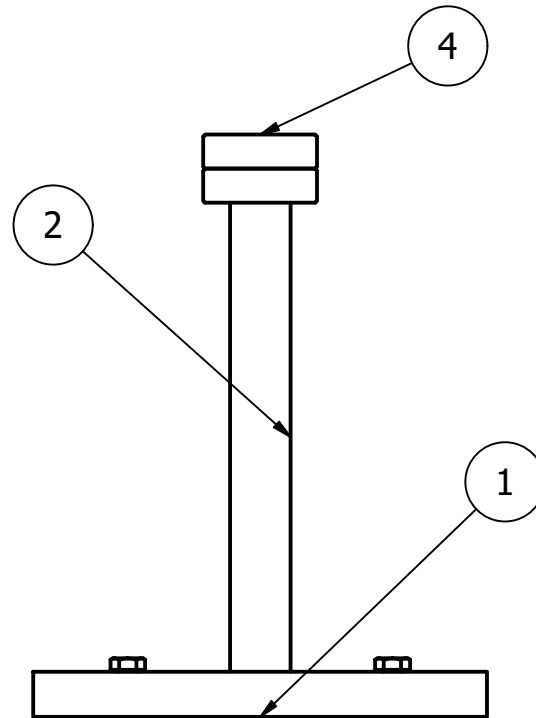
LISTA DE PARTES

ITEM	CANTIDAD	CÓDIGO	PARTE
1	2	029	Anillo
2	6	030	Brazo
3	6	031	Acople
4	3	032	Rotor H
5	3	033	Savonius
6	2	034	Soporte Brazo
7	6	035	Perno M8 x 1.25 x 70
8	6	036	Arandela
9	6	037	Tornillo
10	6	038	Tuerca M8 x 1
11	6	039	Ángulo de Metal

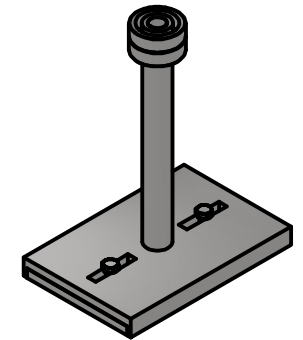
	Fecha	Nombre
Dibujado	12/13/2022	Julián Naranjo
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño



Turbina		Escala 1 : 16
Código TT-GE-PC003		Hoja 3/24

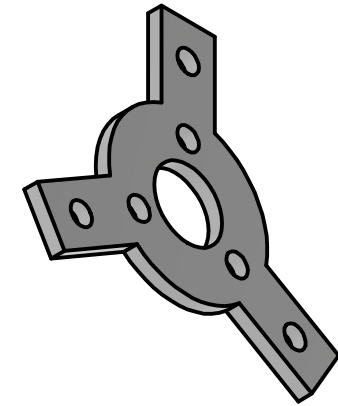
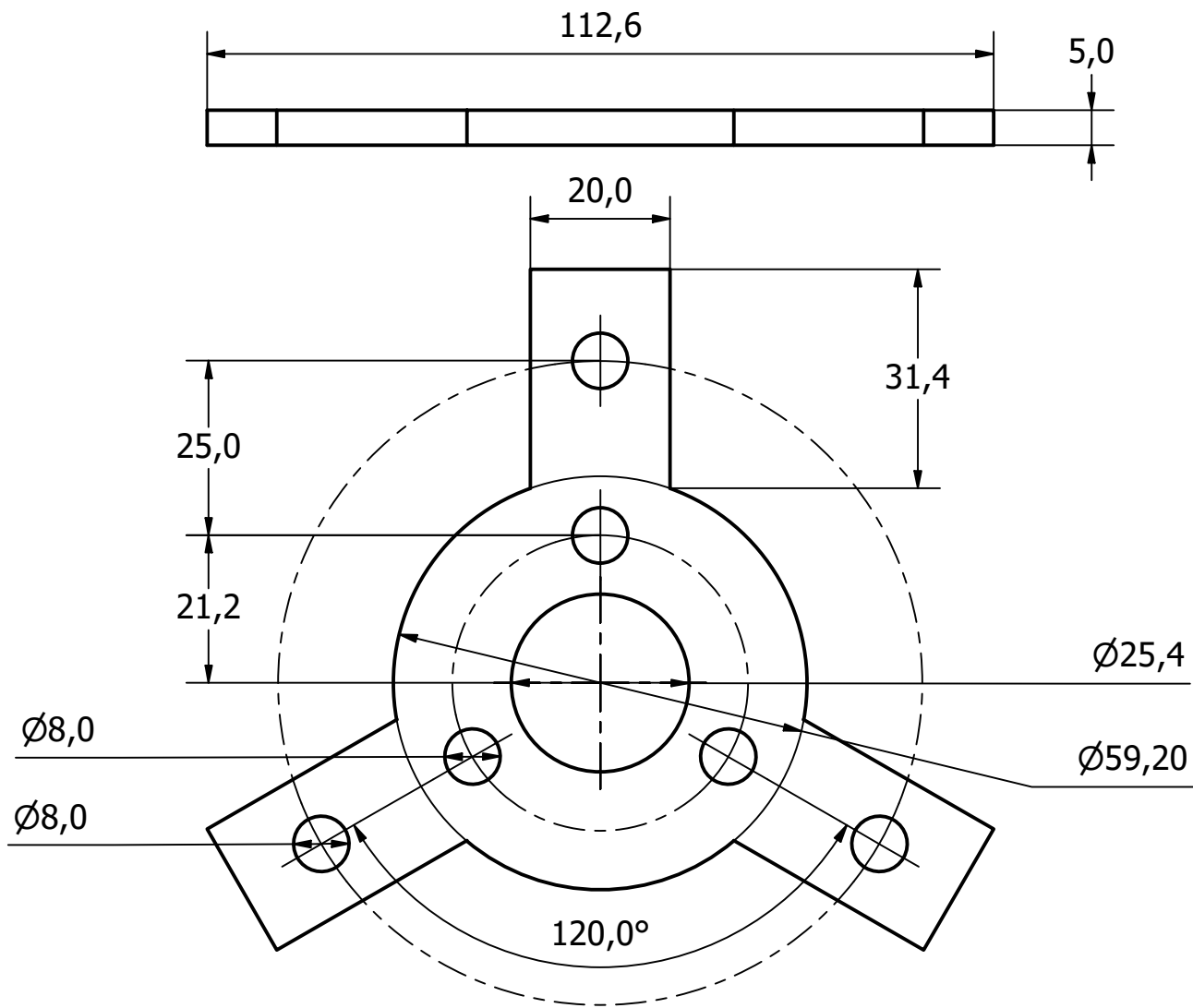


(1 : 4)



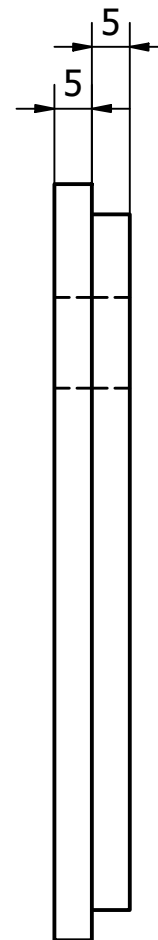
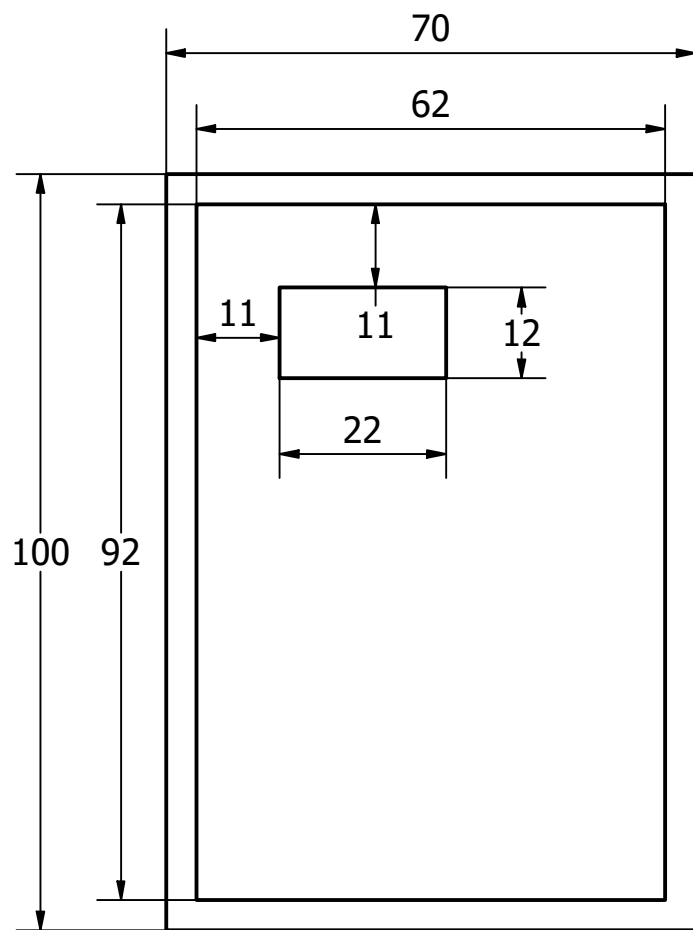
Listado de partes		
ÍTEM	CANTIDAD	NÚMERO DE PARTE
1	1	Base del tensor
2	1	Eje del tensor
3	1	Guia del tensor
4	2	BS 3469 - 02 - 10 x 30 x 9
5	2	AS 1110 - M5 x 10

Tolerancia		Acero A36		Unidades mm
		Tensor		Escala 1 : 2
	Fecha	Nombre		
Dibujado	12/13/2022	Juan Fernando Salazar		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PC004	Trat. Superficial Templado en aceite	Hoja 4/24

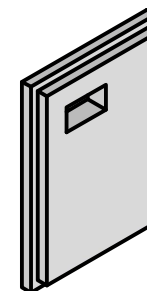



(1 : 2)

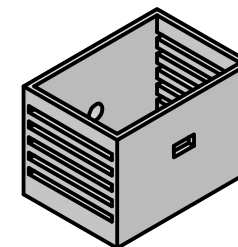
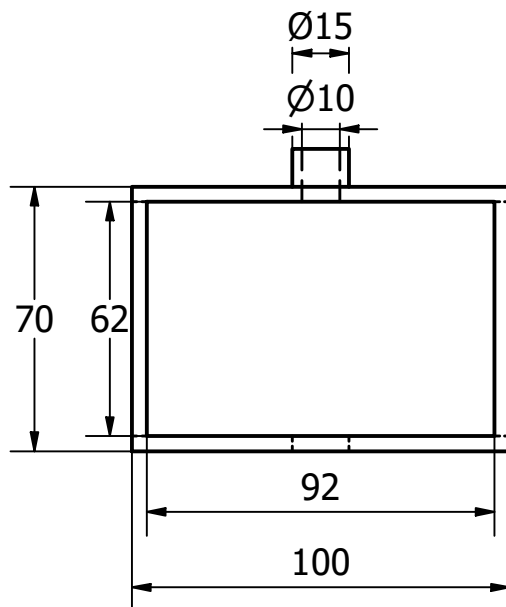
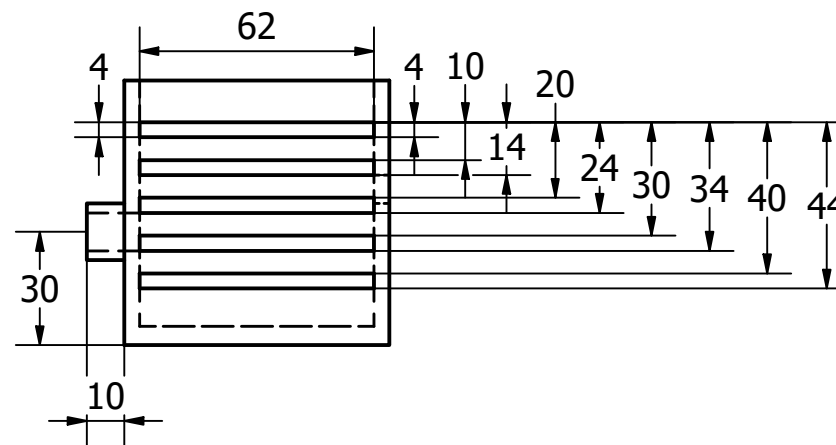
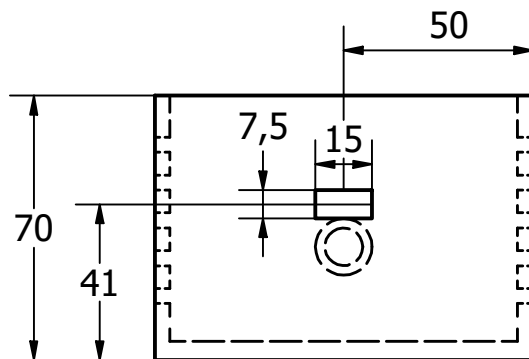
Tolerancia ±0.1mm ±0.1°		Plástico PLA	Unidades mm °
Dibujado	12/12/2022	Julián Naranjo	Escala 1 : 1
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán	
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño	
		Código TT-GE-PP001	Hoja 5/24




(1 : 3)

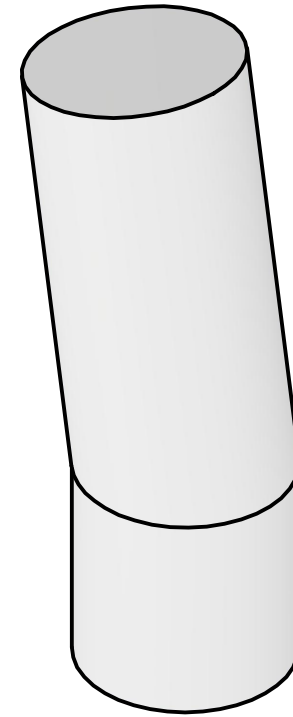
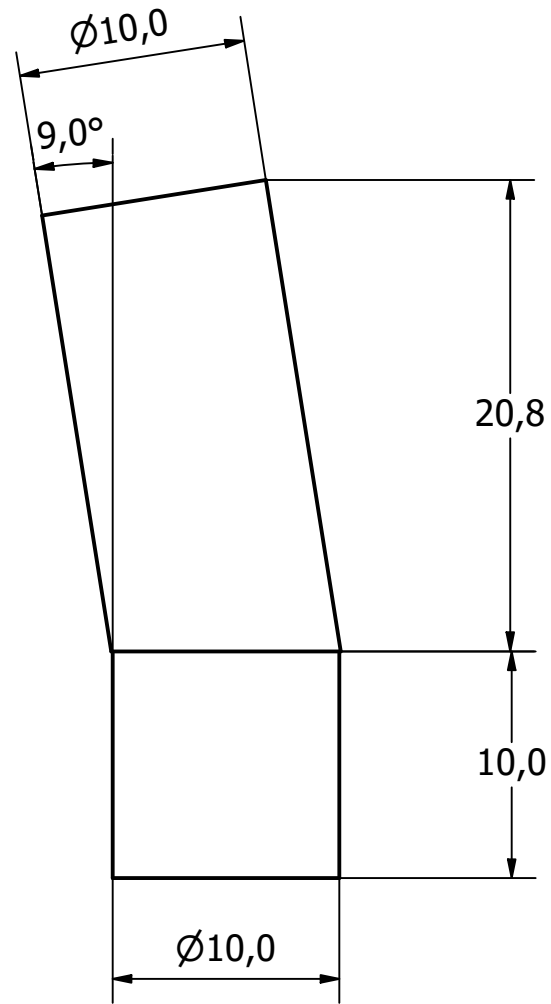



Tolerancia ± 0.1 mm			Plástico PLA	Unidades mm
	Fecha	Nombre	Tapa caja electrónica	Escala 1 : 1
Dibujado	10/23/2022	Juan Fernando Salazar		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
			Código TT-GE-PP002	Hoja 6/24

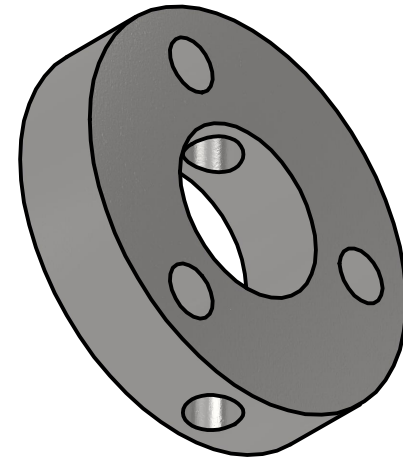
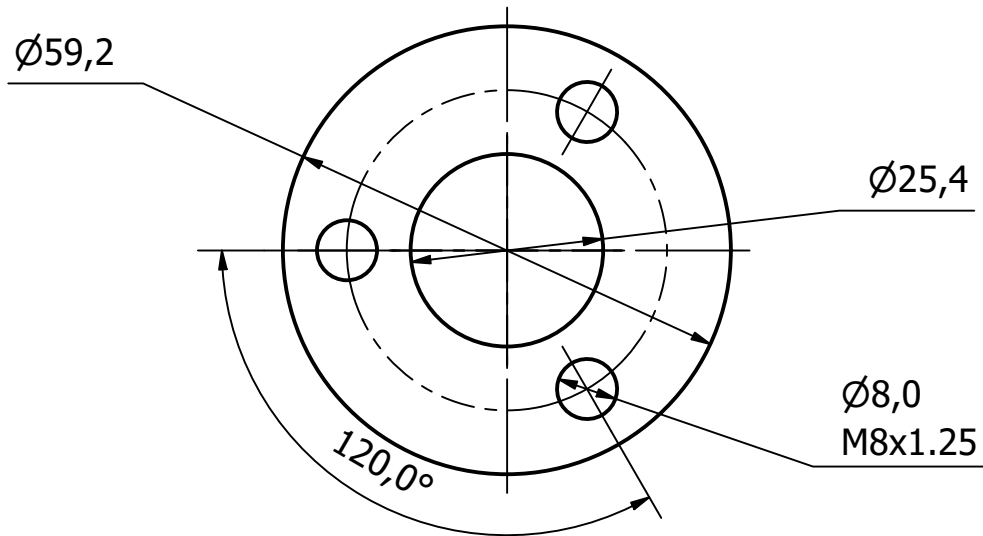
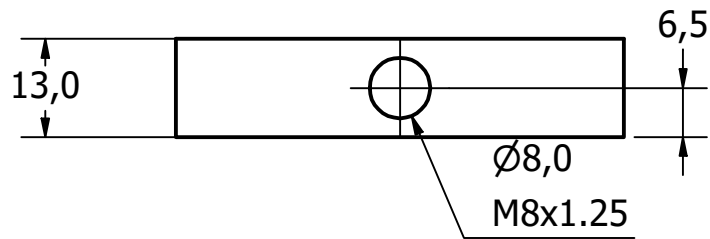



(1 : 4)

