

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Transformación de un fuera de borda de combustión interna a eléctrico con diseño e implementación de estructura, acople y sistema de refrigeración

José Tomas Álvarez Torres

Francisco Xavier Arias Banderas

Vinício Fernando Bravo Torres

Esteban Andrés Jara Figueroa

Jhonny Elvis Lema Lema

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito

para la obtención del título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Quito, 23 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN DE
TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Transformación de un fuera de borda de combustión interna a eléctrico
con diseño e implementación de estructura, acople y sistema de
refrigeración**

José Tomas Álvarez Torres

Francisco Xavier Arias Banderas

Vinicio Fernando Bravo Torres

Esteban Andrés Jara Figueroa

Jhonny Elvis Lema Lema

Nombre del profesor, Título académico

Juan Sebastián Proaño Avilés, PhD.

Quito, 23 de diciembre de 2021

© 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: José Tomás Álvarez Torres

Código: 00203368

Cédula de identidad: 180426356-2

Lugar y fecha: Quito, 23 de diciembre de 2021

© 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: Francisco Xavier Arias Banderas

Código: 00138769

Cédula de identidad: 171823387-5

Lugar y fecha: Quito, 23 de diciembre de 2021

© 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: Vinicio Fernando Bravo Torres

Código: 00209372

Cédula de identidad: 050301436-7

Lugar y fecha: Quito, 23 de diciembre de 2021

© 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: Esteban Andrés Jara Figueroa

Código: 00123001

Cédula de identidad: 171616971-7

Lugar y fecha: Quito, 23 de diciembre de 2021

© 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:	Jhonny Elvis Lema Lema
Código:	00109893
Cédula de identidad:	100313111-5
Lugar y fecha:	Quito, 23 de diciembre de 2021

ACLARACION 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 fundación Kara Solar, quienes brindan ayuda comunitaria en la amazonia ecuatoriana, requiere reutilizar los motores fuera de borda que se encuentran obsoletos trabajando en la actualización de estos motores a combustión interna a motores eléctricos, para lo que se desarrolla una base que soporta el motor con su controlador, bajo las condiciones de torque máximo igual a 50 [Nm], un acople que permite la transferencia de potencia entre el motor eléctrico y la turbina del fuera de borda y, finalmente, un sistema de refrigeración que limita la temperatura de funcionamiento a 40[°C]. El modelado de los componentes se los realiza en el software Solidworks, su respectivo análisis de esfuerzos en el software Abaqus y el análisis de temperatura en el software Simscale, finalizando con una comparación de resultados entre los obtenidos por software y los obtenidos por cálculos manuales. El acople resiste el mismo torque, con un factor de seguridad de 75 estático y a fatiga 41.8, lo cual garantiza su vida infinita. La base del motor soporta los 25[kg] de masa total de los componentes que sostiene, presentando el máximo esfuerzo de compresión igual a 0.21[MPa], el esfuerzo cortante máximo producido por el torque es igual a $9.52E5 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ y un factor de seguridad igual a 42. Finalmente, el sistema de refrigeración logra mantener al sistema a un máximo de 39[°C] trabajando en su rango máximo de velocidad y su potencia máxima de 2800[W], teniendo una eficiencia del 70%. Posterior a la prueba de los dispositivos en el ambiente que trabajarán, el cliente se muestra satisfecho al ver cumplidos los requerimientos y limitaciones propuestas al inicio del proyecto. Se realizarán pruebas de funcionamiento a largo plazo con el fin de revisar posibles fallas en el sistema de sellado propio del fuera de borda, así como el desarrollo de empaques específicos para el nuevo sistema de soporte, el sistema de cooling blocks está bajo observación pues su mal funcionamiento pone en riesgo todo el sistema eléctrico, así como una actualización de las juntas por unas producidas específicamente para este sistema. Se tiene pensado trabajar en el diseño y construcción de un solo bloque refrigerante que permita cubrir

el área total del controlador, aumentando la eficiencia de este. El sistema de reversa se vio afectado en el proceso, pues el motor eléctrico puede cambiar su sentido de rotación. Sin embargo, se espera modificar el sistema de reversa propio del fuera de borda (sistema mecánico) para precautelar la seguridad al momento de invertir el voltaje para accionar la reversa del motor eléctrico.

Palabras clave: Agua, Acople, Base, Bote, Cooling Blocks, Eléctrico, Fuera de borda, Refrigeración, Simulación.

ABSTRACT

The Kara Solar Foundation, who provide community aid in the Ecuadorian Amazon, requires the reuse of outboard motors that are obsolete by working on the upgrade of these internal combustion engines to electric motors, for which a base that supports the engine is developed. With its controller, under the conditions of maximum torque equal to 50 [Nm], a coupling that allows the transfer of power between the electric motor and the outboard turbine and, finally, a cooling system that limits the operating temperature at 40 [°C]. The modeling of the components is carried out in the Solidworks software, their respective stress analysis in the Abaqus software and the temperature analysis in the Simscale software, ending with a comparison of results between those obtained by software and those obtained by manual calculations. The coupling resists the same torque, with a factor of safety of 75 static and to fatigue 41.8, which guarantees its infinite life. The engine base supports the 25 [kg] of total mass of the components it supports, presenting the maximum compression stress equal to 0.21 [MPa], the maximum shear stress produced by the torque is equal to $9.52E5 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ and a safety factor equal to 42. Finally, the refrigeration system manages to keep the system at a maximum of 39 [°C] working in its maximum speed range and its maximum power of 2800 [W], having an efficiency of 72%. After testing the devices in the environment, they will work, the client is satisfied to see the requirements and limitations proposed at the beginning of the project have been met. Long-term performance tests will be carried out to review possible failures in the outboard's own sealing system, as well as the development of specific packaging for the new support system, the cooling blocks system is under observation because its A malfunction puts the entire electrical system at risk, as well as an update of the gaskets by ones produced specifically for this system. It is planned to work on the design and construction of a single refrigerant block that allows to cover the total area of the controller, increasing its efficiency. The reverse system was affected in the process, as the electric motor can change its

direction of rotation. However, it is hoped to modify the outboard's own reverse system (mechanical system) to ensure safety when reversing the voltage to drive the reverse of the electric motor.