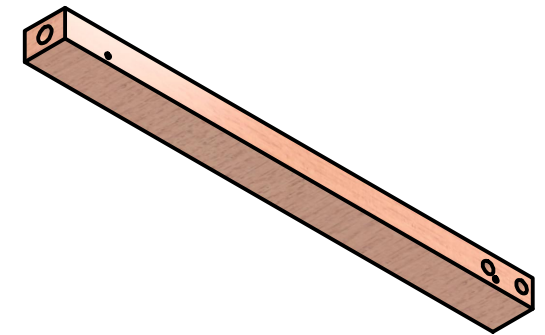
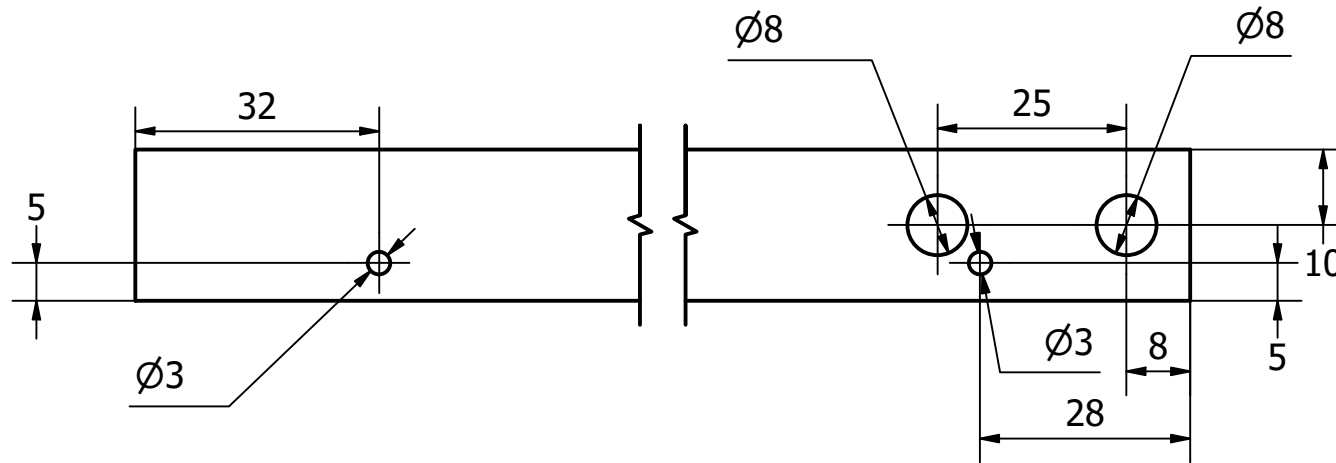
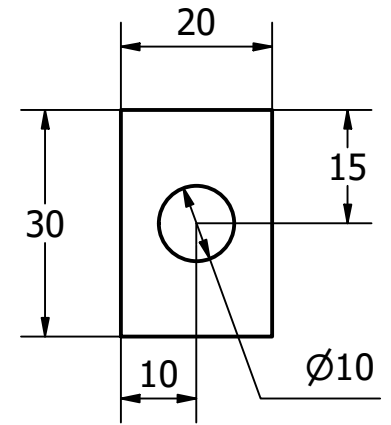
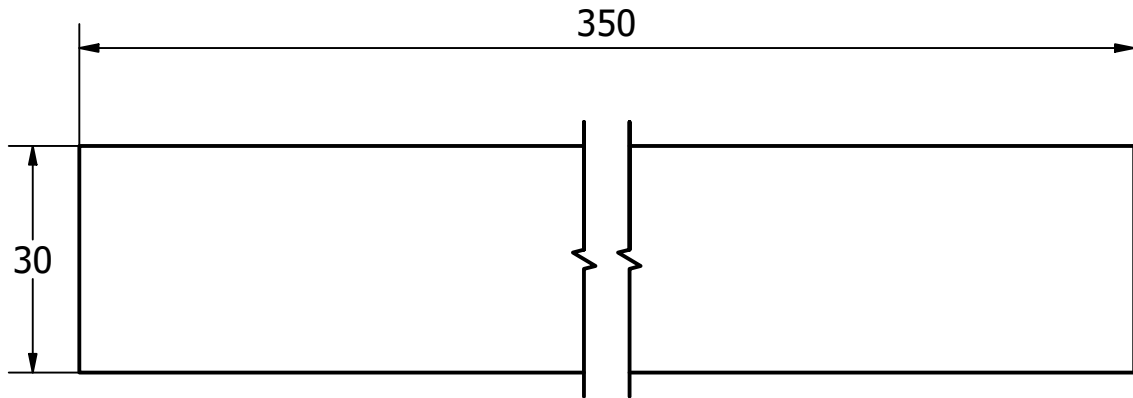
Tolerancia ± 0.1 mm		Plástico PLA	Unidades mm												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fecha</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dibujado</td> <td>10/23/2022</td> <td>Juan Fernando Salazar</td> </tr> <tr> <td>Revisado</td> <td>10/23/2022</td> <td>Martín Farfán</td> </tr> <tr> <td>Aprobado</td> <td>10/23/2022</td> <td>Juan Sebastián Proaño</td> </tr> </tbody> </table>			Fecha	Nombre	Dibujado	10/23/2022	Juan Fernando Salazar	Revisado	10/23/2022	Martín Farfán	Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño	Caja electrónica	Escala 1 : 2
	Fecha	Nombre													
Dibujado	10/23/2022	Juan Fernando Salazar													
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán													
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño													
		Código TT-GE-PP003	Hoja 7/24												



Tolerancia ±0.1mm ±0.1°		Plástico PLA	Unidades mm °
	Fecha	Nombre	Escala 3 : 1
Dibujado	12/13/2022	Julián Naranjo	
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán	
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño	
		Código TT-GE-PP004	Hoja 8/24

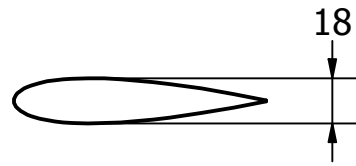


Tolerancia		Acero	Unidades	
±0.1mm ±0.1°				mm °
	Fecha	Anillo	Escala	
Dibujado	12/13/2022			1 : 1
Revisado	10/23/2022			
Aprobado	10/23/2022			
Juan Sebastián Proaño				
		Código	Hoja	
		TT-GE-PP005	9/24	

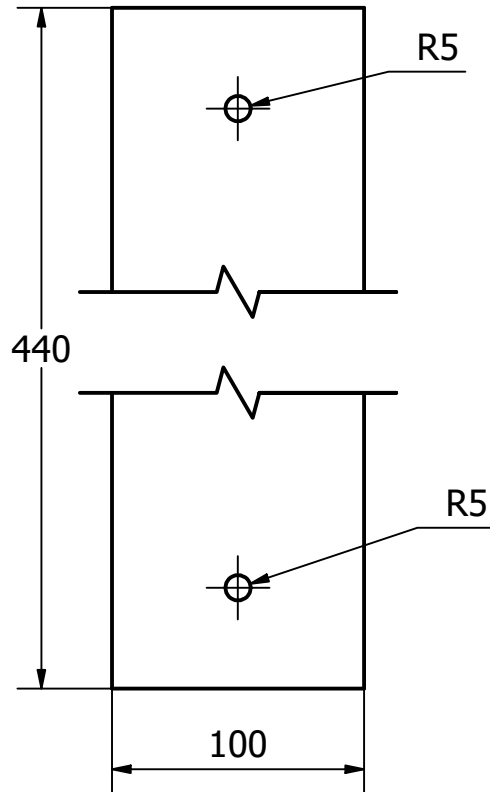



(1 : 4)

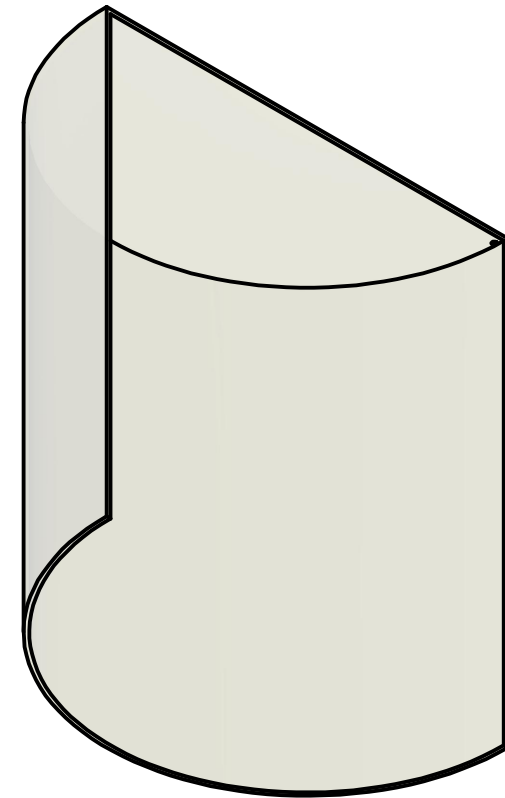
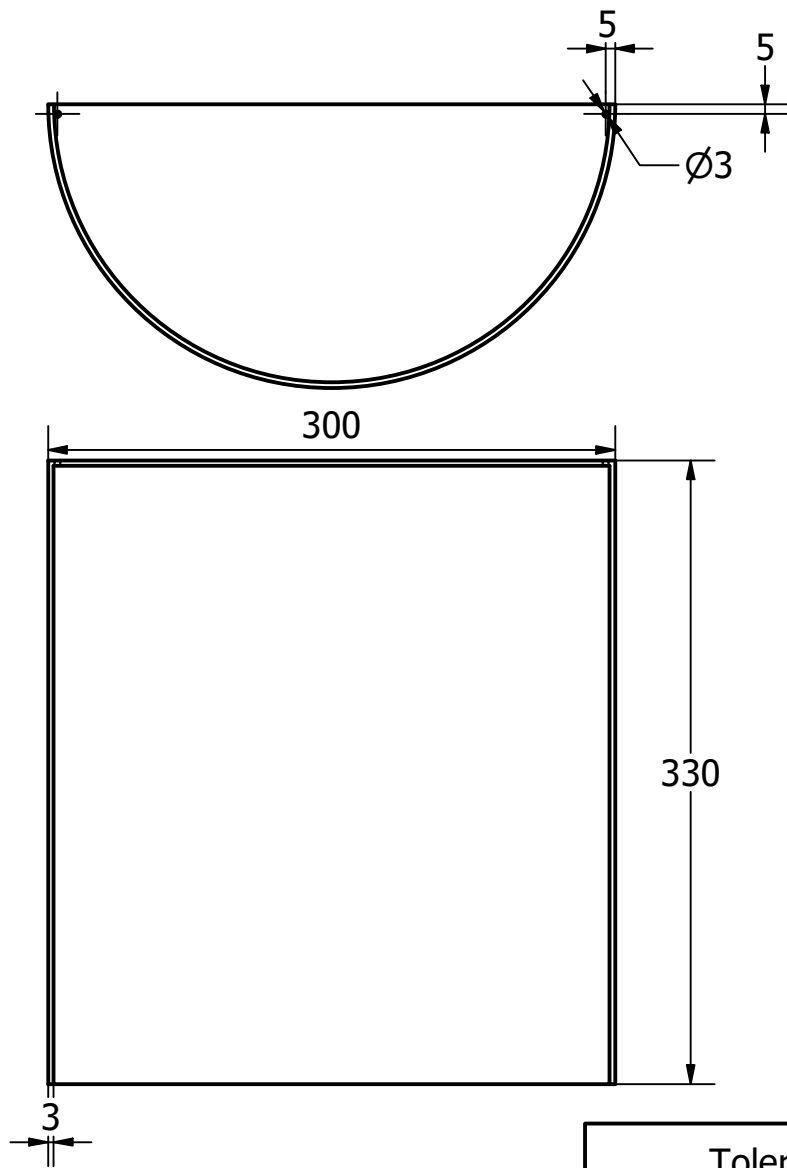
Tolerancia ± 2mm		Madera de Pino		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 1
Dibujado	12/13/2022	Julián Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP006	Trat. Superficial Lacado	Hoja 10/24




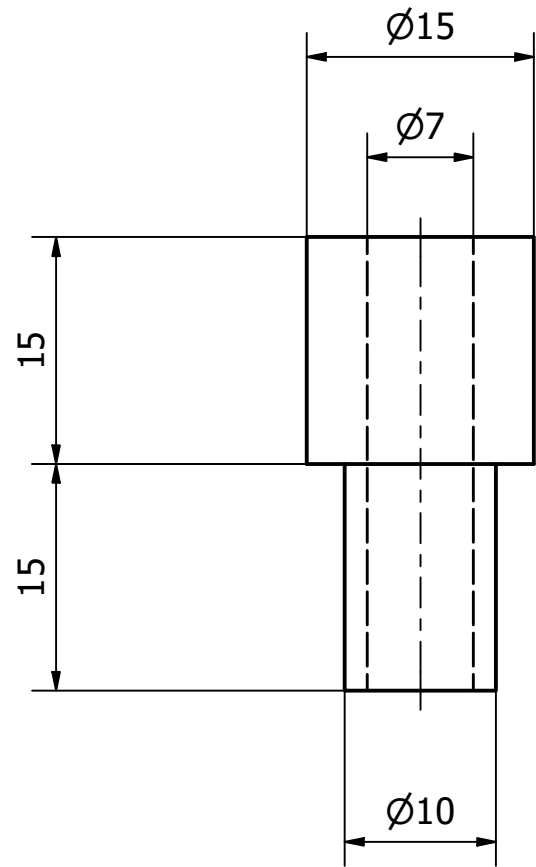
Perfil Alar NACA0018



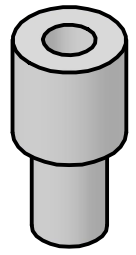
Tolerancia ±2mm		Madera de Pino		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 3
Dibujado	12/13/2022	Julián Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP007	Trat. Superficial Lacado	Hoja 11/24



Tolerancia ±1mm		Plástico	Unidades mm	
	Fecha	Savonius	Escala 1 : 4	
Dibujado	12/13/2022			Julián Naranjo
Revisado	10/23/2022			Martín Farfán
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP008	Hoja 12/24	

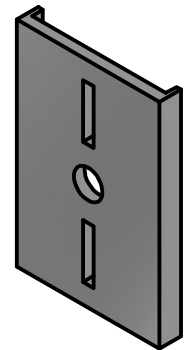
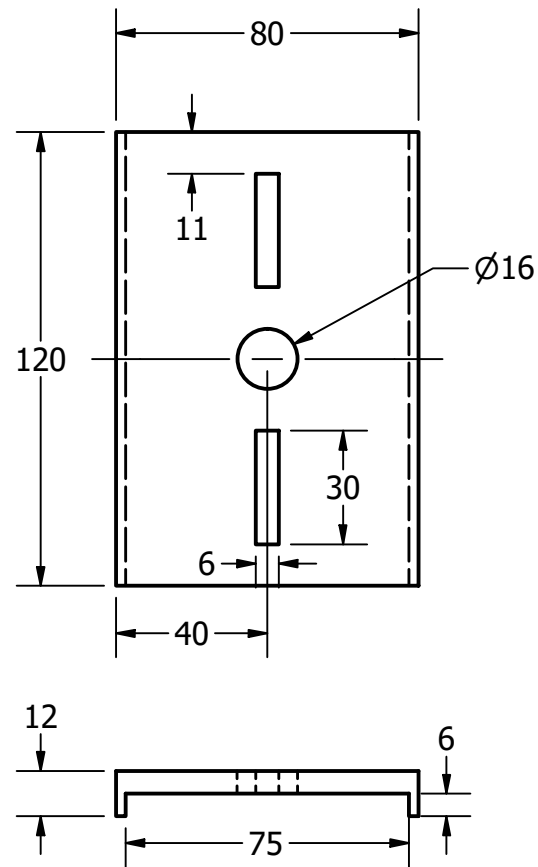


(1 : 1)




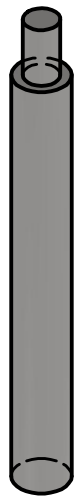
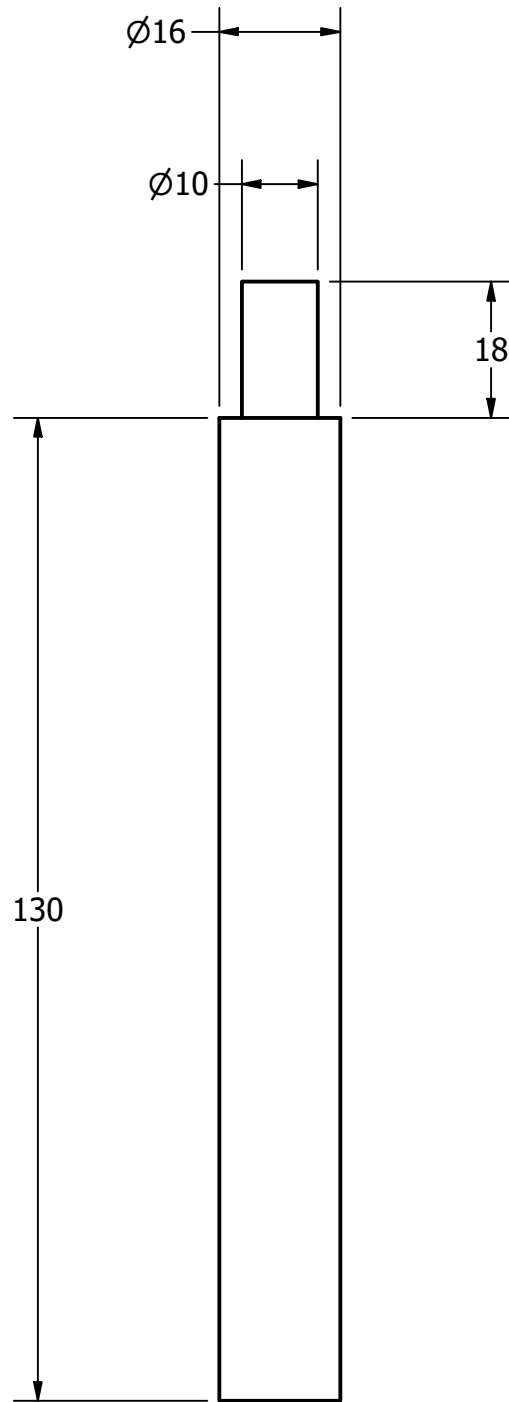
Tolerancia ± 0.1 mm		Plástico PLA	Unidades mm
Dibujado	Fecha 12/10/2022	Acople para cables	Escala 2:1
Revisado	Nombre Julián Naranjo		
Aprobado	Martín Farfán		
Aprobado 12/12/2022 Juan Sebastián Proaño		Código TT-GE-PP009	Hoja 13/24






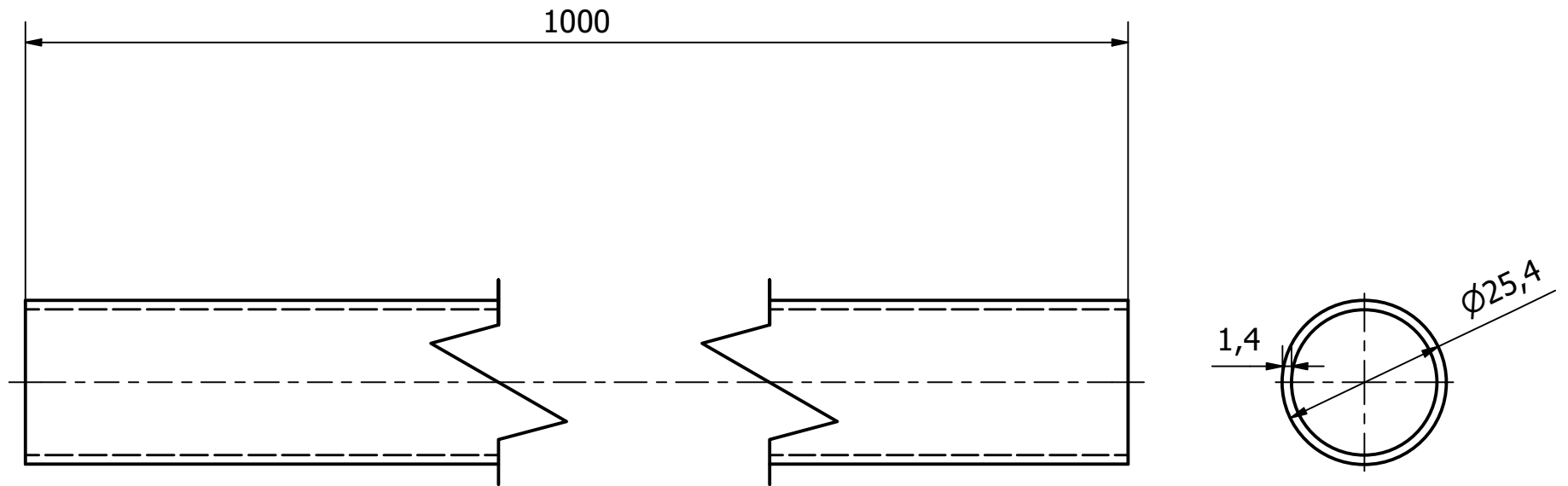
1:3

Tolerancia ± 1 mm		Acero A36		Unidades mm
		Base del tensor		Escala 1:2
	Fecha	Nombre		
Dibujado	12/11/2022	Luis Naranjo		
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán		
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP010	Trat. Superficial Templado en aceite	Hoja 14/24




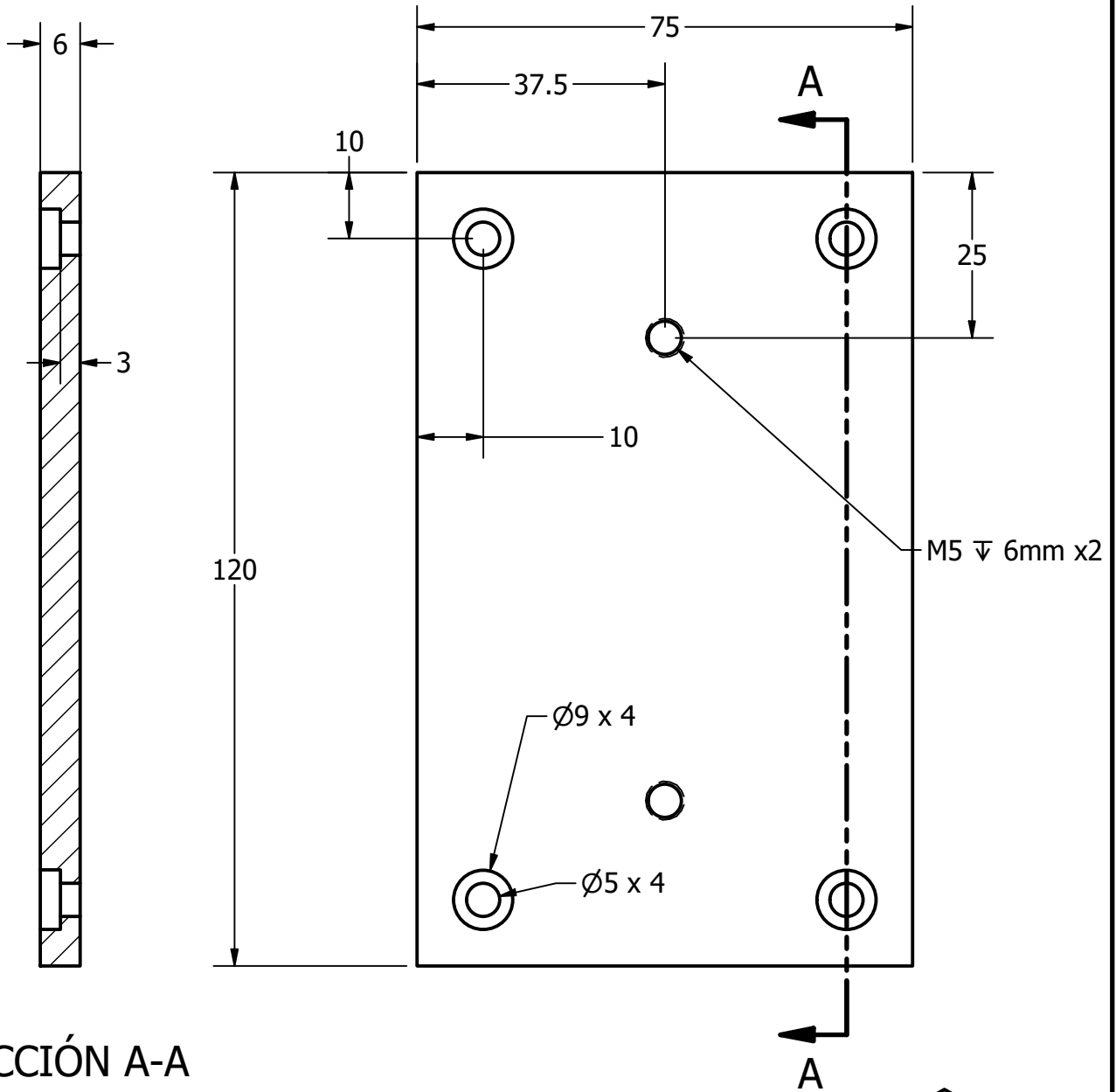
1:2

Tolerancia $\pm 1 \text{ mm}$		Acero A36		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1:2
Dibujado	12/11/2022	Luis Naranjo		
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán		
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP011	Trat. Superficial Templado en aceite	Hoja 15/24

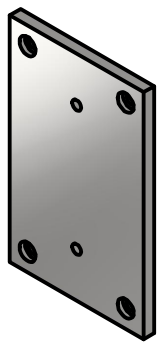


Nota: Aluminio cromado 1 pulg nominal

Tolerancia ± 2 mm		Aluminio 6061 T6		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 1
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP012	Trat. Superficial Cromado	Hoja 16/24



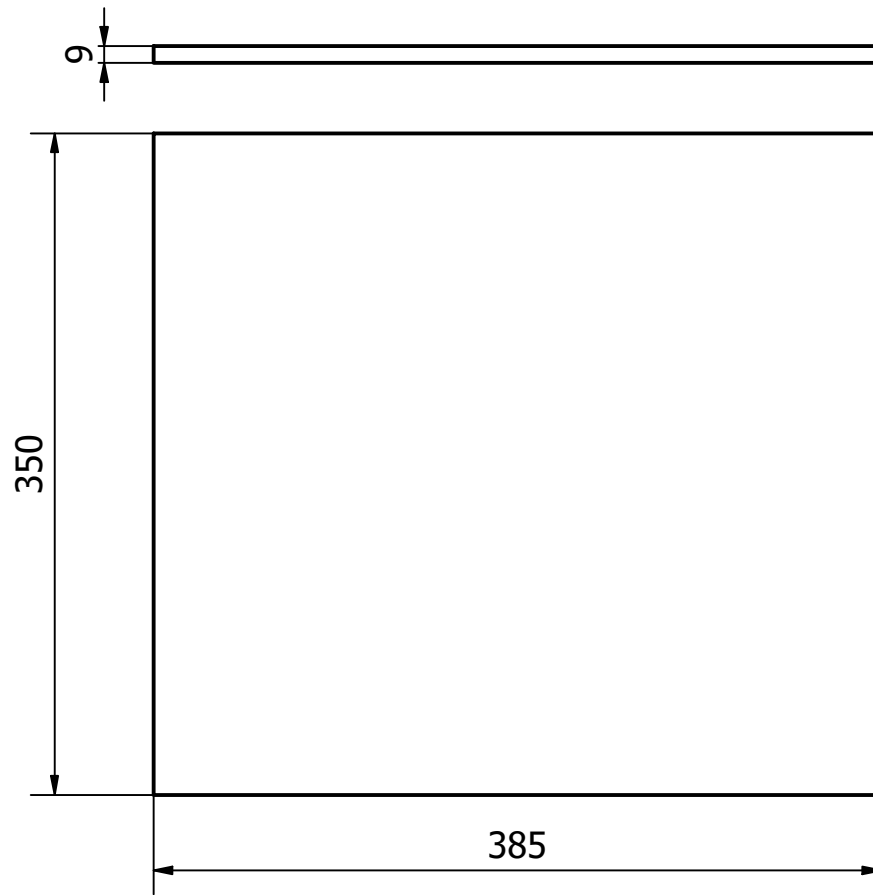
SECCIÓN A-A
1:1



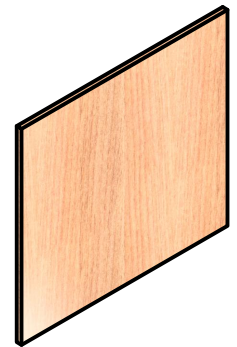
1:3


Tolerancia ± 1 mm		Acero A36		Unidades mm
Fecha		Nombre		Escala 1:1
Dibujado	12/11/2022	Luis Naranjo		
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán		
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño		
Código TT-GE-PP013		Trat. Superficial Templado en aceite		Hoja 17/24

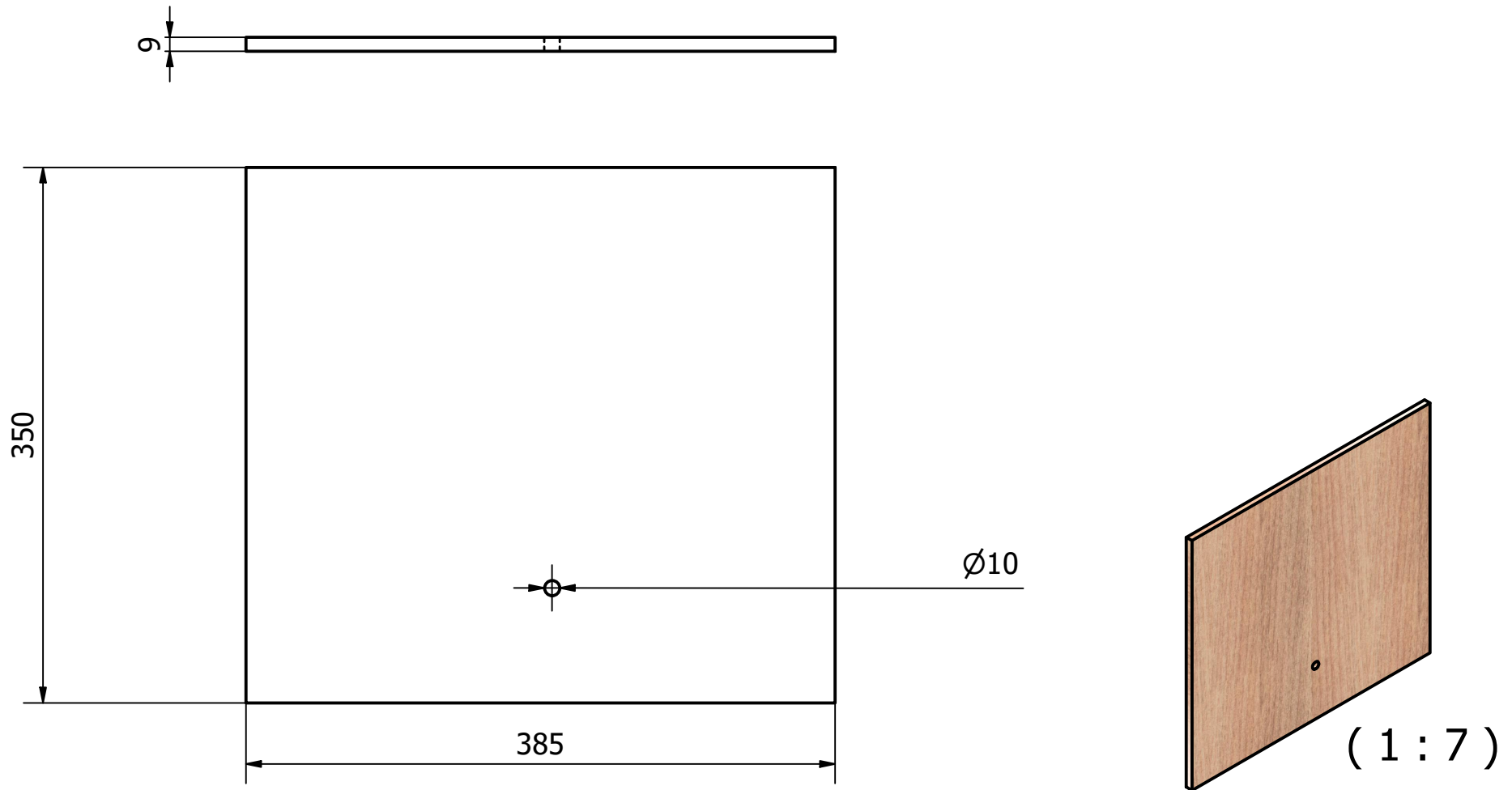





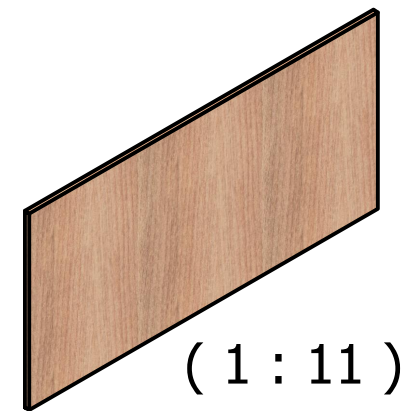
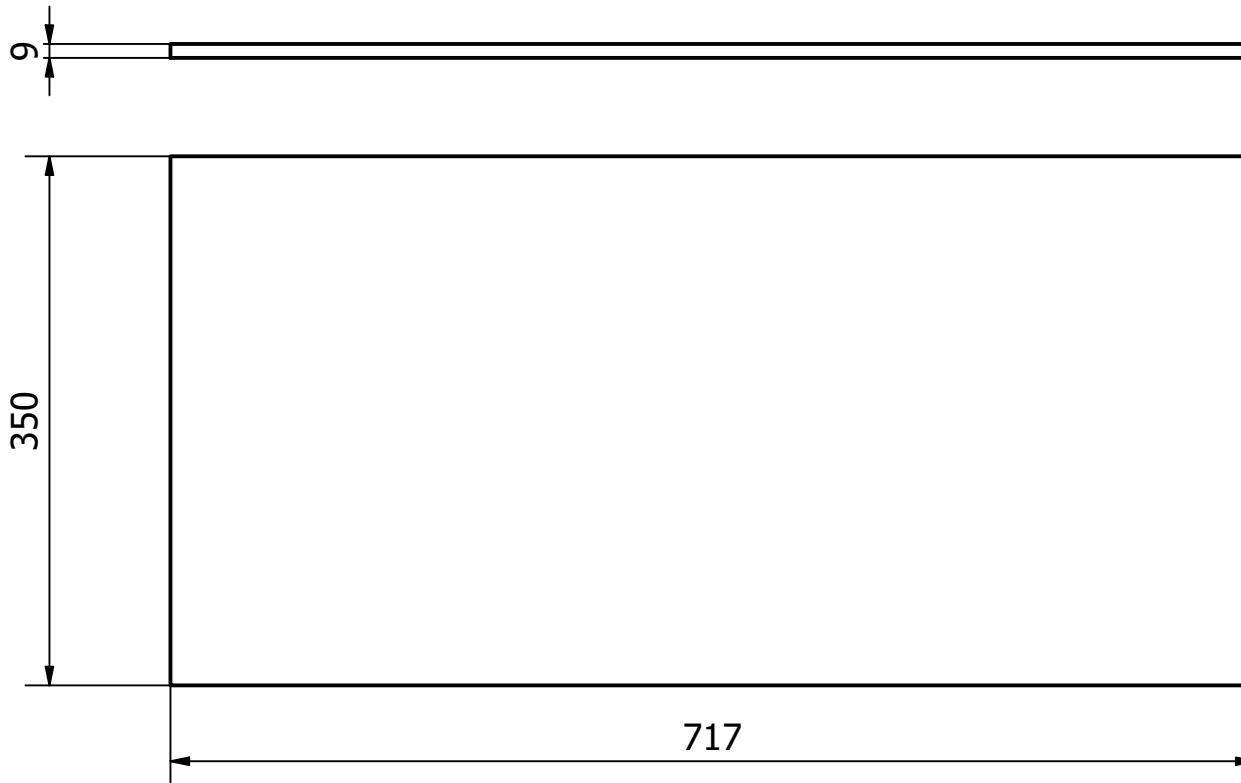
(1:10)




Tolerancia ± 3 mm			Madera Tríplex	Unidades mm
	Fecha	Nombre	Pared lateral derecha	Escala 1 : 4
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán		
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño		
			Código TT-GE-PP014	Trat. Superficial Lacado
				Hoja 18/24

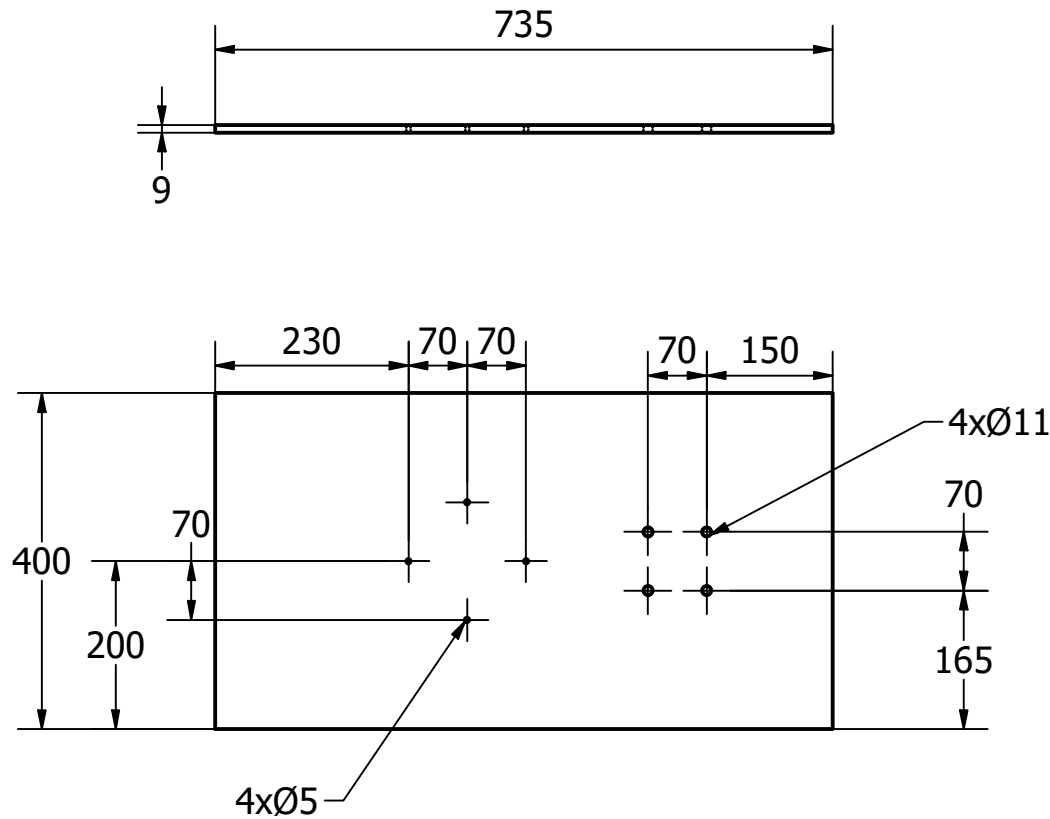


Tolerancia $\pm 3 \text{ mm}$		Madera Tríplex		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 4
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		Hoja 19/24
		Código TT-GE-PP015	Trat. Superficial Lacado	

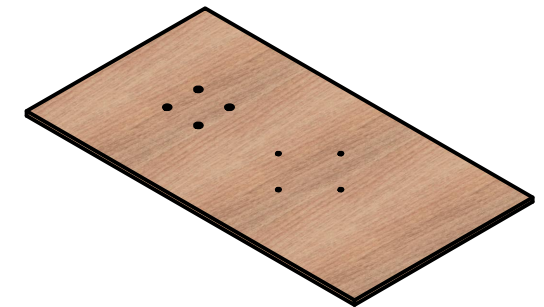



(1 : 11)