Key words: Water, Coupling, Base, Bote, Cooling Blocks, Electric, Outboard, Refrigeration, Simulation.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	24
Resumen Ejecutivo	24
Introducción	25
Enunciado del problema y especificación del proyecto.....	26
Requerimientos	27
Estándares de ingeniería	28
Estado del arte.....	31
Diseños conceptuales y selección de alternativas.....	35
Base de componentes internos de fuera de borda.	35
Sistema de refrigeración	43
Sistema de Control de temperatura Automático	49
Gestión de proyecto	51
MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
Selección de materiales y componentes.....	52
Diseño para fabricación y ensamble	52
Lista de tecnologías de fabricación y componentes para fabricar y ensamblar.....	52
Cronograma de fabricación.....	57
Indicadores de cada sistema.....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
Reporte de diseño.....	59
Diseño de fabricación	60

Resultados y discusión.....	63
Estructura metálica.....	63
Acople.....	65
Sistema de refrigeración	67
Plan de prueba de prototipo	71
Seguridad a través del diseño.....	75
Manual de mantenimiento y operación.....	79
Conclusiones.....	79
Estructura metálica.....	79
Acople.....	79
Sistema de refrigeración	80
Experimento de ingeniería para verificación	81
Trabajo Futuro	82
REFERENCIAS	83
ANEXO A: Dibujos de ingeniería.....	85
Plano No. 1: Columna hueca pequeña anterior.....	87
Plano No. 2: Columna hueca mediana central	88
Plano No. 3: Columna roscada posterior.	89
Plano No. 4: Base de anclaje.....	90
Plano No. 5: Base de motor eléctrico.....	91
Plano No. 6: Estructura de soporte de fuera de borda.....	92
Plano No. 7: Acople de fuera de borda.	93

Plano No. 8: Cilindro estriado.	94
Plano No. 9: Chaveta para acople estriado.	95
Plano No. 10: Chaveta para eje de motor eléctrico.....	96
Plano No. 11: Acople para motor eléctrico y eje de fuera de borda.	97
Plano No. 12: Cooling block.....	98
Plano No. 13: Soportes para cooling block.....	99
Plano No. 14: Sistema de refrigeración de controlador eléctrico.	100
ANEXO B: Criterios ponderados de diseño y selección.....	101
ANEXO C: Análisis de ingeniería	112
Informe de diseño base de componentes internos de fuera de borda y acople	112
Post procesamiento de resultados para cargas puntuales.....	136
Análisis de Tolerancias.	139
Informe de diseño de acople para conexión de eje de motor eléctrico.	139
Informe de diseño de sistema de refrigeración de controlador y motor eléctrico.....	156
ANEXO D: Gestión de Proyecto	182
Minuta de reuniones.....	186
Facturas	191
ANEXO E: Códigos para simulación y sistema de control.....	197
Programa EES cálculo de fuerzas cortantes:	197
Resultados completos programa EES, cálculo de fuerzas en columnas	200
Programa para configuración Arduino sistema de control	201
Anexo F: Manuales de mantenimiento y operación de dispositivos	202
Base.....	202

Acople	208
Sistema de refrigeración	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resistencia, densidad y precio unitario para diferentes metales.....	36
Tabla 2: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.....	51
Tabla 3: Cronograma de manufactura y adquisición de componentes	57
Tabla 4: Responsables del proceso de manufactura	57
Tabla 5: Indicadores para la evaluación de los tres sistemas.....	58
Tabla 6: Tabla de resultados y simulación fuerzas eje z.....	63
Tabla 7: Cálculos y simulaciones para el acople.	65
Tabla 8: Verificación del plan de prueba del prototipo	71
Tabla 9: Plan de pruebas del prototipo	73
Tabla 10: Identificación de riesgos	75
Tabla 11: Análisis Cualitativo de riesgos	76
Tabla 12: Análisis Cuantitativo de riesgos	76
Tabla 13: Riesgos y monitoreo	77
Tabla 14: Código opciones para estructura.....	101
Tabla 15: Evaluación de criterios	102
Tabla 16: Evaluación del criterio Esfuerzo de Fluencia	103
Tabla 17: Evaluación del criterio de Junta.....	104
Tabla 18: Evaluación de precio para estructura metálica	105
Tabla 19: Evaluación de espacio para estructura metálica	106
Tabla 20: Tabla de conclusiones.....	107
Tabla 21: Mejores tres opciones	107
Tabla 22: Criterios e importancia.	108
Tabla 23: Código y opciones.	108
Tabla 24: Evaluación del peso específico de cada criterio.	108

Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio Sistema automático.	109
Tabla 26: Evaluación del criterio Eficiencia.	109
Tabla 27: Evaluación del criterio Precio.	109
Tabla 28: Evaluación del criterio de Complejidad.	110
Tabla 29: Evaluación del criterio de Mantenimiento.	110
Tabla 30: Evaluación del criterio de Seguridad Ambiental.	110
Tabla 31: Tabla de conclusiones.	111
Tabla 32: Mejores tres opciones.	111
Tabla 33: Pesos aplicados en la estructura.	112
Tabla 34: Tabla de coordenadas por columna.	114
Tabla 35: Resultados cálculo de distancias en el eje x	114
Tabla 36: Resultados cálculo de distancias en el eje y	115
Tabla 37: Matriz de ecuaciones	115
Tabla 38: Tabla de resultados y simulación fuerzas eje y.	116
Tabla 39: Comparación de resultados simulación y cálculos EES.	121
Tabla 40: Análisis modal con variación de diámetros	124
Tabla 41: Datos Curva de prueba del motor.	125
Tabla 42: Especificaciones de la base.	128
Tabla 43: Especificaciones del Torque.	129
Tabla 44: Resultado de Esfuerzos y Desplazamiento por el torque aplicado.	131
Tabla 45: Longitudes comerciales para pernos [mm].	134
Tabla 46: Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso.	135
Tabla 47: Variación de resultados con mejora en discretizado.	138
Tabla 48: Propiedades mecánicas de Acero AISI 1018.	142
Tabla 49: Factores de seguridad del acople con las teorías seleccionadas	153

Tabla 50: Entalpia del agua a distintas temperaturas.....	160
Tabla 51: Coeficiente de perdidas menores	180
Tabla 52: Factor de fricción tomada del diagrama de Moody	180
Tabla 53: Componentes, tecnología de fabricación o adquisición, entidad responsable y precio	183
Tabla 54: Minuta de reuniones.	186
Tabla 55: Resumen de facturas	191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma del Chasis del Fuera de Borda.....	35
Figura 2: Tuercas alargadas de acero inoxidable.....	37
Figura 3: Modelo conceptual de la base en Acero A-36 (Propuesta I).....	38
Figura 4: Vista lateral estructura opción 2.....	39
Figura 5: Estructura con perfiles angulares.	40
Figura 6: Conexión empernada con placa superior opción 3.....	41
Figura 7: Entrada de aire para sistema mediante aire.	43
Figura 8: Espacio que ocupa el sistema mixto, dentro del cabezal.....	44
Figura 9: Sistema de refrigeración componentes sin estructura.	45
Figura 10: Sistema de refrigeración mediante agua de río.	47
Figura 11: Diagrama de circuito de control mediante Arduino.	49
Figura 12: Comparación suministro de voltaje y revoluciones por minuto.....	50
Figura 13: Diagrama de flujo plan de manufactura: Selección de opciones.....	53
Figura 14: Flujo grama proceso de maquinado.....	53
Figura 15: Diagrama de adquisición de componentes y ensamble de sistema de refrigeración	54
Figura 16. Diagrama de Flujo para la Fabricación de Varillas/Columnas.....	55
Figura 17. Diagrama de Flujo para el ensamble de la Base.....	56
Figura 18: Diagrama de flujo de los cálculos, experimentos y simulaciones hechas en esta sección.....	59
Figura 19: Esfuerzo en columna 4.....	64
Figura 20: Simulación de esfuerzo de Von Mises..	66
Figura 21: Simulación de refrigeración en configuración en serie (izquierda) y en paralelo (derecha) con SimScale.....	68

Figura 22: Simulación de sistema de refrigeración con eficiencia de controlador 72% (2800[W])..	69
Figura 23: Diagrama de cuerpo libre calculo reacciones eje	113
Figura 24: Distribución de columnas en la placa.	113
Figura 25: Resultado simulación esfuerzo solo compresión.	117
Figura 26: Esfuerzo en columna 4.	117
Figura 27: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas cortantes.	119
Figura 28: Diagrama de cuerpo libre cálculo de esfuerzos por momento flector	121
Figura 29: Esfuerzos simulación estructura completa.	123
Figura 30: Distribución de esfuerzo a través de la columna 4	123
Figura 31: Resonancia presentada en la segunda versión de la estructura	126
Figura 32: Frecuencias naturales de la estructura.	127
Figura 33: Placa base para motor eléctrico y controlador.	128
Figura 34: Interacción Global (Carga, Anclaje y Torque).	129
Figura 35: Torque aplicado.	129
Figura 36: Anclaje a cada columna. (Total restricción de movimiento).	130
Figura 37: Esfuerzos según el criterio de Von Mises.	130
Figura 38: Deformación a causa de las fuerzas externas.	131
Figura 39: Placa base y cotas de la zona de anclaje.	132
Figura 40: División de la placa para simulación.	137
Figura 41: Ejemplo de camino de nodos en simulación	137
Figura 42: Ejemplo de grafico de resultados en Abaqus recciones fuerzas eje y	138
Figura 43: Tolerancias para el proceso de torneado	139
Figura 44: Acople completo y sus partes.	140
Figura 45: Dimensiones seleccionadas del sistema de acople.	141