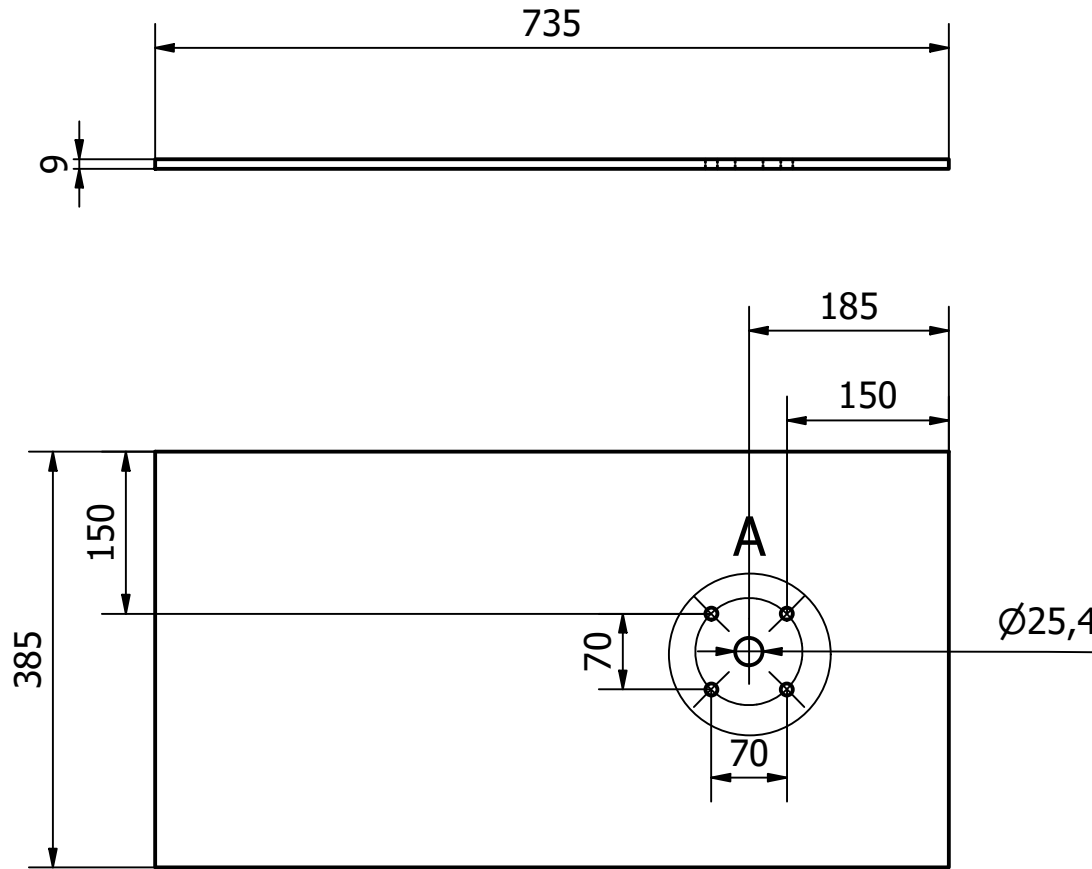
Tolerancia ± 3 mm			Madera Tríplex	Unidades mm
	Fecha	Nombre	Pared lateral posterior	Escala 1 : 5
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
			Código TT-GE-PP016	Trat. Superficial Lacado
				Hoja 20/24



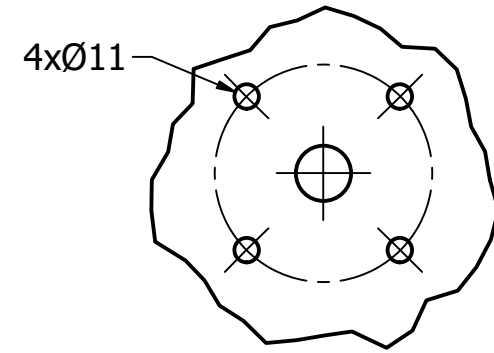
(1 : 12)



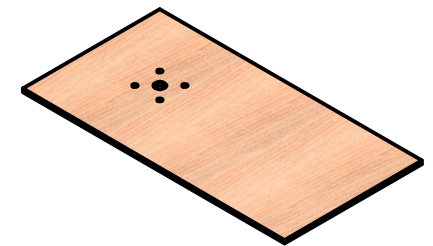
Tolerancia ± 3 mm		Madera Tríplex	Unidades mm												
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Fecha</td> <td>Nombre</td> </tr> <tr> <td>Dibujado</td> <td>12/10/2022</td> <td>Luis Naranjo</td> </tr> <tr> <td>Revisado</td> <td>12/12/2022</td> <td>Martín Farfán</td> </tr> <tr> <td>Aprobado</td> <td>12/12/2022</td> <td>Juan Sebastián Proaño</td> </tr> </table>			Fecha	Nombre	Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo	Revisado	12/12/2022	Martín Farfán	Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño	Placa inferior	Escala 1 : 9
	Fecha	Nombre													
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo													
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán													
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño													
		Código TT-GE-PP017	Trat. Superficial Lacado												
			Hoja 21/24												



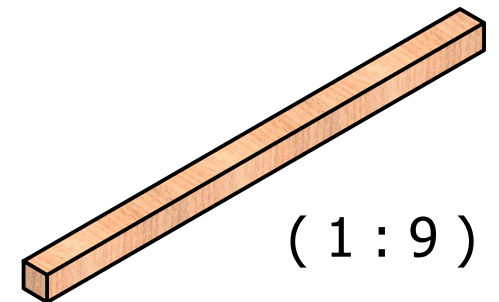
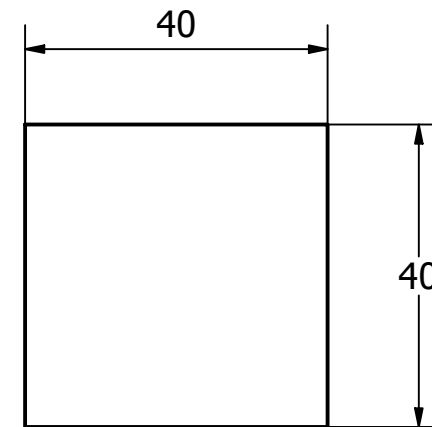
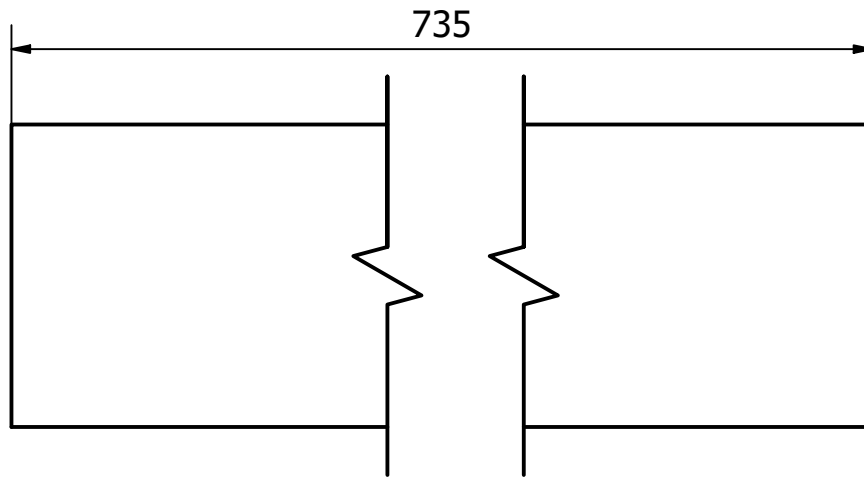
A (0.29 : 1)



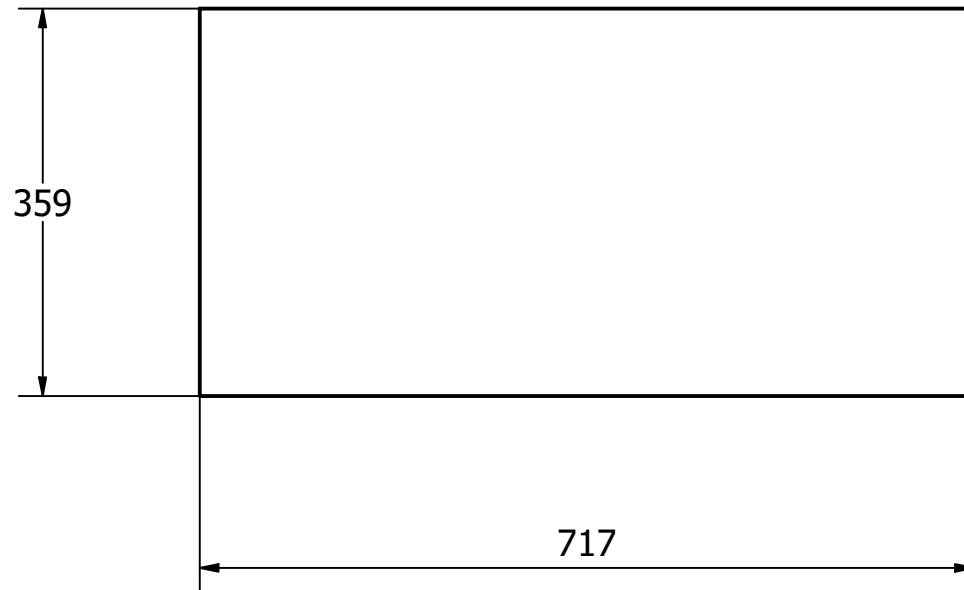
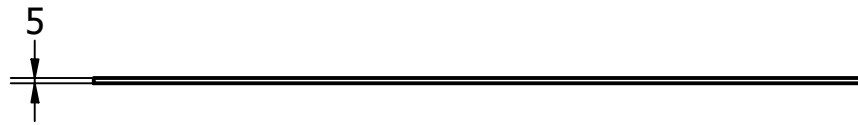
(1 : 15)



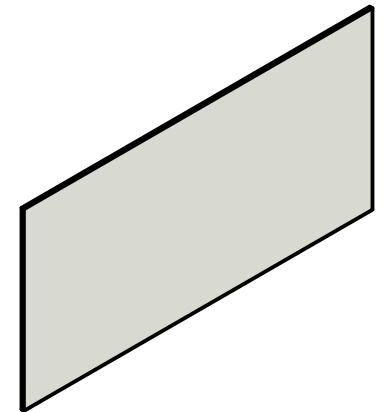
Tolerancia ± 3 mm		Madera Tríplex	Unidades mm												
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Fecha</td> <td>Nombre</td> </tr> <tr> <td>Dibujado</td> <td>12/10/2022</td> <td>Luis Naranjo</td> </tr> <tr> <td>Revisado</td> <td>10/23/2022</td> <td>Martín Farfán</td> </tr> <tr> <td>Aprobado</td> <td>10/23/2022</td> <td>Juan Sebastián Proaño</td> </tr> </table>			Fecha	Nombre	Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo	Revisado	10/23/2022	Martín Farfán	Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño	Placa superior	Escala 1 : 7
	Fecha	Nombre													
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo													
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán													
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño													
		Código TT-GE-PP018	Trat. Superficial Lacado												
			Hoja 22/24												




Tolerancia ± 3 mm		Madera de pino		Unidades mm
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 1
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	10/23/2022	Martín Farfán		
Aprobado	10/23/2022	Juan Sebastián Proaño		
		Código TT-GE-PP019	Trat. Superficial Lacado	Hoja 23/24



(1 : 11)



Tolerancia ± 0.2 mm			Acrílico	Unidades mm
	Fecha	Nombre	Plancha de acrílico	Escala 1 : 7
Dibujado	12/10/2022	Luis Naranjo		
Revisado	12/12/2022	Martín Farfán		
Aprobado	12/12/2022	Juan Sebastián Proaño		
			Código TT-GE-PP020	Hoja 24/24

ANEXO B: PESOS ESPECÍFICOS DE LOS SUBSISTEMAS

Criterios Subsistema Geometría

Tabla 24 Criterios Subsistema Geometría

Criterio	Facilidad de construcción	Cp (Coeficiente de potencia)	Autonomía	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de construcción		0	0	1	0.166666667
Cp (Coeficiente de potencia)	1		1	3	0.5
Autonomía	1	0		2	0.333333333
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Geometría Facilidad de Construcción

Tabla 25 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Facilidad de Construcción

3	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	1	4	0.4
Solución B	0		1	0	2	0.2
Solución C	0	0		0	1	0.1
Solución D	0	1	1		3	0.3
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Geometría Coeficiente de Potencia

Tabla 26 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Coeficiente de Potencia

Cp	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución C	1	0		0	2	0.2
Solución D	1	0.5	1		3.5	0.35
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Geometría Autonomía

Tabla 27 Evaluación peso específico Subsistema Geometría Autonomía

Autonomía	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0.5	0.5	3	0.3
Solución B	0		0	0	1	0.1
Solución C	0.5	1		0.5	3	0.3
Solución D	0.5	1	0.5		3	0.3
Suma					10	1

Criterios Subsistema Material

Tabla 28 Criterios Subsistema Material

Criterio	Peso	Precio	Facilidad construcción	Renovable	Resistencia Mecánica	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		1	0.5	0	0.5	3	0.200
Precio	0		0	0	0	1	0.067
Facilidad de construcción	0.5	1		0	0.5	3	0.200
Renovable	1	1	1		1	5	0.333
Resistencia Mecánica	0.5	1	0.5	0		3	0.200
Suma						15	1.000

Evaluación peso específico Subsistema Material Peso

Tabla 29 Evaluación peso específico Subsistema Material Peso

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		1	1	4	0.4
Solución C	1	0		1	3	0.3
Solución D	1	0	0		2	0.2
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Material Precio

Tabla 30 Evaluación peso específico Subsistema Material Precio

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		1	0	3	0.3
Solución C	1	0		0	2	0.2

Solución D	1	1	1		4	0.4
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Material Facilidad de construcción

Tabla 31 Evaluación peso específico Subsistema Material Facilidad de Construcción

Facilidad de construcción	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		0.5	0	2.5	0.25
Solución C	1	0.5		0	2.5	0.25
Solución D	1	1	1		4	0.4
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Material Renovable

Tabla 32 Evaluación peso específico Subsistema Material Renovable

Renovable	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		0.5	1	3.5	0.35
Solución C	1	0.5		1	3.5	0.35
Solución D	1	0	0		2	0.2
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Material Resistencia Mecánica

Tabla 33 Evaluación peso específico Subsistema Material Resistencia Mecánica

Resistencia Mecánica	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0	0	2	0.2
Solución B	0		0	0	1	0.1
Solución C	1	1		1	4	0.4
Solución D	1	1	0		3	0.3
Suma					10	1

Criterios Subsistema Generador

Tabla 34 Criterios Subsistema Generador

Criterio	Eficiencia	Precio	Facilidad de implementación	Dimensiones	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		1	1	1	4	0.4
Precio	0		1	1	3	0.3

Facilidad de implementación	0	0		1	2	0.2
Dimensiones	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Generador Precio

Tabla 35 Evaluación peso específico Subsistema Generador Precio

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	1	4	0.4
Solución B	0		1	1	3	0.3
Solución C	0	0		0.5	1.5	0.15
Solución D	0	0	0.5		1.5	0.15
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Generador Eficiencia

Tabla 36 Evaluación peso específico Subsistema Generador Eficiencia

Eficiencia	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	1	3	0.3
Solución B	1		1	1	4	0.4
Solución C	0	0		0	1	0.1
Solución D	0	0	1		2	0.2
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Generador Implementación

Tabla 37 Evaluación peso específico Subsistema Generador Implementación

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0.5	1	1	3.5	0.35
Solución B	0.5		1	1	3.5	0.35
Solución C	0	0		0.5	1.5	0.15
Solución D	0	0	0.5		1.5	0.15
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Generador Dimensiones

Tabla 38 Evaluación peso específico Subsistema Generador Dimensiones

Dimensiones	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------------------	--------------------

Solución A		0	1	1	3	0.3
Solución B	1		1	1	4	0.4
Solución C	0	0		1	2	0.2
Solución D	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Criterios Subsistema Controlador de Carga

Tabla 39 Criterios Subsistema Controlador de Carga

Criterio	Facilidad de implementación	Precio	Eficiencia de Carga	Ciclo de Vida	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de implementación		1	0	1	3	0,3
Precio	0		0	1	2	0,2
Eficiencia de Carga	1	1		1	4	0,4
Ciclo de vida	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Ciclo de Vida

Tabla 40 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Ciclo de Vida

Ciclo de vida	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333333333
Solución C	0	0		1	0,166666667
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Precio

Tabla 41 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Precio

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0	2	0,333333333
Solución B	0		0	1	0,166666667
Solución C	1	1		3	0,5
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Eficiencia de Carga

Tabla 42 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Eficiencia de Carga

Eficiencia	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0,333333333
Solución B	1		1	3	0,5
Solución C	0	0		1	0,166666667
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Facilidad de implementación

Tabla 43 Evaluación peso específico Subsistema Controlador de Carga Facilidad de implementación

Facilidad de implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0	2	0,333333333
Solución B	0		0	1	0,166666667
Solución C	1	1		3	0,5
			Suma	6	1

Criterios Subsistema Microcontrolador

Tabla 44 Criterios Subsistema Microcontrolador

Criterio	Facilidad de programación	Conectividad con Internet	Precio	Capacidad de procesamiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de programación		0	1	0	2	0.2
Conectividad con Internet	1		1	0	3	0.3
Precio	0	0		0	1	0.1
Capacidad de procesamiento	1	1	1		4	0.4
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Facilidad de Programación

Tabla 45 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Facilidad de Programación

Facilidad Programación	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución B	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución C	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución D	1	0.5	1		3.5	0.35
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Conectividad con Internet

Tabla 46 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Conectividad con Internet

Conectividad con Internet	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución B	1		1	0	3	0.3
Solución C	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución D	1	1	1		4	0.4
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Precio

Tabla 47 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Precio

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	1	4	0.4
Solución B	0		1	0.5	2.5	0.25
Solución C	0	0		0	1	0.1
Solución D	0	0.5	1		2.5	0.25
Suma					10	1

Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Capacidad de Procesamiento

Tabla 48 Evaluación peso específico Subsistema Microcontrolador Capacidad de Procesamiento

Capacidad de Procesamiento	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		1	0	3	0.3
Solución C	1	0		0	2	0.2

Solución D	1	1	1		4	0.4
				Suma	10	1

Criterios Subsistema Conexión de Salida

Criterio	Versatilidad	Precio	Satisfacción del Cliente	Facilidad de conexión	$\Sigma+1$	Ponderación
Versatilidad		1	0	1	3	0.3
Precio	0		0	0	1	0.1
Satisfacción del Cliente	1	1		1	4	0.4
Facilidad de conexión	0	1	0		2	0.2
				Suma	10	1

Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Versatilidad

Tabla 49 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Versatilidad

Versatilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0.5
Solución B	0		1	2	0.33333333
Solución C	0	0		1	0.16666667
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Precio

Tabla 50 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Precio

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0.33333333
Solución B	1		1	3	0.5
Solución C	0	0		1	0.16666667
			Suma	6	1

Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Satisfacción del cliente

Tabla 51 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Satisfacción del cliente

Satisfacción del cliente	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0.33333333
Solución B	1		1	3	0.5

Solución C	0	0		1	0.16666667
Suma				6	1

Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Facilidad de conexión

Tabla 52 Evaluación peso específico Subsistema Conexión de Salida Facilidad de conexión

Facilidad de conexión	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0.33333333
Solución B	1		1	3	0.5
Solución C	0	0		1	0.16666667
Suma				6	1

ANEXO C: GESTIÓN DEL PROYECTO

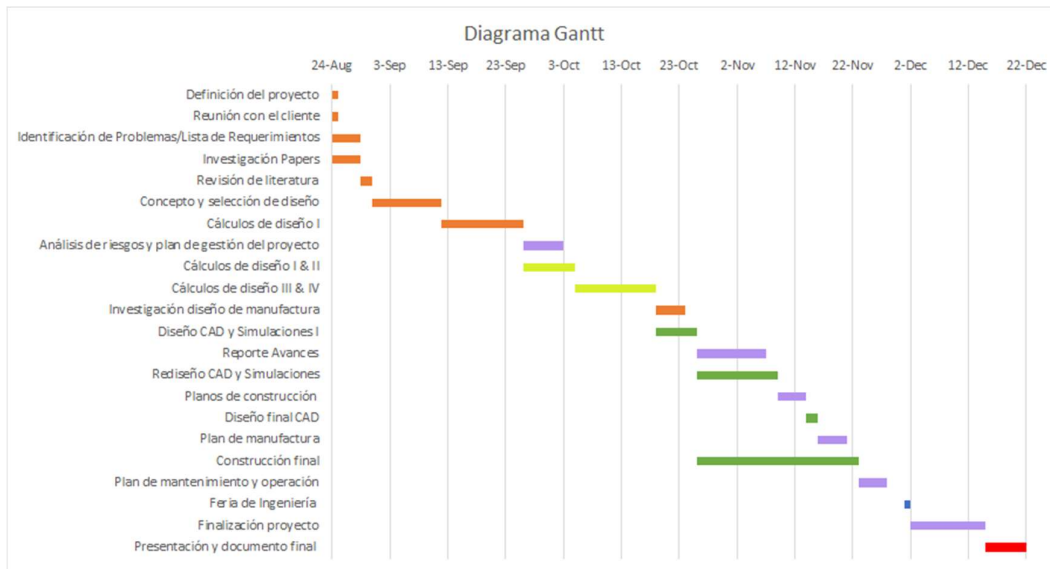


Figura 49 Diagrama de Gantt de gestión del proyecto

El presupuesto inicial fue de \$400, pero se expandió a \$550 para cubrir gastos extras. A continuación el resumen de los gastos y el reporte de cada factura.

Tabla 53 Resumen gastos

Criterio	Valor (USD)	Descripción
Estructural	\$ 99.79	Planchas de madera triplex, pernos, arandelas, tornillos, perfil de pino, L metálicas
Mecánico	\$ 179.32	Componentes turbina, eje aluminio cromado, chumaceras, poleas, bandas, tensores.
Acabados	\$ 9.24	Laca
Electrónico	\$ 260.34	Controlador de carga, alternador, sensores, microcontrolador, batería.
Total	\$ 548.69	

Tabla 54 Reporte de costos

N°	FECHA DEL DOCUMENTO (FACTURA)	NOMBRE DEL PROVEEDOR	No.FACTURA	VALOR DE LA FACTURA (USD)	Descripción del componente
1	2/11/2022	MegaKiwi	038-902-000049012	50.55	Tablón de pino 4m de largo, PVC 4in, Plancha triplex
2	2/12/2022	MegaKiwi	038-903-000126861	3.08	Laca para Madera
3	2/12/2022	Ferretería Cano e Hijos	000164280	8.5	Eje de aluminio 1 inch
4	2/12/2022	Rimpr Negocio Popular	002-001-000000239	45	Perfiles Alares
5	11/12/2022	Anclajes del Valle	002-100-000016652	5	Pernos M11x35, Arandelas y Tuercas
6	11/17/2022	Anclajes del Valle	002-100-000016727	7.45	Pernos M8x70, Tuercas y Prisioneros M5x20
7	11/21/2022	Mercure Tools	001-001-000000217	215.84	Alternador trifásico y controlador turbina de viento
8	11/1/2022	Maquinarias Enriquez C.A.	008-004-000064505	31.08	Chumaceras UCF205
9	11/9/2022	Importadora Orbea CIA Ltda	001-010-000085573	40.24	Polea de aluminio y chumacera
10	11/21/2022	Mecatrónica Robotica y Electrónica	4260	44.5	Materiales electrónicos
11	11/11/2022	Almacenes Estuardo Sanchez	030-102-000299101	29.7	Baldes de plástico
12	11/15/2022	Anclajes del Valle	16682	7.19	Prisioneros, Varilla roscada, Tuercas y Arandelas
13	11/22/2022	Anclajes del Valle	16793	7.16	Arandelas, Tirafondos, ángulos de metal, Tornillos
14	11/24/2022	MegaKiwi	038-904-000065056	28.36	Planchas de madera y dos latas de laca
15	11/24/2022	ELHO		20	Rodamientos, guía del tensor, eje del tensor y base
16	12/15/2022	Batra CI LTAD	001-101-000019218	4.80	Banda de las poleas
Total				548.69	

ANEXO D: ANÁLISIS INGENIERIL

Análisis del viento

Tabla 55 Resumen de Velocidades Promedio Mensuales durante el año 2021

Velocidad del viento [m/s]	
Mes	Promedio Mensual
Enero	2,01
Febrero	2,10
Marzo	1,78
Abril	1,96
Mayo	1,98
Junio	1,91
Julio	2,49
Agosto	2,41
Septiembre	2,39
Octubre	1,99
Noviembre	1,93
Diciembre	1,97

Tabla 56 Resumen de Velocidades Promedio Máximas Mensuales durante el año 2021

Velocidad del viento [m/s]		
Mes	Promedio Mensual Máximo	Hora más Frecuente
Enero	5,16	14 - 15
Febrero	5,70	14 - 15
Marzo	5,36	14 - 15
Abril	5,63	14 - 15
Mayo	5,62	14 -15
Junio	5,32	15 -16
Julio	6,98	14 -15
Agosto	6,54	14 -15
Septiembre	6,65	13 - 14
Octubre	5,89	14 - 15
Noviembre	5,52	14 - 15
Diciembre	5,04	14 -15

Tabla 57 Resumen de Velocidades Promedio Mínimas Mensuales durante el año 2021

Velocidad del viento [m/s]		
Mes	Promedio Mensual Mínimo	Hora más Frecuente
Enero	0,44	6 -7
Febrero	0,43	6 -7
Marzo	0,35	22-23
Abril	0,40	4 -5
Mayo	0,44	23-24

Junio	0,41	3 - 4
Julio	0,41	1 - 2
Agosto	0,52	5 - 6
Septiembre	0,43	5 - 6
Octubre	0,40	0 - 1
Noviembre	0,38	1 - 2
Diciembre	0,46	1 - 2

Tabla 58 Frecuencias de los intervalos de la velocidad del viento en el año 2021

Bin	Min	Max	Horas/mes	Frecuencia	Promedio	Porcentaje del mes
1	0	0,5	9	54	0,25	1,21%
2	0,5	1	109	653	0,75	14,63%
3	1	1,5	194	1164	1,25	26,08%
4	1,5	2	156	937	1,75	20,99%
5	2	2,5	93	556	2,25	12,46%
6	2,5	3	49	294	2,75	6,59%
7	3	3,5	43	256	3,25	5,73%
8	3,5	4	37	221	3,75	4,95%
9	4	4,5	25	148	4,25	3,32%
10	4,5	5	13	76	4,75	1,70%
11	5	5,5	7	40	5,25	0,90%
12	5,5	6	3	18	5,75	0,40%
13	6	6,5	2	11	6,25	0,25%
14	6,5	7	2	11	6,75	0,25%
15	7	7,5	1	8	7,25	0,18%
16	7,5	8	1	8	7,75	0,18%
17	8	8,5	1	7	8,25	0,16%
18	8,5	9	0	2	8,75	0,04%
19	9	9,5	0	0	9,25	0,00%
20	9,5	10	0	0	9,75	0,00%
21	10	10,5	0	0	10,25	0,00%
22	10,5	11	0	0	10,75	0,00%
23	11	11,5	0	0	11,25	0,00%

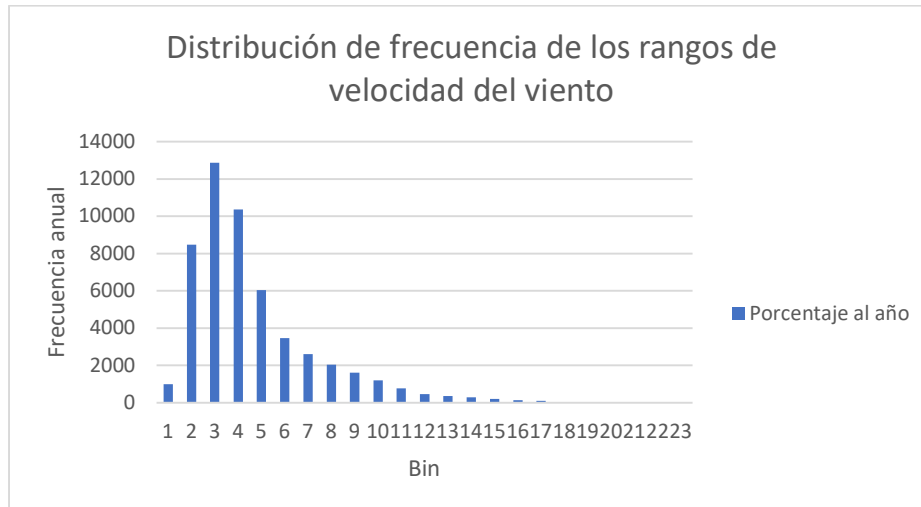


Figura 50 Distribución de frecuencias de los rangos de velocidad del viento para el año 2021

Determinación de la oferta energética

Tabla 59 Cálculo de potencia mensual promedio

Potencia [W/m²]	
Mes	Promedio Mensual
Enero	3.59
Febrero	4.09
Marzo	2.51
Abril	3.31
Mayo	3.43
Junio	3.10
Julio	6.80
Agosto	6.15
Septiembre	6.01
Octubre	3.47
Noviembre	3.16
Diciembre	3.40

Tabla 60 Cálculo de potencia mensual máximo

Potencia [W/m²]		
Mes	Promedio Mensual Máximo	Hora más Frecuente
Enero	60.71	14 - 15
Febrero	81.96	14 - 15
Marzo	68.01	14 - 15
Abril	78.68	14 - 15

Mayo	78.29	14 -15
Junio	66.49	15 -16
Julio	150.01	14 -15
Agosto	123.72	14 -15
Septiembre	130.15	13 - 14
Octubre	90.46	14 - 15
Noviembre	74.14	14 - 15
Diciembre	56.57	14 -15

Tabla 61 Cálculo de potencia mensual mínimo

Potencia [W/m²]		
Mes	Promedio Mensual Mínimo	Hora más Frecuente
Enero	0.04	6 -7
Febrero	0.04	6 -7
Marzo	0.02	22-23
Abril	0.03	4 -5
Mayo	0.04	23-24
Junio	0.03	3 - 4
Julio	0.03	1 - 2
Agosto	0.06	5 - 6
Septiembre	0.04	5 - 6
Octubre	0.03	0 -1
Noviembre	0.02	1 - 2
Diciembre	0.04	1 - 2

Tabla 62 Intervalos de potencia

Bin	Potencia Min [W/m²]	Potencia Max [W/m²]	Potencia Promedio [W/m²]
1	0.000	0.055	0.007
2	0.055	0.442	0.186
3	0.442	1.491	0.863
4	1.491	3.535	2.368
5	3.535	6.905	5.034
6	6.905	11.931	9.190
7	11.931	18.946	15.170
8	18.946	28.282	23.303
9	28.282	40.268	33.923
10	40.268	55.238	47.359
11	55.238	73.521	63.944
12	73.521	95.450	84.009

13	95.450	121.357	107.886
14	121.357	151.572	135.905
15	151.572	186.427	168.398
16	186.427	226.253	205.698
17	226.253	271.382	248.134
18	271.382	322.145	296.038
19	322.145	378.874	349.743
20	378.874	441.900	409.579
21	441.900	511.554	475.878
22	511.554	588.169	548.971
23	588.169	672.075	629.190

Tabla 63 Intervalos de velocidad

Bin	Min	Max	Horas/año	Frecuencia	Promedio	Porcentaje al año	F*U_prom_bin
1	0	0.5	167	1000	0.25	1.92%	0.005
2	0.5	1	1413	8476	0.75	16.26%	0.122
3	1	1.5	2144	12861	1.25	24.67%	0.308
4	1.5	2	1727	10361	1.75	19.87%	0.348
5	2	2.5	1006	6038	2.25	11.58%	0.261
6	2.5	3	580	3478	2.75	6.67%	0.183
7	3	3.5	435	2610	3.25	5.01%	0.163
8	3.5	4	342	2051	3.75	3.93%	0.148
9	4	4.5	269	1611	4.25	3.09%	0.131
10	4.5	5	200	1197	4.75	2.30%	0.109
11	5	5.5	131	783	5.25	1.50%	0.079
12	5.5	6	79	472	5.75	0.91%	0.052
13	6	6.5	61	368	6.25	0.71%	0.044
14	6.5	7	48	289	6.75	0.55%	0.037
15	7	7.5	35	209	7.25	0.40%	0.029
16	7.5	8	23	138	7.75	0.26%	0.021
17	8	8.5	16	98	8.25	0.19%	0.016
18	8.5	9	7	44	8.75	0.08%	0.007
19	9	9.5	3	19	9.25	0.04%	0.003
20	9.5	10	3	17	9.75	0.03%	0.003
21	10	10.5	1	8	10.25	0.02%	0.002
22	10.5	11	1	3	10.75	0.01%	0.001
23	11	11.5	0	0	11.25	0.00%	0.000

Tabla 64 Cálculo porcentajes estimados

Bin	Porcentaje estimado inferior	Porcentaje estimado superior	Diferencia	Horas/años
1	0.00	0.04	0.04	389
2	0.04	0.17	0.12	1065
3	0.17	0.34	0.17	1480
4	0.34	0.52	0.18	1578
5	0.52	0.68	0.16	1410
6	0.68	0.81	0.13	1095
7	0.81	0.89	0.09	750
8	0.89	0.95	0.05	458
9	0.95	0.98	0.03	251
10	0.98	0.99	0.01	124
11	0.99	1.00	0.01	55
12	1.00	1.00	0.00	22
13	1.00	1.00	0.00	8
14	1.00	1.00	0.00	3
15	1.00	1.00	0.00	1
16	1.00	1.00	0.00	0
17	1.00	1.00	0.00	0
18	1.00	1.00	0.00	0
19	1.00	1.00	0.00	0
20	1.00	1.00	0.00	0
21	1.00	1.00	0.00	0
22	1.00	1.00	0.00	0
23	1.00	1.00	0.00	0

Tabla 65 Comparación de energía entregada observada y estimada

Bin	Potencia [W/m ²]	Energía entregada	
		Observada [kWh/m ²]	Estimada [kWh/m ²]
1	0.007	0.001	0.003
2	0.186	0.263	0.199
3	0.863	1.850	1.277
4	2.368	4.090	3.736
5	5.034	5.065	7.100
6	9.190	5.327	10.060
7	15.170	6.599	11.379

8	23.303	7.966	10.679
9	33.923	9.108	8.519
10	47.359	9.448	5.869
11	63.944	8.345	3.531
12	84.009	6.609	1.870
13	107.886	6.617	0.878
14	135.905	6.546	0.367
15	168.398	5.866	0.137
16	205.698	4.731	0.046
17	248.134	4.053	0.014
18	296.038	2.171	0.004
19	349.743	1.108	0.001
20	409.579	1.160	0.000
21	475.878	0.635	0.000
22	548.971	0.274	0.000
23	629.190	0.000	0.000
Total		97.832	65.667

Tabla 66 Error porcentual entre la potencia real y la ideal

Pot Real	Pot Ideal	%Desviación
1.41	4.96	71.67
1.6	5.65	71.65
0.98	3.47	71.86
1.3	4.58	71.51
1.34	4.74	71.66
1.21	4.29	71.85
2.67	9.40	71.57
2.42	8.50	71.5
2.36	8.31	71.56
1.36	4.80	71.56
1.24	4.37	71.51
1.32	4.70	71.84
Promedio		71.65

Tabla 67 Rangos de velocidades de viento (Vanek , 2008)

Class	Wind Speed	
	m/s	mph
Marginal	4–5	9–11.3
Fair	5–6	11.3–13.5
Good	6–7	13.5–15.8
Excellent	7–8	15.8–18
Outstanding	Over 8	Over 18

Determinación de la demanda energética

El propósito de esta encuesta es poder encontrar porcentajes muestrales de la universidad con respecto a la carga de sus dispositivos móviles. Con esto poder extrapolar a toda la población de la universidad. Respondieron 129 personas, siendo estas 119 parte de la USFQ. De este porcentaje se tomó en cuenta para el análisis. Se realizaron seis preguntas básicas de uso de cargadores dentro de la universidad, que dispositivos cargan dentro de las instalaciones, etc. Con estos datos se pudo extrapolar a los 9'000 estudiantes que existen en la universidad, y asumir que el 89.1% de estos cargan dentro de la universidad.

Esto nos ayuda a determinar la demanda energética de carga dentro de los usuarios de las instalaciones de la universidad.

Eres estudiante de la USFQ?

129 respuestas

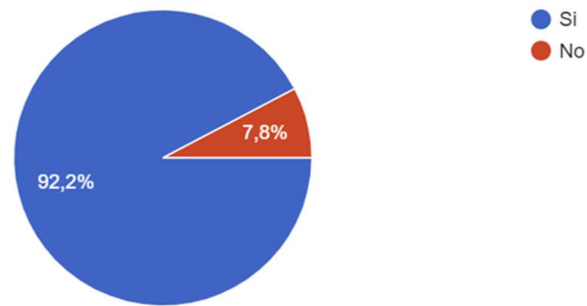


Figura 51 Encuesta pregunta 1

Sueles cargar el celular, laptop, tablet u otro dispositivo electrónico cuando estás en el campus?

129 respuestas

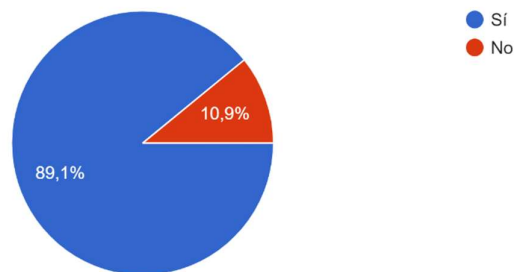


Figura 52 Encuesta pregunta 2

Con cuánta frecuencia cargas tu celular en la universidad?

129 respuestas

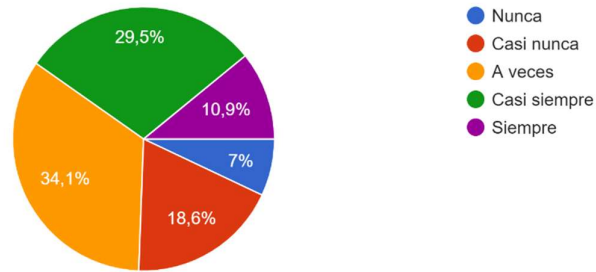


Figura 53 Encuesta pregunta 3

Cuántos días llevas tu cargador a la universidad?

129 respuestas

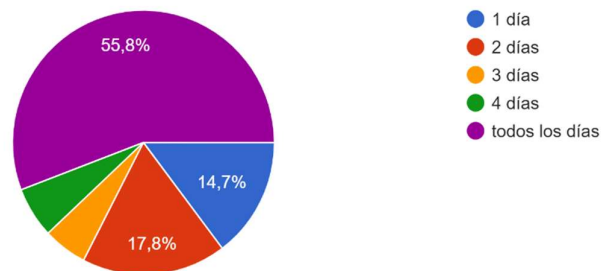


Figura 54 Encuesta pregunta 4

Qué días utilizas el cargador dentro del campus?

129 respuestas

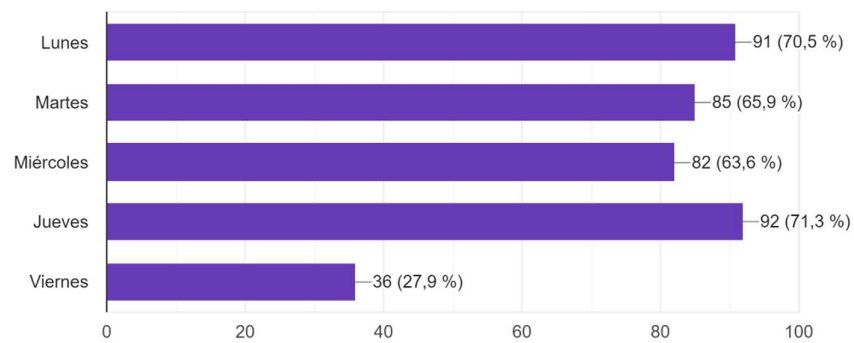


Figura 55 Encuesta pregunta 5

Cuánto tiempo sueles dejar cargando el dispositivo?