Figura 46: Acero AISI 1018.	142
Figura 47: Cigüeñal 6T-11442-00-001.....	143
Figura 48: Cilindro estriado hembra después de tornearlo (Fuente: SolidWorks)	143
Figura 49: DCL de acople, torque T_o y reacción T_r	144
Figura 50: Elemento infinitesimal de la parte superior del acople.	145
Figura 51: Circulo de Mohr de esfuerzos principales.....	147
Figura 52: Gráfica de energía de distorsión.....	148
Figura 53: Elemento infinitesimal de la parte superior del acople que va del eje z a x.....	150
Figura 54: Grafica de esfuerzos fluctuantes amplitud y medio.	150
Figura 55: Resultados de la simulación con Von Mises en el acople.....	154
Figura 56: Factor de seguridad en el acople en general.....	155
Figura 57: Controlador eléctrico dentro de fuera de borda.....	157
Figura 58: Esquema de controlador de motor eléctrico.	160
Figura 59: Configuración de componentes de controlador.....	162
Figura 60: Configuración de componentes de controlador. Vista frontal.....	163
Figura 61: Controlador que genera calor por perdidas.	164
Figura 62: Región del fluido a través de los "cooling blocks"	165
Figura 63: Velocidad y temperatura del fluido a la entrada del "cooling block".....	166
Figura 64: Presión a la salida del sistema de "cooling block".....	166
Figura 65: Superficies del controlador que se consideran adiabáticas	167
Figura 66: Superficies que generan el plano de simetría.	168
Figura 67: Parámetros de control de simulación.....	168
Figura 68: Distribución de temperatura después de simulación	169
Figura 69: Distribución de temperatura después de simulación.	169
Figura 70: Distribución de temperatura en el fluido después de simulación.....	170

Figura 71: Temperatura en cada superficie.....	171
Figura 72: Región del fluido a través de los "cooling blocks"	172
Figura 73: Distribución de temperatura después de simulación	173
Figura 74: Distribución de temperatura después de simulación	173
Figura 75: Distribución de temperatura en el fluido después de simulación.	174
Figura 76: Temperatura en cada superficie.....	175
Figura 77: Distribución de temperatura a 2800[W]; configuración en paralelo. Vista isométrica.....	176
Figura 78: Distribución de temperatura a 2800[W], configuración en paralelo. Vista lateral.	176
Figura 79: Temperatura en cada superficie a 2800[W]; configuración en paralelo.	177
Figura 80: Curva de funcionamiento del sistema a distintos caudales.	181
Figura 81: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.	182

INTRODUCCIÓN

Resumen Ejecutivo

Las especificaciones de los tres componentes del proyecto son las siguientes: diseñar y manufacturar una estructura capaz de sujetarse al chasis del fuera de borda, que permita posicionar el controlador y el motor eléctrico de manera que se pueda conectar el motor eléctrico a la turbina del chasis, soportando las cargas generadas por el motor eléctrico; diseñar y manufacturar un acople que permita conectar el motor eléctrico al eje del chasis y que sea capaz de soportar las cargas entregadas por el motor; finalmente diseñar y manufacturar un sistema de refrigeración que utilice los componentes encontrados en el chasis de manera que se pueda mantener la temperatura de los componentes eléctricos por debajo de la temperatura especificada para el uso de los mismos. Todas estas especificaciones deben cumplirse de la forma más simple, replicable y segura posible. Estas especificaciones fueron alcanzadas ya que la estructura y el acople permiten ubicar el controlador y el motor eléctrico, y soportar las cargas de 50 [Nm] y 25 [kg] generadas por este, además de que el sistema de refrigeración utiliza la bomba incorporada en el chasis para mantener los componentes eléctricos por debajo de los 40 [°C] especificados. Para avanzar y mejorar el proyecto se debe en el futuro implementar un método de auto alineación en el acople y la estructura metálica de manera que se reduzca la oscilación o vibraciones entre el motor eléctrico, el acople y el eje de la turbina del fuera de borda. En el sistema de refrigeración se debe optimizar el tamaño de las mangueras y las conexiones de estas al manufacturar conexiones que permitan disminuir la longitud de las mangueras y disminuir el volumen del sistema de refrigeración. Además, se debe a futuro implementar componentes protectores que permitan proteger los componentes eléctricos de fugas o salpicaduras que puedan aparecer en el uso prolongado del fuera de borda en la amazonia ecuatoriana.

Introducción

La Universidad San Francisco de Quito, en conjunto con la Fundación Kara Solar, proponen el proyecto integrador para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, este proyecto tiene lugar en la Amazonía Ecuatoriana. La comunidad Achuar tiene la dificultad de movilizarse largos trayectos para abastecerse de combustible, gastando recursos económicos y de tiempo. La fundación Kara Solar propone usar los Fuera de Borda obsoletos para adaptarles un motor eléctrico con todos sus componentes, mismos que se alimentarán de la energía obtenida de paneles solares y, posteriormente, almacenada en un conjunto de baterías.

El motor eléctrico proporcionado no es compatible con el chasis del fuera de borda, y los ejes (tanto del fuera de borda como el del motor) tienen geometrías diferentes, por lo que no se pueden acoplar directamente. Además, el controlador del sistema alcanza temperaturas demasiado altas. Durante este proyecto, se propondrán soluciones para dichas complicaciones al diseñar, manufacturar y ensamblar una base que soporte al motor, un acople que conecte los ejes y un sistema de refrigeración que mantenga el sistema bajo los 40 [°C].

Enunciado del problema y especificación del proyecto

Fundación Kara Solar es una organización ecuatoriana intercultural sin fines de lucro fundada en 2018; su misión conlleva transformar energía en los territorios críticos para, de esta manera, potenciar la tecnología y la resiliencia socioeconómica; además, de cuidar y gestionar los territorios diversos del Ecuador de forma social, económica, energética y ambientalmente sustentable. (Kara Solar, 2018)

Kara Solar desea adecuar motores eléctricos a los fuera de borda que han cumplido con su vida útil. Aquí se presentan los siguientes problemas: la geometría de los motores eléctricos no es compatible con el chasis del fuera de borda, el eje del motor es de diferente geometría en relación con el eje del fuera de borda, por lo que no se los puede acoplar de forma directa, finalmente, el motor y el controlador del sistema alcanzan temperaturas elevadas que pueden interferir con el funcionamiento de estos.