129 respuestas

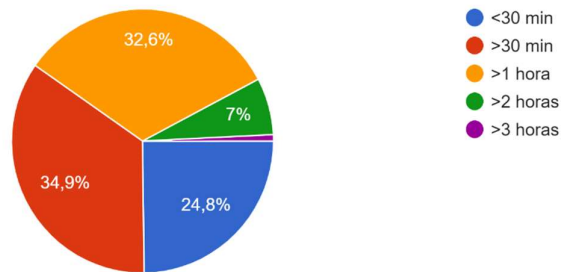


Figura 56 Encuesta pregunta 6

Tabla 68 Demanda global de energía semanal solo para celulares y tablets

Días	Cantidad	Potencia[W]	Energía [kWh]
Lunes	5653.395	113067.9	169.60185
Martes	5284.521	105690.42	158.53563
Miércoles	5100.084	102001.68	153.00252
Jueves	5717.547	114350.94	171.52641
Viernes	2237.301	44746.02	67.11903

Tabla 69 Demanda global de energía anual para cargar laptops y celulares

Duración de carga [h/día]	Cantidad	Potencia [W]	Energía [kWh]
0.5	4787	239367.15	14362.029
1	2614	130709.7	15685.164
2	561	28066.5	6735.96
3	64	3207.6	1154.736
	Total	401350.95	37937.889

Tabla 70 Demanda global de energía semanal para laptops y celulares

Días	Cantidad	Potencia[W]	Energía [kWh]
Lunes	282669.75	5653395	8480.0925
Martes	264226.05	5284521	7926.7815
Miércoles	255004.2	5100084	7650.126
Jueves	285877.35	5717547	8576.3205
Viernes	111865.05	2237301	3355.9515

Calculo del Cp


```

T=16.34[C]
P=71.94075[kPa]
rho=density(Air_ha,T=T,P=P)
Fmax=111.43[kg*m/s^2]
Fave=4.7[kg*m/s^2]
A=0.68[m^2]
U_max=10.93[m/s]
U_ave=2.08[m/s]
R=0.35[m]
TSR=0.69
Fmax=0.5*rho*U_max^2*C_d_max*A
Fave=0.5*rho*U_ave^2*C_d_ave*A
TSR=omega_max*R/U_max
TSR=omega_ave*R/U_ave
v_max=omega_max*R
v_ave=omega_ave*R
Cp_max=((U_max-v_max)^2*C_d_max*v_max)/U_max^3
Cp_ave=((U_ave-v_ave)^2*C_d_ave*v_ave)/U_ave^3

```

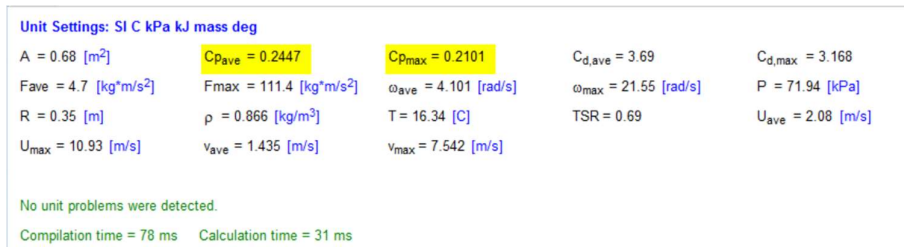


Figura 57 Resultado del código del cálculo el Cp en EES

Diseño del Eje

Para el cálculo de diseño del eje a fatiga entonces se realiza el siguiente calculo:

Primero se determinan los modificadores de la resistencia a la fatiga

- **Factor de modificación por la condición superficial:**

$$k_a = a * Sut^b$$

El eje será un elemento maquinado, por lo que es factor “a” es igual a 4.51, mientras que el exponente “b” es igual a -0.265 y el esfuerzo último del aluminio 6061 T6 es 240 MPA (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_a = 4.51 * (260 \text{ MPA})^{-0.265}$$

$$k_a = 1.033$$

- **Factor de modificación por el tamaño**

Este factor depende del diámetro exterior del elemento, lo cual es una incógnita, por ende, para la primera iteración se asume un valor de $k_b=0.9$ (Budynas & Nisbett, 2019).

- **Factor de modificación por la carga**

Para esfuerzos combinados se tiene (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_c = 1$$

- **Factor de modificación por la temperatura:**

Las temperaturas de trabajo son menores a 200°C, por ende (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_d = 1$$

- **Factor de confiabilidad**

Se selecciona una confiabilidad del 95%, por ende (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_e = 0.868$$

- **Factor de modificación por efectos varios**

No se tienen efectos varios, por ende (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_f = 1$$

Obtenidos todos los valores de los factores modificadores, el límite de resistencia a la fatiga resulta en:

$$S_e = 1.033 * 0.9 * 1 * 1 * 0.868 * 1 * 0.5 * 400 \text{ MPa}$$

$$S_e = 104.9 \text{ MPa}$$

Para determinar el torque amplitud se tiene:

$$T_a = T_{nominal} = F_{viento} * D_{eje}$$

$$T_m = 0$$

Por otro lado, el momento amplitud es determinado con:

$$M_a = M_{nominal} = F_{viento} * L_{eje}$$

$$M_m = 0$$

Reemplazando datos se obtiene:

$$T_a = 111.43 * 0.35m$$

$$T_a = 39 Nm$$

$$M_a = 111.43 N * 1m$$

$$M_a = 111.43 Nm$$

Se obtiene el diámetro exterior del eje con la primera iteración:

$$d = \left(\frac{16 * 1.3}{\pi} \left\{ \frac{1}{104.9 MPa} [4(1 * 111.43 Nm)^2 + 3(1 * 39 Nm)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{260 MPa} [4(1 * 0)^2 + 3(1 * 0)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.02449 m$$

Con esta primera aproximación al diámetro exterior del eje se realiza una segunda iteración, recalculando el factor de modificación por el tamaño. Al tener un diámetro menor de 55mm, se procede a utilizar la fórmula (Budynas & Nisbett, 2019):

$$k_b = 1.51 * d_{ext}^{-0.157}$$

$$k_b = 1.24 * (24.49)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.8808$$

Se determina el nuevo valor para límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e = 1.033 * 0.8808 * 1 * 1 * 0.868 * 1 * 0.5 * 400 MPa$$

$$S_e = 102.7 MPa$$

Finalmente se determina el diámetro exterior definitivo:

$$d = \left(\frac{16 * 1.3}{\pi} \left\{ \frac{1}{102.7 MPa} [4(1 * 111.43 Nm)^2 + 3(1 * 39 Nm)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{260 MPa} [4(1 * 0)^2 + 3(1 * 0)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.02467 m$$

Cálculo de velocidad necesaria para generación

Se definió como dato los diámetros tanto de la turbina eólica como del diámetro de giro del alternador. Estos fueron $D1=1m$ y $D2=0.16m$ respectivamente. La ficha técnica del alternador indica que esta debe girar a una velocidad angular de 550 revoluciones por minuto. Con estos datos, realizamos una relación de diámetros

$$N1 * D1 = N2 * D2$$

Donde N es la velocidad angular. Con esto, introducimos los cálculos

$$500rpm * 0.16m = N2 * 1m$$

$$N2 = 80rpm = \Omega$$

Con esta velocidad angular, y el radio de giro (0.5m), procedemos a obtener la velocidad lineal del álabe.

$$U = R * \Omega$$

$$U = 0.5m * 80 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{60s}$$

$$U = 4.1887 \frac{m}{s}$$

Por último, necesitamos el dato previamente obtenido del $TSR=0.69$. La definición de este factor es la relación de giro con la velocidad actual que impacta al generador:

$$TSR = \frac{U}{C_{x1}}$$

$$C_{x1} = \frac{4.1887}{0.69}$$

$$C_{x1} = 6.0707 \frac{m}{s}$$

Código del diseño del eje

Diseño del eje"

eta=1.3

Sut=260e6[N/m²] "Aluminio 6061 T6"

L=1[m]

F=111.43[N] "Fuerza del viento"

R=0.35[m] "Distancia de las aspas al eje"

"Torque"

$\tau_a = (F \cdot R)$

$\tau_m = 0$

"Momento"

$M_a = (F \cdot L)$

$M_m = 0$

"Primera iteración"

$k_a = 1.033$

$k_c = 1$

$k_d = 1$

$k_e = 0.868$

$k_f = 1$

" $k_b = 0.9$ " "Suposición"

"Segunda iteración"

$k_b = 0.8808$

$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0.5 \cdot S_{ut}$

$A = ((4 \cdot (M_a^2) + 3 \cdot (\tau_a^2))^{0.5}) \cdot (1/S_e)$

$M = ((4 \cdot (M_m^2) + 3 \cdot (\tau_m^2))^{0.5}) \cdot (1/S_{ut})$

$d = ((16 \cdot \eta / \pi) \cdot (A + M))^{1/3}$

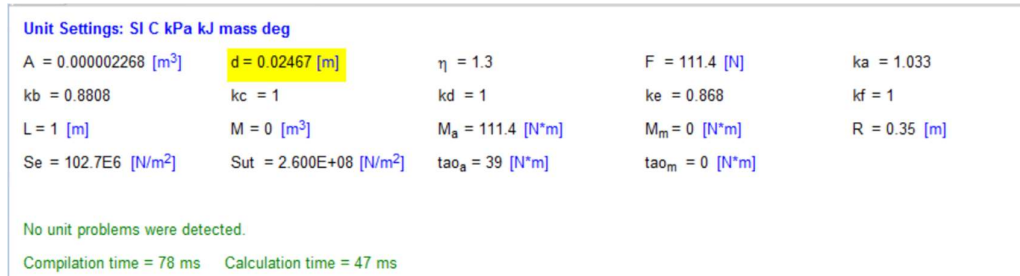


Figura 58 Resultado del diseño del eje en ESS

ANEXO E: DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES COMPRADOS

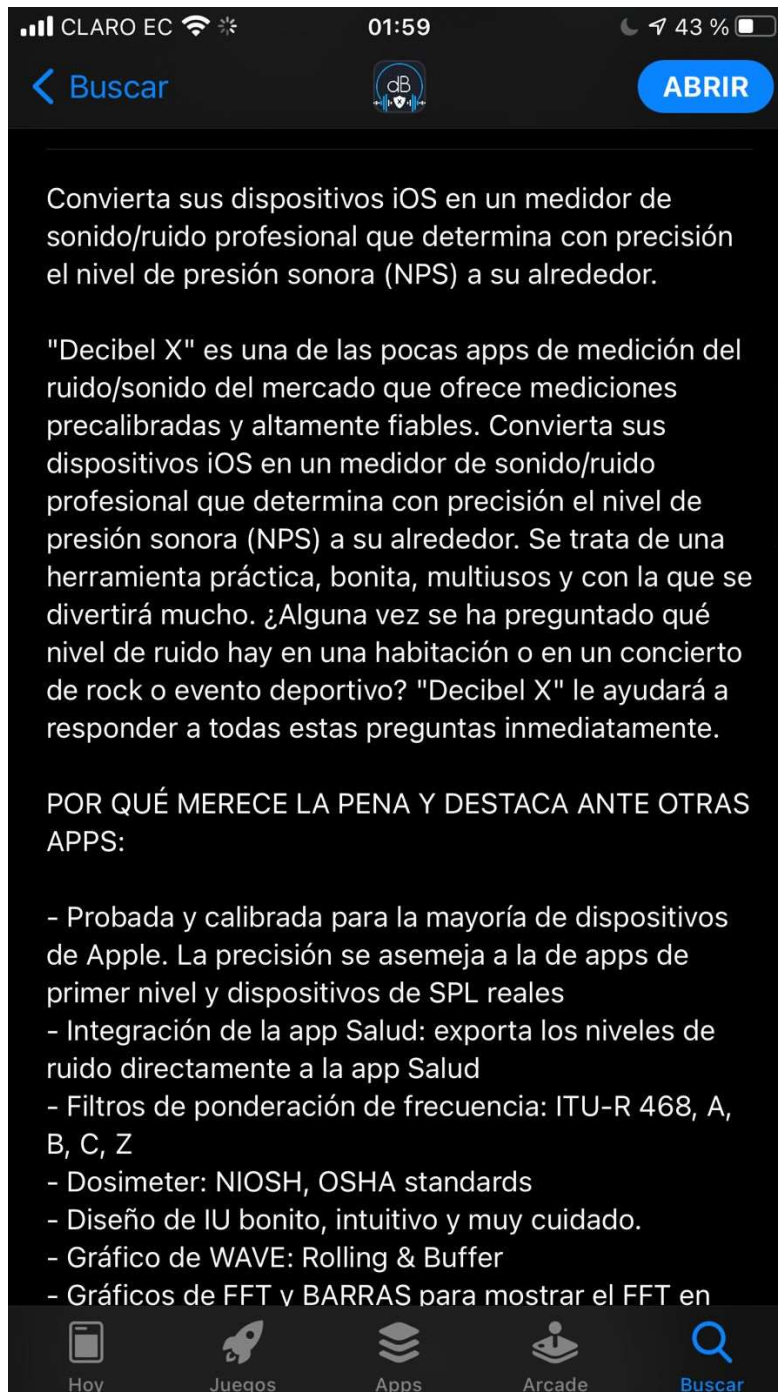


Figura 59 Descripción del medidor de decibeles

ANEXO F: REGISTRO Y MONITOREO DE RIESGOS

Código	Descripción	Prioridad	Responsable	Decisiones Tomadas	Estatus	Observaciones
.001	Sobrecarga del sistema	10	Juan Fernando Salazar	Se implementará un componente que hace la función de resistencia de carga, que desvía el exceso de energía a este componente.	Vigente	
.002	Riesgo de falla estructural	10	Juan Fernando Salazar	Los cálculos de diseño mecánico se harán de forma conservativa, con un factor de seguridad de 2 para evitar que fenómenos de vientos atípicos u otros dañen el equipo. Al igual que una buena fijación de la junta empernada.	Completado	
.003	Riesgo de mala instalación	4	Juan Fernando Salazar	Verificar que el cableado y las conexiones estén bien aisladas, y que los componentes electricos esten cubiertos evitando que estén a la interperie	Vigente	
.004	Riesgo de electrocución por cables expuesto, puede causar daños a la salud a usuarios y operarios de mantenimiento	5	Luis Naranjo	Correcta señalización de riesgo electrico al igual que un buen aislamiento de cables y componentes eléctricos, los cuales estarán aljeados del punto de carga para los usuarios. Uso de EPP adecuado para los tecnicos que realicen el mantenimiento.	Vigente	EPP que debe ser utilizado: zapatos de seguridad para peligros eléctricos, casco electrico clase E, protección no conductora (guantes y suela de goma)
.005	Riesgo de impacto por altura, por la caída del equipo, puede poner en peligro a las usuarios cercanos	3	Luis Naranjo	Realizar un correcto diseño mecánico de la estructura principi al igual que una buena sujeción, con un factor de seguridad igual a 2 para evitar cualquier riesgo.	Vigente	

.006	Riesgo de desgaste por lluvia	10	Julián Naranjo	Proteger los componentes con capas protectoras contra la lluvia y igualmente aplicar a la madera capaz de aceite, cera o barniz para su debida conservación	Vigente	
.007	Riesgo estructural por vientos atípicos	4	Julián Naranjo	Realizar un diseño apropiado para soportar altas velocidades del tiempo, y una construcción reforzada de los materiales	Vigente	Soportes con buenos factores de seguridad, recubrimientos en los materiales para soportar distintos climas.
.008	Riesgo de agotamiento de materia prima	4	Julián Naranjo	Realizar cálculos conservativos para las dimensiones del diseño y obtener una cantidad de materiales que exceda un poco del mínimo para la construcción	Completado	Realizar las compras en el plazo determinado para evitar contratiempos en el proceso de construcción
.009	Riesgo de exceder el presupuesto establecido, puede detener o cancelar el proyecto	12	Luis Naranjo	Realizar una primera aproximación de costos de cada componente y materia prima, y consultar a varios proveedores para obtener el precio de mercado más bajo	Completado	Dentro de la matriz de decisiones, el precio fue un factor analizado, por lo que los materiales y equipos seleccionados se manejan dentro del presupuesto.
.010	Riesgo de atraso en la recepción	15	Martín Farfán	Para no tener problemas en la posterior instalación de los componentes electrónicos debido al retraso del envío por las compras online, se determinó una fecha máxima (15 de octubre) para la cual ya deben estar comprados todos los componentes.	Completado	
.011	Riesgo de no contar con personal capacitado	3	Martín Farfán	Se procederá a capacitar aal personal que se encargarán posteriormente en el mantenimiento de los componentes, tanto mecánicos como electrónicos, de nuestro generador eólico. Se tiene pensando que el personal que se capacitará van a ser los encargados de planta física.	Vigente	

.012	Riesgo de no obtención de permisos	5	Martín Farfán	Se debe hablar con las autoridades pertinentes para la obtención de los permisos, para la ubicación de nuestros generadores eólicos sin problema alguno.	En curso	
------	------------------------------------	---	---------------	--	----------	--

ANEXO G: RESULTADOS

Código de la programación del sistema de monitoreo

```
//MONITOREO PUERTO DE CARGA DE CELULARES
//PROYECTO DE TESIS: GENERADOR DE EJE VERTICAL

// CONECTAR A WIFI WPA
#include <WiFi.h>
// Conexión celular Juan
//const char* ssid = "iPhone";
//const char* pass = "conejo123";
// Conexión casa Juan
const char* ssid = "JOSE LUIS";
const char* pass = "cucardas2826";
WiFiClient cliente;

// ENVIAR DATOS A THING SPEAK
#include "ThingSpeak.h"
unsigned long channelID = 1984817;
const char* WriteAPIKey = "E40MB0KPBBYX18PQ";

// SENSOR DE VOLTAJE
int ValorV = 0;
float Voltaje;
float R1 = 30000;
float R2 = 7500;
float PVoltaje = 34;

// SENSOR DE CORRIENTE

float Sensibilidad=0.2;
float I;

// POTENCIA
float Potencia;

void setup() {

//INICIAR LA TERMINAL SERIAL
Serial.begin(115200);

// CONECTAR A WIFI WPA
//Iniciar la conexión con la red definida
WiFi.begin(ssid, pass);
delay(2000);
Serial.print("Se esta conectando a la red WiFi denominada ");
Serial.println(ssid);
```

```

//Aparecen puntos hasta que se realice la conexión
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
//Cuando se conecta se da la confirmación y se muestra la IP conectada
Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado");
Serial.println("Dirección de IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

//ThingSepeak
ThingSpeak.begin(cliente);

}
void loop() {

delay (10000);
//SENSOR DE VOLTAJE
ValorV = analogRead(PVoltaje);
Voltaje = (ValorV) * (3.3/4096)*((R1 + R2)/R2)+0.5;
if (Voltaje < 0.51) {
Serial.print("Voltaje: ");
Serial.print("0.0");
Serial.println(" V ");
Serial.println("-----");
ThingSpeak.setField(1,0);
}
else {
Serial.print("Voltaje: ");
Serial.print(Voltaje);
Serial.println(" V ");
Serial.println("-----");
ThingSpeak.setField(1,Voltaje);
}

//SENSOR DE CORRIENTE
I= get_corriente(200);
I=I-7;
if (Voltaje < 0.51 || I < 0 ) {
Serial.print("Corriente: ");
Serial.print("0.0");
Serial.println(" A ");
Serial.println("-----");
ThingSpeak.setField(2,0);
}
else {
Serial.print("Corriente: ");