Se generan tres necesidades; la primera, comprende el diseño, fabricación y montaje de una base para el motor eléctrico que sea compatible con el chasis del fuera de borda; como segunda necesidad, se busca diseñar, fabricar y montar un sistema de refrigeración para el motor eléctrico y el controlador que se encuentran en el interior del fuera de borda; la tercera necesidad comprende el diseño, fabricación y montaje de un acople que permita transmitir el torque del eje del motor al eje del fuera de borda.

El diseño de la base del motor eléctrico y componentes adicionales se ve limitado por:

- Dimensiones internas del fuera de borda; ya que el sistema de soporte debe integrar componentes y anclarlos al fuera de borda.
- El material; esta base estará expuesta a la humedad, por lo que el material debe ser determinado en un proceso de selección entre varias opciones debido a las ventajas propias de cada uno (ductilidad, corrosión, temperatura, entre otros).

Al sistema de refrigeración se le podrá agrega un sistema de control automático capaz de encender o apagar el sistema para mantener los componentes (motor eléctrico y controlador) trabajando en el rango de temperatura que generará mayor eficiencia al sistema; para este proceso se estudiarán tres sistemas distintos para la refrigeración de los componentes: refrigeración de aire, refrigeración doble, y refrigeración mediante agua; estos sistemas se explicarán a detalle más adelante.

Requerimientos

- Estructura metálica para colocar el motor y su controlador compatible con el chasis del fuera de borda capaz de soportar un torque máximo de 50 [Nm] y la masa del motor eléctrico de 25 [kg].
- La estructura metálica debe tener una altura de 110 [mm] con una tolerancia de 0.5 [mm], con una base inferior de 238,35 [mm] de ancho y 167.86 [mm] de largo, con una tolerancia de 0.05 [mm].
- Acople rígido que permite la transferencia de torque del motor al eje del fuera de borda. Su diámetro externo no puede superar las 2 pulgadas, con tolerancia de 0.5 [mm].
- Tolerancia de la alineación del eje de rotación de 0.05 [mm].
- Sistema de refrigeración con control de temperatura para controlador y motor eléctrico que mantiene la temperatura por debajo de 40 [°C] con una tolerancia de 1 [°C].

Estándares de ingeniería

- **Norma ANSI** “*American National Standards institute*”
 - **Norma ANSI 360:** Criterios de diseño para estructuras de acero, cargas a considerar en compresión, factores de longitud específica a tomar en cuenta en pandeo.

La norma ANSI 360 fue utilizada en el proyecto para calcular la carga crítica aplicable en las columnas de la estructura, al no observarse grandes deformaciones pese a que se incrementara la carga en estas dentro de simulaciones, la norma nos ayuda a comprender que el efecto de pandeo solo se llega a alcanzar en columnas de una longitud considerablemente más largas que las utilizadas en este proyecto.

- **AWS** “*American welding society*”
 - **AWS A5.1/A5.1M:** Especificación de electrodos para aceros, soldadura de arco.

Normativa utilizada para la selección de electrodo en la unión de soldadura de columnas intermedias con la placa superior, clasificación E6010, pertenece a electrodos aplicados para tuberías y construcción de embarcación, no estas únicamente limitados para estos trabajos debida a que la orientación de este electrodo (F, V, OH, H), el electrodo puede ser útil en otros tipos de uniones que se puedan presentar durante el proyecto.

- **AWS B.1:** Criterio de inspección visual para soldadura de arco.

Permite evaluar las discontinuidades dentro de la soldadura como porosidad, generalmente encontrada en las soldaduras cilíndricas, la base del material, fisuras longitudinales, transversas y de cuello. Entre las medidas tomadas para evitar estas imperfecciones se precalentó el material base y limpio antes de realizar a la soldadura.

- **ASTM** “*American society for testing and materials*”.
 - **ASTM A307:** estándares y especificaciones para pernos de acero al carbono.

Especificación de tamaños en este caso fueron útiles para identificar el tipo de perno utilizado en el fuera de borda, estas dimensiones de perno comúnmente utilizadas en la industria, existen elementos que retrasan el ensamblaje del fuera borda donde en lugar de desmontar cada pieza únicamente se realizaron mediciones para identificar el tipo de perno para realizar la compra de ya sea varilla roscada o pernos faltantes.

- **Norma NEMA MG 1-2016:** *“Motors and generators”*.
- **Sección IV, parte 34** *“Air-Over Motor Efficiency Test Method”*.

Esta norma técnica aplica para el proyecto gracias a las especificaciones sobre la temperatura ambiente en la cual debe funcionar el motor eléctrico y las posibles complicaciones que pueden surgir en el sistema si la temperatura ambiente supera los 40 [°C]. Además, indica que los valores de temperatura mayores a los especificados pueden no generar fallos eléctricos en el motor ya que esto depende de la cubierta de este, y que puede ser compensado mediante:

1. Reducción de carga y pérdidas de calor por el motor.
 2. Diseñar el sistema para un motor de características especiales.
- **Sección I, parte 7** *“Mechanical Vibration-Measurement, Evaluation, and Limits”*

Esta norma técnica aplica para el proyecto en las vibraciones que genera el motor eléctrico sobre la estructura que lo soporta; de esta manera se pueden determinar las cargas necesarias para el diseño del soporte cuando el motor se encuentra en máximo funcionamiento.