```

```

Serial.print(I);
Serial.println(" A ");
Serial.println("-----");
ThingSpeak.setField(2,I);
}
//POTENCIA
Potencia = I*Voltaje;
Serial.print("Potencia: ");
Serial.print(Potencia);
Serial.println(" W ");
Serial.println("-----");
ThingSpeak.setField(3,Potencia);

//Enviar datos a ThingSpeak
ThingSpeak.writeFields(channelID,WriteAPIKey);
Serial.println("Datos enviados a IoT");
delay(49000);
}

float get_corriente(int n_muestras)
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  for(int i=0;i<n_muestras;i++)
  {
    voltajeSensor = analogRead(32)*(5.0 / 4095.0);
    corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad;
  }
  corriente=corriente/n_muestras;
  return(corriente);
}

```

Ejemplo de los datos receptados por el monitor serial

```

12:34:38.720 -> Se esta conectando a la red WiFi denominada JOSE LUIS
12:34:39.219 -> ...
12:34:39.219 -> WiFi conectado
12:34:39.219 -> Dirección de IP:
12:34:39.219 -> 192.168.1.113
12:34:49.241 -> Voltaje: 0.0 V
12:34:49.241 -> -----
12:34:49.241 -> Corriente: 0.0 A
12:34:49.241 -> -----
12:34:49.241 -> Potencia: 0.04 W
12:34:49.241 -> -----
12:34:50.209 -> Datos enviados a IoT
12:35:49.228 -> Voltaje: 0.0 V
12:35:49.228 -> -----
12:35:49.228 -> Corriente: 0.0 A
12:35:49.228 -> -----
12:35:49.228 -> Potencia: -0.08 W

```

```
12:35:49.228 -> -----
12:35:49.728 -> Datos enviados a IoT
12:36:48.697 -> Voltaje: 0.0 V
12:36:48.697 -> -----
12:36:48.697 -> Corriente: 0.0 A
12:36:48.697 -> -----
12:36:48.697 -> Potencia: 0.02 W
12:36:48.743 -> -----
12:36:51.866 -> Datos enviados a IoT
12:37:50.855 -> Voltaje: 4.93 V
12:37:50.855 -> -----
12:37:50.855 -> Corriente: 0.46 A
12:37:50.855 -> -----
2:37:50.855 -> Potencia: 2.27 W
12:37:50.855 -> -----
12:37:51.244 -> Datos enviados a IoT
12:38:50.269 -> Voltaje: 4.93 V
12:38:50.269 -> -----
12:38:50.269 -> Corriente: 0.48 A
12:38:50.269 -> -----
12:38:50.269 -> Potencia: 2.37 W
12:38:50.269 -> -----
12:38:50.864 -> Datos enviados a IoT
12:39:49.849 -> Voltaje: 4.94 V
12:39:49.849 -> -----
12:39:49.849 -> Corriente: 0.49 A
12:39:49.849 -> -----
12:39:49.849 -> Potencia: 2.42 W
12:39:49.849 -> -----
12:39:50.256 -> Datos enviados a IoT
12:40:49.235 -> Voltaje: 4.88 V
12:40:49.235 -> -----
12:40:49.235 -> Corriente: 0.42 A
12:40:49.282 -> -----
12:40:49.282 -> Potencia: 2.07 W
12:40:49.282 -> -----
12:40:49.766 -> Datos enviados a IoT
12:41:48.764 -> Voltaje: 4.87 V
12:41:48.764 -> -----
12:41:48.764 -> Corriente: 0.41 A
12:41:48.764 -> -----
12:41:48.764 -> Potencia: 2.00 W
12:41:48.764 -> -----
12:41:49.122 -> Datos enviados a IoT
12:42:48.117 -> Voltaje: 4.78 V
12:42:48.117 -> -----
12:42:48.117 -> Corriente: 0.42 A
12:42:48.117 -> -----
12:42:48.163 -> Potencia: 2.03 W
12:42:48.163 -> -----
12:42:48.725 -> Datos enviados a IoT
12:43:47.706 -> Voltaje: 4.67 V
12:43:47.707 -> -----
12:43:47.750 -> Corriente: 0.43 A
12:43:47.750 -> -----
12:43:47.750 -> Potencia: 2.00 W
12:43:47.750 -> -----
12:43:48.142 -> Datos enviados a IoT
12:44:47.141 -> Voltaje: 4.87 V
12:44:47.141 -> -----
12:44:47.141 -> Corriente: 0.42 A
```

```

12:44:47.141 -> -----
12:44:47.141 -> Potencia: 2.03 W
12:44:47.141 -> -----
12:44:48.698 -> Datos enviados a IoT
12:45:47.667 -> Voltaje: 4.94 V
12:45:47.667 -> -----
12:45:47.710 -> Corriente: 0.41 A
12:45:47.710 -> -----
12:45:47.710 -> Potencia: 2.01 W
12:45:47.710 -> -----
12:45:48.240 -> Datos enviados a IoT
12:46:47.224 -> Voltaje: 4.75 V
12:46:47.259 -> -----
12:46:47.259 -> Corriente: 0.39 A
12:46:47.259 -> -----
12:46:47.259 -> Potencia: 1.87 W
12:46:47.259 -> -----
12:46:48.459 -> Datos enviados a IoT
12:47:47.441 -> Voltaje: 4.76 V
12:47:47.441 -> -----
12:47:47.488 -> Corriente: 0.40 A
12:47:47.488 -> -----
12:47:47.488 -> Potencia: 1.89 W
12:47:47.488 -> -----
12:47:48.143 -> Datos enviados a IoT
12:48:47.124 -> Voltaje: 4.95 V
12:48:47.124 -> -----
12:48:47.167 -> Corriente: 0.40 A
12:48:47.167 -> -----
12:48:47.167 -> Potencia: 1.97 W
12:48:47.167 -> -----
12:48:47.540 -> Datos enviados a IoT