Norma IEC: *“International Electrotechnical Commission”*

- **IC 410**

Esta norma técnica aplica para el proyecto en cuanto al método de refrigeración del motor eléctrico mediante convección libre del aire.

- **IC 411**

Esta norma técnica aplica para el proyecto en cuanto al método de refrigeración del motor eléctrico mediante un ventilador externo conectado al eje del motor.

- **IC 418**

Esta norma técnica aplica para el proyecto en cuanto al método de refrigeración del motor eléctrico mediante un ventilador externo o un sistema de intercambio de calor externo.

Estado del arte

El motor eléctrico del fuera de borda se encuentra encapsulado dentro del cabezal de potencia, al igual que un tren de potencia para un vehículo se puede incorporar bombas, radiadores y refrigerantes para realizar el intercambio de calor dentro del cabezal. Se pueden obtener mejores resultados variando la estructura interna por el que circula el refrigerante, pese a esto la estructura puede resultar compleja, lo cual puede dificultar su manufactura e incrementar el costo. Actualmente existen proyectos que buscan implementar un sistema híbrido para el intercambio de calor en motores eléctricos, este fue el caso del proyecto financiado por el centro de investigación automotriz (ARC) en colaboración con Clemson University, el cual usa refrigerantes y caloductos, también llamados tubos de termosifón bifásicos (Huang et al., 2019).

Realizar un análisis donde se involucre la combinación de dos más sistemas de refrigeración, o la variación geométrica de uno solo aporta de información, por medio de datos recolectados durante la simulación, que posteriormente se usan para el estudio y desarrollo de nuevos sistemas. En este estudio realizado por Clemson University, la estructura es una espiral que envuelve al motor, mientras que los caloductos se encuentran en un arreglo circular. En el informe se detalla los modelos matemáticos para la simulación, suposiciones físicas que se tomaron en cuenta y estrategias de control que podrían ser implementadas. Los resultados demostraron una menor generación de calor en comparación a solo utilizar el sistema de líquido refrigerante (Huang et al., 2019).

No solo las simulaciones CFD pueden aportar a la investigación y estudio de estos sistemas, variables geométricas también tienen su aporte en la mejora del desempeño del sistema como por ejemplo la placa anti ventilación reduce la resistencia por la fuerza de arrastre, es un componente de reparación común, una investigación para modificar esta placa

se llevó a cabo bajo la iniciativa de que la geometría de estas placas han sido consistentes en la industria durante muchos años, el estudio realizado por el departamento de ciencias de materiales e industria de la universidad Chalmers llevo a cabo un análisis de diferentes tipos de geometrías para este componente. El estudio detalla la fuerza involucrada, requerimientos y especificaciones, software utilizado. Como conclusión de esta investigación se determinó que los parámetros dimensionales a tomar en cuenta en el diseño serian el ángulo de asiento y la resistencia del casco (Nilsson et al., 2021). Si una investigación similar fuese a llevarse a cabo para alterar las dimensiones estructurales en el interior del fuera de borda del proyecto, se consideraría realizar varias simulaciones donde la variación geométrica se enfocaría en los perfiles y grosores de las placas.

Tener acceso a las distintas comunidades dentro de la región amazónica se ha convertido en un gran reto debido a que se encuentran completamente aisladas y no tienen ningún tipo de infraestructura vial que permita el ingreso, razón por la cual se ha buscado varias opciones de transporte como avionetas y botes fluviales que permitan el traslado hacia estas zonas. Construir vías de ingreso dentro de la Amazonía permitiría que la región tenga una rápida conexión con todas las provincias y esto ayudaría a su crecimiento económico. A pesar de todo, el sofocante clima que posee esta zona y los altos costos de construcción no permitirá que esta región se desarrolle por completo. En la actualidad, el medio de transporte más común en la Amazonía ecuatoriana es la fluvial que cruzan los ríos y que funcionan con motores fuera de borda a combustible, llevando consigo personas y con ellas sus pertenencias y mercancías (Ordoñez et al., 2015). Además, las personas encargadas de navegar estos botes se ven obligados a comprar combustible fuera del puerto y traerlos en botes. Si bien no es un problema importante para aquellos botes donde el motor es una fuente de alimentación auxiliar, pero en el caso de botes a motor y su considerable demanda de combustible se convierte en un obstáculo

considerable. Por esta razón, es urgente buscar varias alternativas de transporte sostenibles y amigables con el medio ambiente amazónico sin ponerlo en peligro.

En el año 2013, se logró construir una de las primeras embarcaciones eléctricas solares en las Islas Galápagos demostrando así, que es posible el desarrollo de estos proyectos, incentivando la educación ambiental y el turismo sostenible. Ahora bien, la fundación Kara Solar ha propuesto la alternativa de propulsión eléctrica para comenzar a solucionar los problemas de transporte fluvial, la contaminación de ríos y el ruido que generan dentro de los lugares con mucha fauna. Por otra parte, el costo inicial de toda la tecnología que se necesita para la construcción de esta embarcación es muy elevado, la velocidad con que navega por los ríos disminuye y esto se convierte en un reto más para las personas que quieran aplicarlo. Por esta razón, es necesario realizar un estudio tecno-económico para evaluar si cambiar los motores fuera de borda a combustible por un sistema eléctrico acoplado es factible o no, tomando en cuenta las siguientes condiciones; estudiando las condiciones locales de la región de la provincia Morona Santiago y proponiendo opciones de diseño de canoa solar (Jara et al., 2015).