```

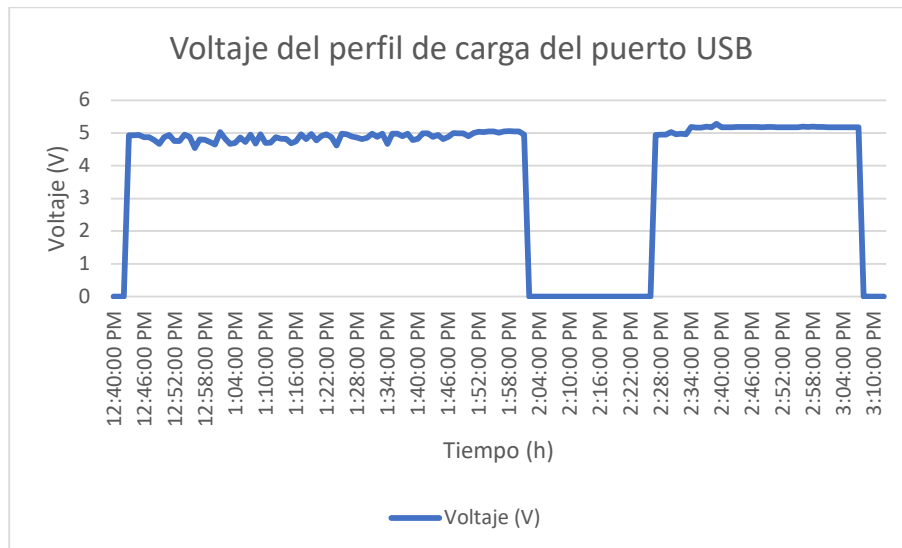


Figura 60 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4

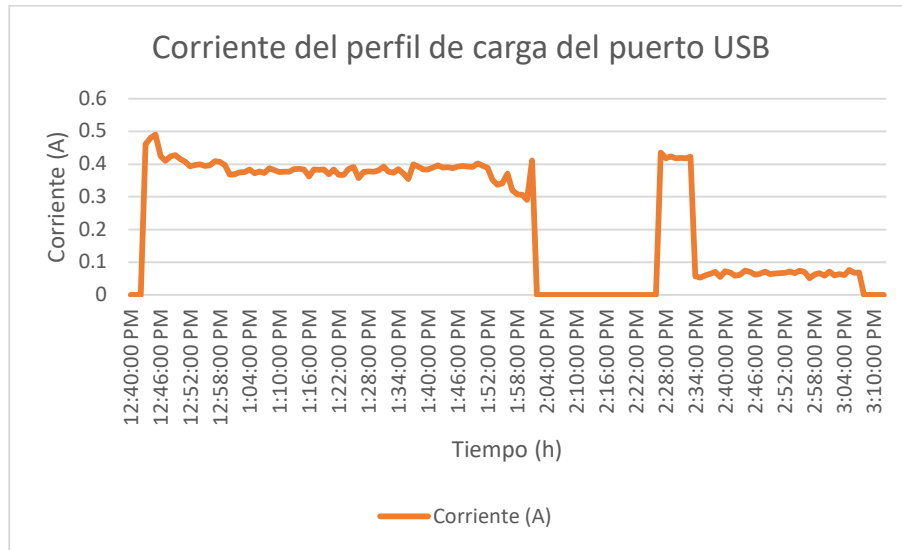


Figura 61 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4

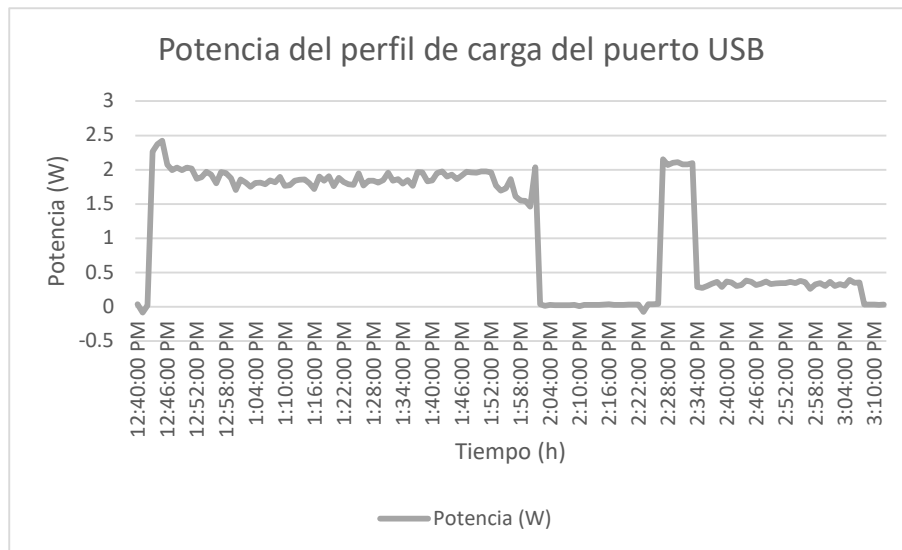


Figura 62 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4

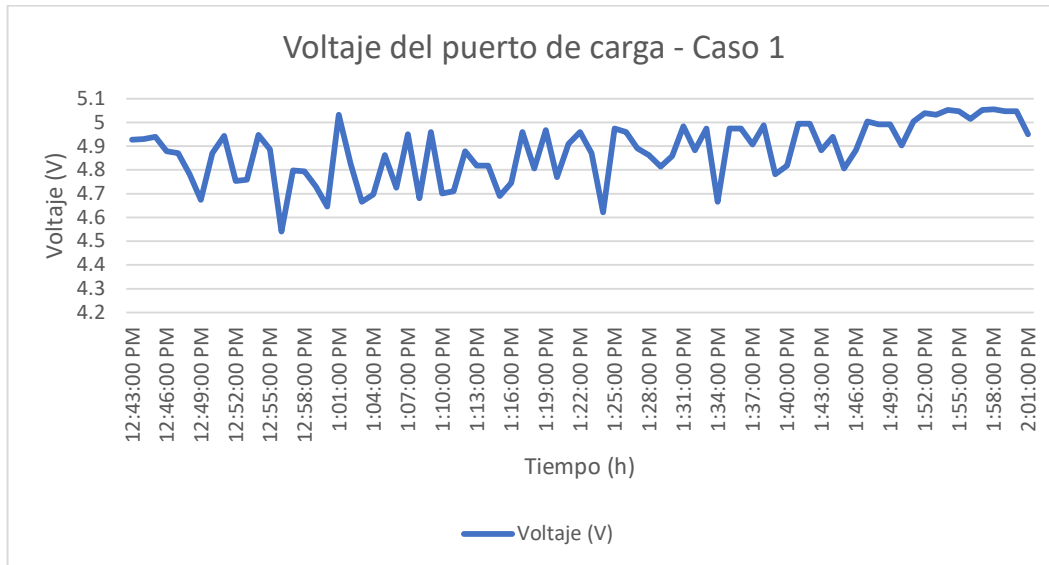


Figura 63 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1

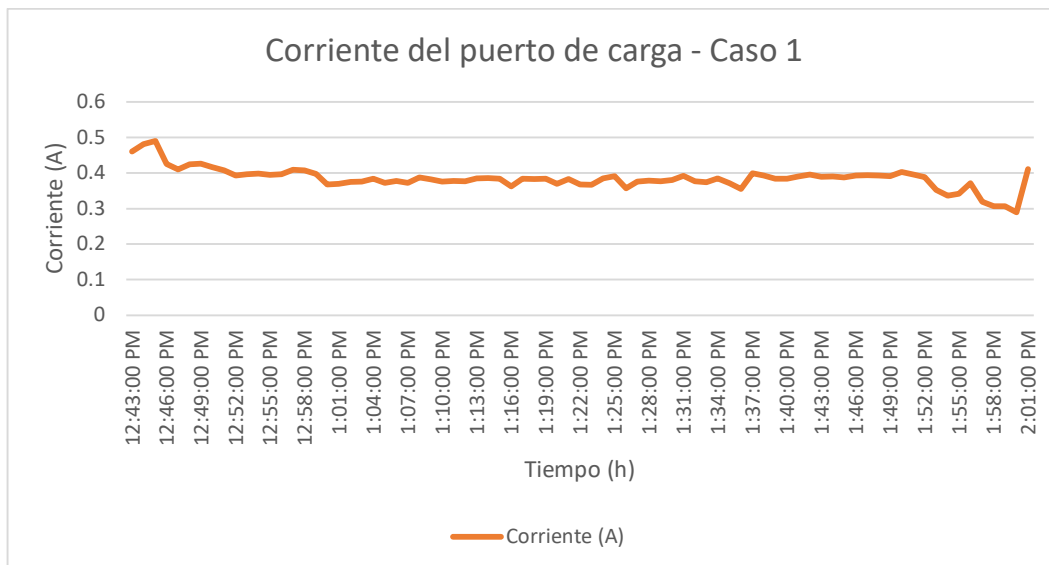


Figura 64 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1

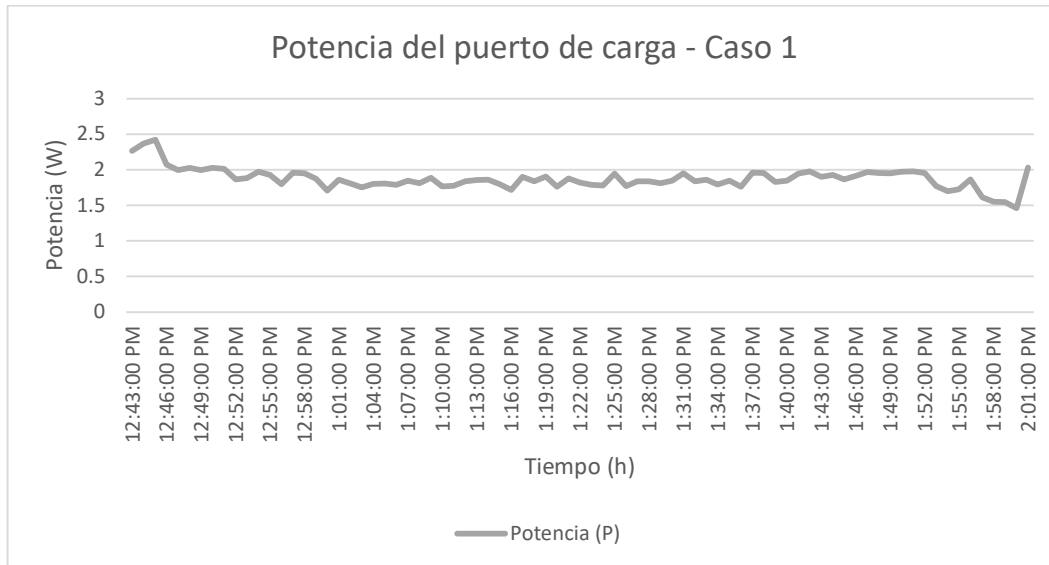


Figura 65 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 1

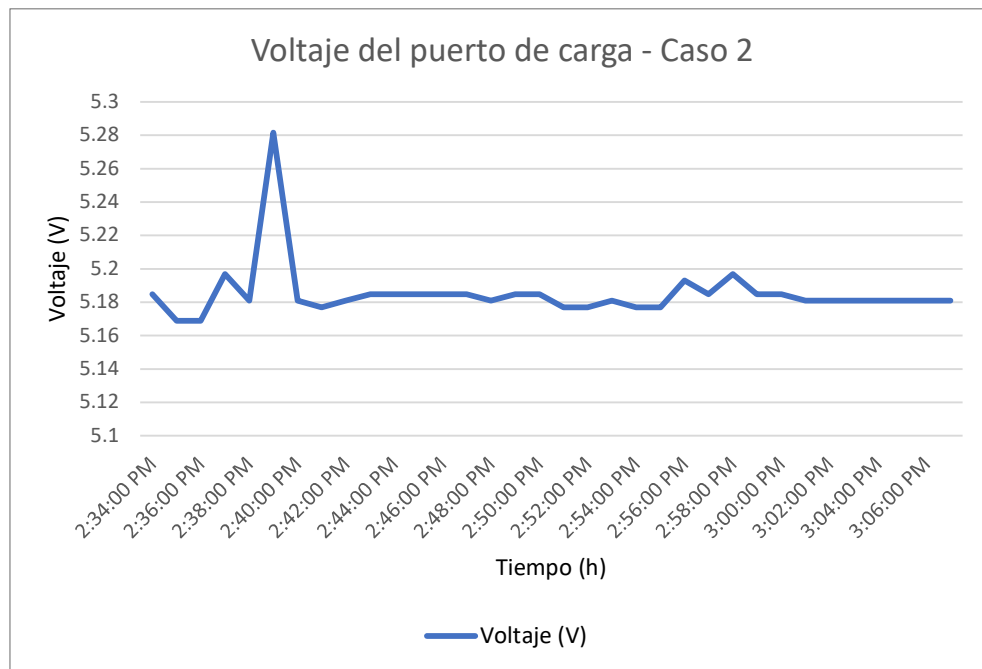


Figura 66 Voltaje de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2

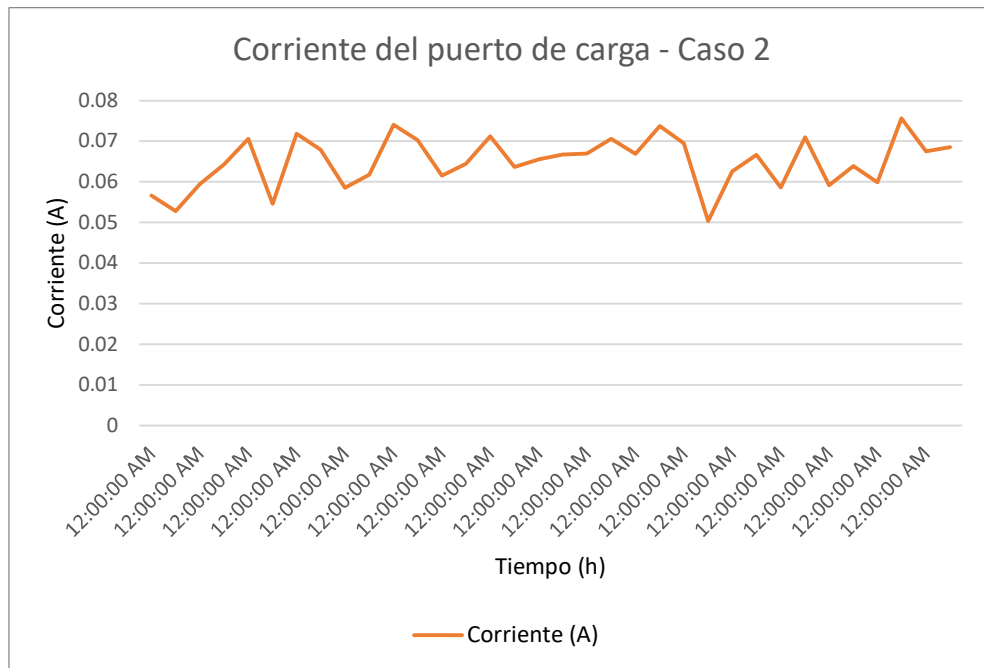


Figura 67 Corriente de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2

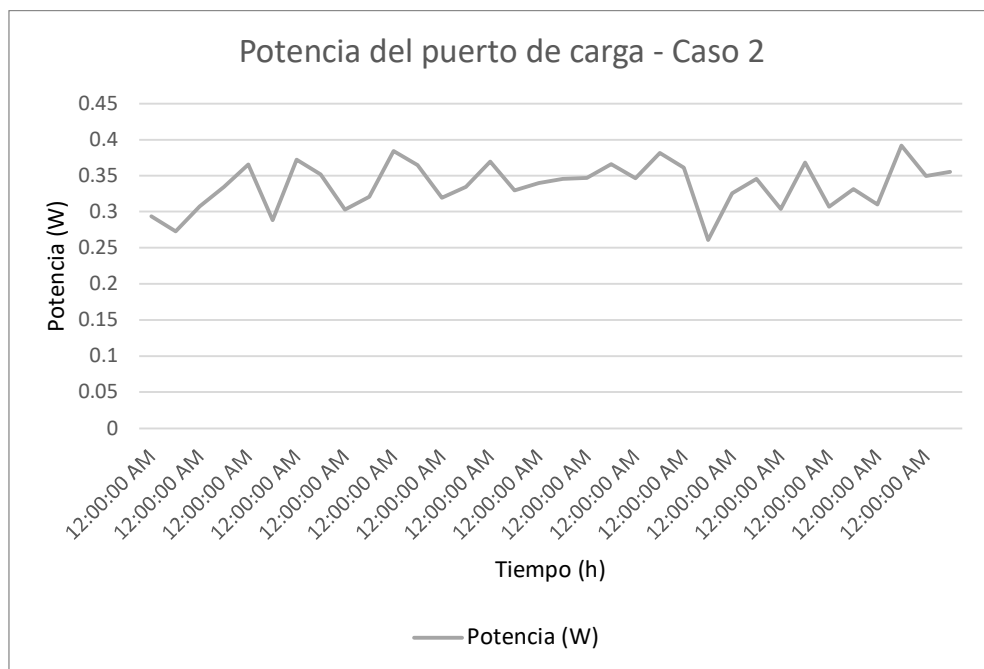


Figura 68 Potencia de la prueba del perfil de carga del puerto USB utilizando un celular Samsung S4 – Caso 2

ANEXO H: MINUTAS DE REUNIONES

Minuta 1

Fecha: 24-08-2022

Integrantes: Juan Sebastián Proaño, Martín Farfán, Julián Naranjo, Juan Fernando Salazar, Luis Naranjo

Lugar: Campus USFQ

Temas a tartar: Identificación de la problemática y requerimientos

Problemática:

- Material contaminante al desechar generadores eólicos
- Uso de generadores termoeléctricos, inclinarse a energías verdes
- Poca energía verde en el campus (no hidroeléctrica)
- Medición del viento
- Intermitencia en generación de energía (identificar el lugar menos intermitente)
- ¿Dónde hay más viento en el campus?
- Identificar el modelo para el diseño

Requerimientos:

- Monitoreo de generación eléctrica
- Fácil mantenimiento
- Resistente al interperie
- Biodegradable o más amigable con el ambiente
- Silencioso
- Meta generación de energía

Minuta 2

Fecha: 29-08-2022

Integrantes: Juan Sebastián Proaño, Martín Farfán, Julián Naranjo, Juan Fernando Salazar, Luis Naranjo

Lugar: Campus USFQ

Temas a tratar: Aclaración de dudas

Minuta 3

Fecha: 05-09-2022

Integrantes: Juan Sebastián Proaño, Martín Farfán, Julián Naranjo, Juan Fernando Salazar, Luis Naranjo

Lugar: Campus USFQ

Temas a tratar:

Investigar en el libro de Vanek (Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation

Atlas eólico del Ecuador

Rango de velocidades para determinar si el recurso es bueno en el campus

Determinar la energía disponible teórica

Definir energía para cargar un celular (cuantos y por cuanto tiempo)

Justificar porque se eligió el sitio

Definir la metodología para medir el viento

Parámetros técnicos para la selección (accesibilidad)

María del Carmen Carsola preguntar porque eligió Maxwell o conversar con planta física

Pedir autorización para subir a las terrazas

Tareas:

Ver opciones de lugares y ver la metodología para definir el lugar

Geometría

Tener opciones para los subsistemas

Minuta 4

Fecha: 14-09-2022

Integrantes: Juan Sebastián Proaño, Martín Farfán, Julián Naranjo, Juan Fernando Salazar, Luis Naranjo

Lugar: Campus USFQ

Temas a tratar: Listado de cálculos

Energía disponible

Determinar el consumo (kWh)

Determinar oferta y demanda

Meses con más y menos generación

Tamaño de las baterías para almacenar energía

Calificar la calidad (W/m²)

Realizar un histograma de las lecturas

Determinar TSR (Tip speed ratio)

Seleccionar perfil aerodinámico

Cálculos de lift y drag de perfiles (para siguiente avance)

Plan Avance 6.1:

1. Pedir datos de todo el 2021 con resolución de 15 minutos y datos de temperatura
2. Realizar histograma con esos datos (R)
3. Determinar horas de más viento y que meses (más y menos generación)
4. Determinar oferta (W/m²) “Energía disponible”
5. Determinar demanda (oferta*tiempo de uso) [kWh]
6. Determinar TSR
7. Seleccionar perfil aerodinámico

Plan Avance 6.2:

1. Cálculos de lift y drag

2. Cálculos electrónicos

Plan Avance 7:

1. Diseño mecánico de todos los componentes (fatiga y vibraciones)
2. Simulación estática (spiderplot)
3. Simulación dinámica
4. Comprobar resultados en prototipo

ANEXO I: BOSQUEJOS

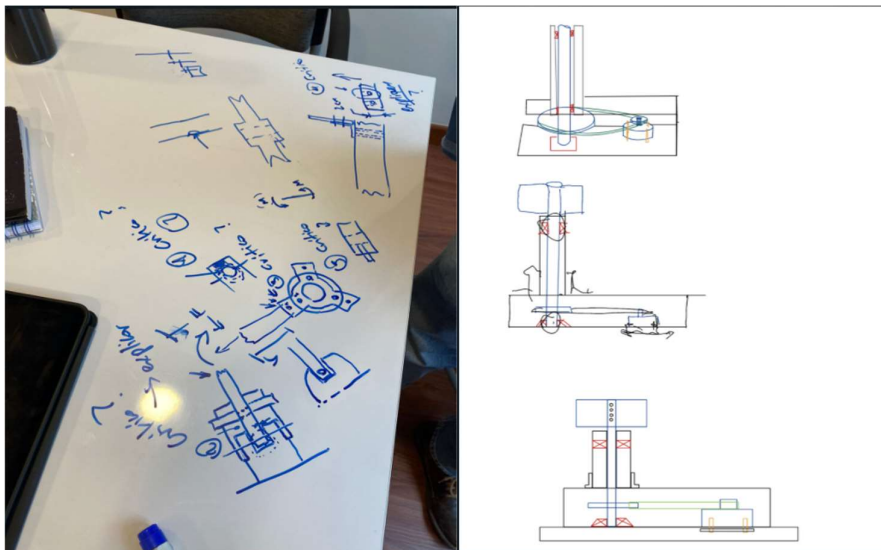


Figura 69 Bosquejos realizados durante el diseño del proyecto

ANEXO J: FACTURAS


MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE
 RUC 1714404116001
 CUMBAYA, ELOY ALFARO OE1-28 Y CHIMBORAZO
 andajesdelvalle@hotmail.com - Telf 2897 216 - 0983316 148
 Aviso: CONTRIBUYENTE REGIMEN RIMPE

Factura Electronica
 No: **16727**

FECHA: 17/11/2022
 CLIENTE: JUAN SEBASTIAN PROAÑO
 RUC: 1803882727
 DIR: TUMBACO

No: 0998251225
 COD CLTE: 702
 FORMA DE PAGO: Contado
 FECHA VENCIMIENTO: 17/11/2022

Cantidad	Descripción Producto	Precio	Importe
4.00	PRISIONERO MILIMETRICO NEGRO 5 X 20	0.1220	0.49
6.00	PERNO HEXAGONAL INOX 8 X 70	0.8036	4.82
6.00	TUERCA SEGURIDAD INOX 8MM	0.2202	1.34



RUC: 1707982821001
FACTURA
 No. 001-001-00000217
 NÚMERO DE AUTORIZACION: 211120220117079828210010010000002171234567813
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACION: 21/11/2022 12:23:00

Nombre: Charco Diego Felipe
 Dirección: Av. Amazonas OE 14-102 y Javier C. San Rafael, Quito-Ecuador
 Obligado a llevar contabilidad: NO

País Social / Nombres y Apellidos: PROAÑO JUAN SEBASTIAN
 Fecha de Emisión: 21/11/2022
 Dirección: TUMBACO

Cod. Producto	Cant.	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subtotal	Precio Sin Subsidio	Descuento	Precio Total
ALTERNADOR TRIFASICO DE	1					161.44	0.00	0.00	0.00	161.44
CONTROLADOR DE TENSION DE	1					31.27	0.00	0.00	0.00	31.27

Forma de Pago: Valor
 CANCELADO POR SUBSIDIO (Incluye IVA cuando corresponde): 0.00

Figura 70 Factura Elementos de sujeción, alternador y controlador de carga

INDUSTRIAS TECNOLÓGICAS S.A.
 RUC: 0998251225
 FACTURA
 No. 001-001-00000217
 NÚMERO DE AUTORIZACION: 211120220117079828210010010000002171234567813
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACION: 21/11/2022 12:23:00

País Social / Nombres y Apellidos: PROAÑO JUAN SEBASTIAN
 Fecha de Emisión: 21/11/2022
 Dirección: TUMBACO

IMPORTADORA ORBEA CIA LTDA RUC 1790391310001 TLF:2242412 - AV. PRENSA N.43-328 Y CAYAVALL
 AUTORIZACION/CLAVE DE ACCESO :0911202201179039131000100100000005700018507310 FACTURA ELECTRONICA: 0001-010-00008573
 CLIENTE: PROAÑO JUAN SEBASTIAN C1/RUC: 1803882727 DIRECCION: TUMBACO
 FECHA: QUITO, 09/NOV/2022 Vendedor: JIN ESTIAS HE 001608(1803882727)1:14:30:5
 F.PROMEFECTIVO: 40.24

CODIGO	DESCRIPCION	CANT. UND.	PRECIO	DESC. %	SUBTOTAL
20.11.45	POLEA DE ALUMINIO 10MM 1/2 X 11	2.00 UNIDAD *	12.7058	0.00	25.41
20.11.06	POLEA DE ALUMINIO 10MM 1/2 X 2 1/2	2.00 UNIDAD *	2.5358	0.00	5.07
20.62.18	CHUMACERA DE PARED 1" 205-16 TUNER	1.00 UNIDAD ✓	5.4465	0.00	5.45

MENTA IVA 0%: 0.00
 MENTA IVA 12%: 35.93
 12% IVA: 4.31
TOTAL FACT 40.24

Figura 71 Factura poleas y chumaceras

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE
 RUC 1714404116001
 CUMBAYA, ELOY ALFARO OE1-28 Y CHIMBORAZO
 andajesdelvalle@hotmail.com - Telf 2897 216 - 0983316 148
 Aviso: CONTRIBUYENTE REGIMEN RIMPE

Factura Electronica
 No: **16682**

FECHA: 16/11/2022
 CLIENTE: JUAN SEBASTIAN PROAÑO
 RUC: 1803882727
 DIR: TUMBACO

No: 0998251225
 COD CLTE: 702
 FORMA DE PAGO: Contado
 FECHA VENCIMIENTO: 16/11/2022

Cantidad	Descripción Producto	Precio	Importe
4.00	PRISIONERO O PULGADA NEGRO 5/16 X 3/4	0.3596	1.44
1.00	VARILLA ROSCADA INOX. MS 1MT	4.5536	4.55
8.00	TUERCA ACERO MM 5 P.0.60	0.0367	0.29
8.00	ARANDELA PLANA GALVANIZADA 3/16	0.0179	0.14

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE
 RUC 1714404116001
 CUMBAYA, ELOY ALFARO OE1-28 Y CHIMBORAZO
 andajesdelvalle@hotmail.com - Telf 2897 216 - 0983316 148
 Aviso: CONTRIBUYENTE REGIMEN RIMPE

Factura Electronica
 No: **16652**

FECHA: 11/11/2022
 CLIENTE: JUAN SEBASTIAN PROAÑO
 RUC: 1803882727
 DIR: TUMBACO

No: 0998251225
 COD CLTE: 702
 FORMA DE PAGO: Contado
 FECHA VENCIMIENTO: 11/11/2022

Cantidad	Descripción Producto	Precio	Importe
20.00	PERNO HEXAGONAL NEGRO 1/4 X 1 1/2	0.1071	2.14
40.00	ARANDELA PLANA SAE (EUROPEC) GALV 1/4	0.0367	1.43

Figura 72 Facturas de elementos de sujeción

Item	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
7861149643519	SPRAY DECORLAC T-KILL 400CM3	400121	3,053571	3,05
SUBTOTAL 3,05				
DESCUENTO Tarifa 12% 0,30				
DESCUENTO Tarifa 0% 0,00				
TOTAL SIN IVA 2,75				
Vta. tarifa 12% 2,75				
Vta. tarifa 0% 0,00				
Total Vta. Neta 2,75				
+ IVA Tar. 12% 0,33				
TOTAL A PAGAR 3,08				
IVA BIENES 0,33				
IVA SERVICIOS 0,00				
Forma de Pago:				
DEBIT PROD R: 393159 3,08				
# ORDEN: Ident: 1/22/0212/01				
Estimado cliente: Le invitamos a visitar nuestra tienda en línea: https://kywitiendaenlinea.com/ Consulte sus facturas electrónicas de COMERCIAL KYWI S.A. en www.kywi.com.ec/facturacion-electronica o ingresando a la página web del SRI con Clave de Acceso SRI 0211202201179004122 000120389030901268611790041219 Facturación Electrónica al 02-3987-970				
PARA INFORMACION Y CONSULTAS CONTACTENOS AL 1700-150-150 Lunes a Sábado de 08h00 a 20h00 Domingos y feriados de 10h00 a 19h00 ***** www.kywi.com.ec *****				

Item	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
786117901212	TUBO PVC DESAGUE 110MMX3000 SERFORZA PLAST	156744	12,491071	12,49
7852105581388	TABLERO TRIPLEX C 120CMX60CMX3MM	284602	9,651785	19,30
7862129880573	TABLON DE PINO 41X95X3950 MM2	771055	13,339286	13,34
SUBTOTAL 45,13				
DESCUENTO Tarifa 12% 0,00				
DESCUENTO Tarifa 0% 0,00				
TOTAL SIN IVA 45,13				
Vta. tarifa 12% 45,13				
Vta. tarifa 0% 0,00				
Total Vta. Neta 45,13				
+ IVA Tar. 12% 5,42				
TOTAL A PAGAR 50,55				
IVA BIENES 5,42				
IVA SERVICIOS 0,00				
Forma de Pago:				
DEBIT PROD R: 382445 25,27				
DEBIT PROD R: 382446 25,28				
# ORDEN: Ident: 15/25/0194/01				
Estimado cliente: Le invitamos a visitar nuestra tienda en línea: https://kywitiendaenlinea.com/ Consulte sus facturas electrónicas de COMERCIAL KYWI S.A. en www.kywi.com.ec/facturacion-electronica o ingresando a la página web del SRI con Clave de Acceso SRI 0211202201179004122 00012038902000499121790041217 Facturación Electrónica al 02-3987-970				
PARA INFORMACION Y CONSULTAS CONTACTENOS AL 1700-150-150 Lunes a Sábado de 08h00 a 20h00 Domingos y feriados de 10h00 a 19h00 ***** www.kywi.com.ec *****				

Figura 73 Factura madera de balsa, madera triplex, laca y pintura

ANEXO K: COMPONENTES QUE EVIDENCIAN UN TRABAJO CONTINUO

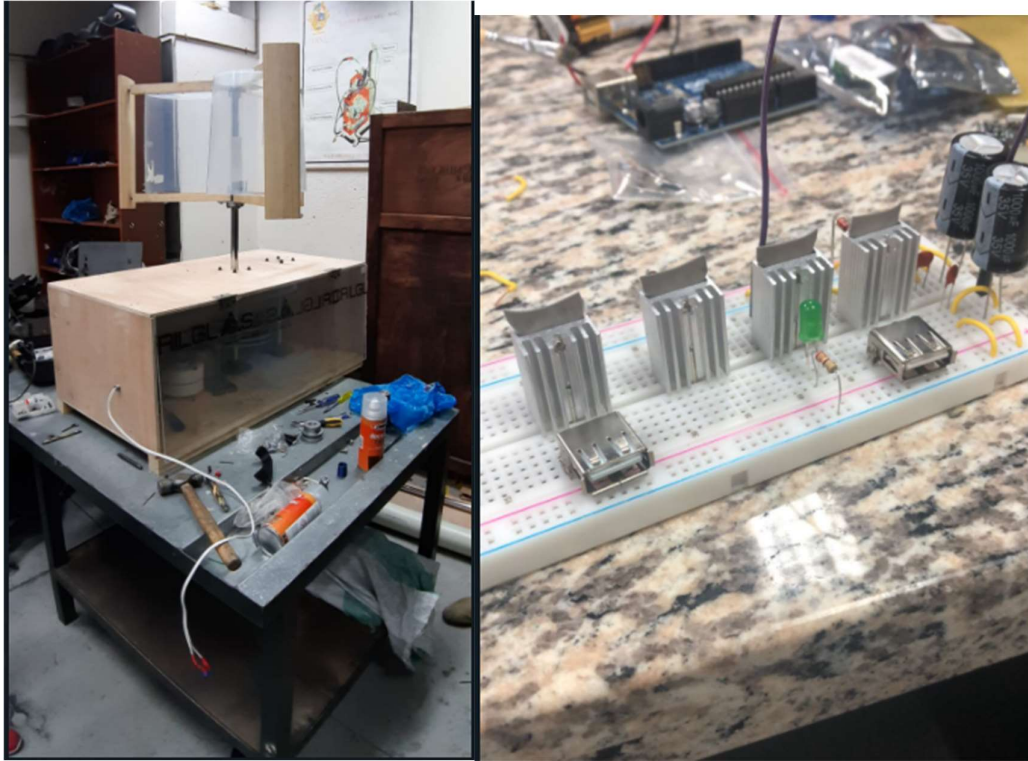


Figura 74 Prototipo del generador eólico de eje vertical construido y prototipo del puerto de carga



Figura 75 Construcción de la turbina del generador eólico de eje vertical



Figura 76 Programación del sistema de monitoreo, conexión del regulador de carga/ alternador y manufactura de la estructura principal