Para la selección correcta de un sistema de canoa solar se requieren analizar varios puntos técnicos importantes. La velocidad es un factor fundamental, ya que cuando más rápido va la canoa, mayor es el consumo de energía solar. Además, se debe considerar que la velocidad a la que viaja la canoa depende mucho de la resistencia del barco a la propulsión. Para el proceso de diseño, se recomienda seleccionar una velocidad mucho menor a la velocidad que va el casco para tener resultados de simulaciones más aproximadas a las reales. Es necesario considerar que la resistencia a la propulsión que debe superar la canoa se encuentra directamente relacionado con la velocidad, desplazamiento y la forma del casco. Una vez que se tenga la velocidad y la resistencia de todo el sistema que se requiere para desplazar la canoa a la velocidad deseada, se podrá obtener la potencia de la hélice. Para obtener la potencia de

entrada se requiere de la potencia de la hélice, la potencia de los controladores electrónicos y el motor eléctrico (Ordoñez et al, 2015).

Para conocer el consumo total que tendrá la canoa, se requiere conocer la velocidad promedio a la que viajará, el tiempo de viaje, y con estos valores se podrá obtener la energía necesaria para el almacenamiento de baterías. Una vez que se tenga el consumo total de energía con el diseño y las dimensiones requeridas, se podrá determinar el tamaño de las baterías que también es en función de la tensión del motor fuera de borda eléctrico. La cantidad de baterías y las interconexiones dependerán mucho del modelo seleccionado y del tipo de batería (litio o plomo ácido). Con todos los análisis hechos anteriormente se podrá diseñar el generador fotovoltaico (kWp). Para este diseño se requieren conocer la radiación solar promedio más baja mensual (febrero) durante el año en el área de estudio (Lapko, 2016).

Una vez que se complete estos pasos de diseño se analiza si el consumo de energía es demasiado alto, entonces es probable que el espacio donde se encuentran los paneles sea mayor que el área disponible en el barco. Por esta razón se propone la opción de construir estaciones de recarga a lo largo de la ruta de viaje, en especial en los puntos estratégicos analizados, para proporcionar de energía a las baterías y así solucionar el problema de recarga. En resumen, se recomienda ubicar centros de recarga a lo largo de las rutas, ya que esto permitirá reducir el número de baterías y paneles solares fotovoltaico requeridos dentro de las canoas. Esto también tendrá efecto en la reducción de peso y aumento de espacio dentro del barco. Menos peso también significa que se reduce el consumo de energía de la hélice, lo que lleva a tener menores costos en la construcción del sistema (Ordoñez et al, 2015).

Diseños conceptuales y selección de alternativas

Base de componentes internos de fuera de borda.

El objetivo de este proyecto es diseñar la base de soporte para los componentes de un motor fuera de borda, y las dimensiones del espacio disponible al interior de la carcasa. El material con el que se va a diseñar debe ser resistente, para que tenga la capacidad de soportar el torque mínimo y la carga muerta de todos los componentes, varios materiales cumplen con este parámetro, pero los escogidos son Aluminio 6061 y Acero A36 (Tabla1) debido a que cumplen con los requerimientos propuestos, como costos, peso y resistencia (Lapko, 2016). La Figura 1 muestra un boceto del chasis donde se apoyará la placa de soporte, aquí se muestran los agujeros donde se colocarán los pernos para la sujeción de todos los soportes, columnas y componentes del motor.

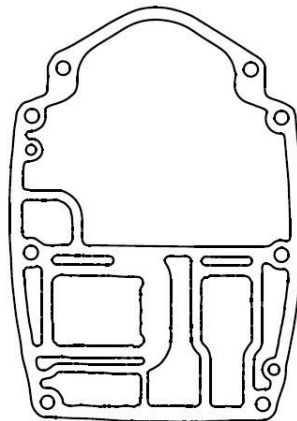


Figura 1. Forma del Chasis del Fuera de Borda.

En la figura anterior se observa la superficie del chasis del fuera de borda que se encontraba en contacto con la parte inferior del motor a combustión interna, además de encontrarse en contacto con un empaque. Es el diseño que se utilizó para modelar la base inferior de la estructura metálica.

Tabla 1: Resistencia, densidad y precio unitario para diferentes metales.

Material	Resistencia [MPa]	Densidad [kg/m ³]	Precio [\$/kg]
Aluminio 6061	155	2700	1.5
Acero A36	250	7800	0.85
Acero Inoxidable 304	205	8000	1.08

(Store de Arregui, 2021)

En la tabla presentada anteriormente se puede ver las características de los materiales considerados.

A continuación, se presentarán modelos conceptuales de las 3 mejores opciones, las cuales fueron seleccionadas bajo criterios que variaban el tipo de perfil y material, otros componentes como la placa base o la placa superior, no fueron tomados en cuenta debido a que la placa base no puede alterar su geometría, caso contrario se debería modificar el chasis del fuera de borda, en cuanto a la placa superior, esta debe cumplir con los requerimientos del cliente donde se reduce el tamaño, al eliminar componentes del sistema de refrigeración, como el tanque de refrigerante y bomba de agua, este componente es simple del cual no se derivaran criterios importantes para la selección de una estructura.

Opción 1.

La opción 1 para la base de anclaje del motor eléctrico del fuera de borda, así como el controlador, es una plancha de metal rectangular de 7 [mm] de espesor, cortada en agua, con cilindros roscados soldados en su parte inferior y agujeros para asegurar el motor y el controlador. En esta propuesta se busca disminuir el pandeo en las columnas, por eso se sugiere usar tuercas largas (Figura 2) soldadas a la placa base. Estas tuercas, con el perno dentro, forman un cilindro macizo y sólido, a diferencia de las columnas de tubo cuadrado que pierden resistencia por su agujero central.



Figura 2: Tuercas alargadas de acero inoxidable.

(lovediyxihe, 2021)

En la figura se observan las tuercas alargadas que se consideraron para el diseño.

La estructura requiere adaptarse a los requerimientos del nuevo sistema de refrigeración, por lo que el espacio que ocupe el perfil será considerado como un criterio. La estabilidad de la estructura se encuentra determinada por el tipo de junta que acopla las columnas con las placas, debido a que la inestabilidad en la primera generación se debía a la soldadura, se le dará una mejor calificación a aquellos perfiles que puedan incluir un acople empernado. El otro criterio para considerar se centra en la resistencia del material, si bien el peso del material no es un problema, se busca reducir costos en manufactura, así como en materia prima. El material seleccionado es el Acero ASTM A36, mismo que se lo encuentra a un valor de cuatro dólares el metro cuadrado, y el corte oscila entre los tres y los siete dólares para nuestro diseño. (Solomon, 2010)

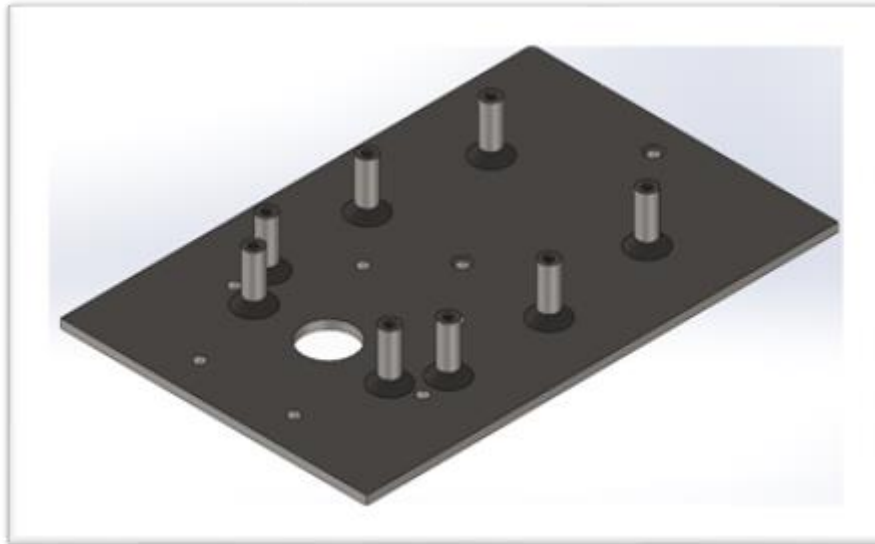


Figura 3: Modelo conceptual de la base en Acero A-36 (Propuesta 1)

En la figura se observar el modelo renderizado de la primera opción de diseño.

Componentes Opción 1.

- a. Base / Anclaje metálico para el motor eléctrico.
- b. Soporte del controlador

Opción 2.

La opción dos para el anclaje del motor y controlador eléctricos al fuera de borda, corresponde al uso de dos placas de acero A36 con un espesor de entre 8 y 10 milímetros. Estas placas corresponden a una placa inferior y una placa superior las cuales se encuentran conectadas por tubos rectangulares del mismo material los cuales se encuentran soldados directamente a las placas, como se puede observar en la figura 5. Esta opción permite y deja el espacio para asegurar la estructura al chasis del fuera de borda mediante pernos y tuercas con los cuales el fuera de borda a combustión interna era originalmente empernado.

Se requieren dos pisos en la estructura debido a limitaciones de espacio que no permitirían colocar los pernos para anclar el motor eléctrico o el controlador a la placa si solo se utilizase una placa la cual se encuentre en contacto con el chasis. Esta estructura

fue diseñada para aprovechar la entrada y salida de agua de la bomba que viene incorporada en el fuera de borda, por lo que además de los dos orificios donde se ancla el motor al eje, se dejó en la placa los orificios por donde se tiene la entrada y salida de agua desde la bomba para refrigerar los componentes electrónicos del fuera de borda adaptado. Se utiliza el mismo material de la opción uno, y por lo tanto las mismas propiedades para el material Acero A36 que se encuentran en la tabla número 2.

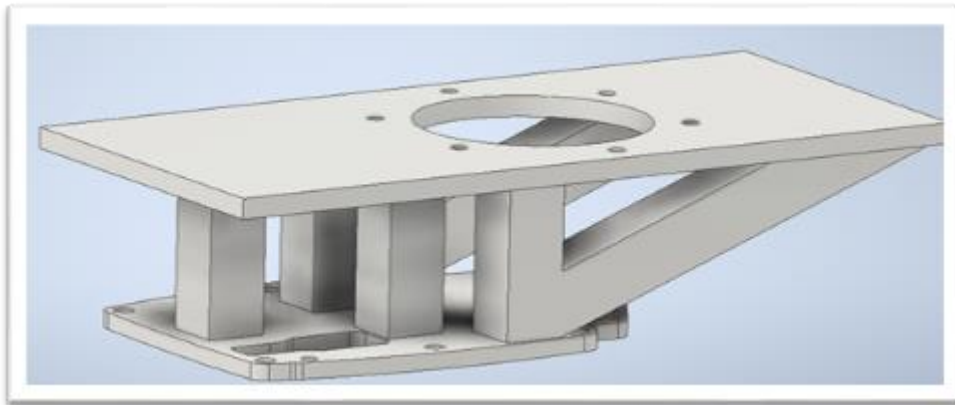


Figura 4: Vista lateral estructura opción 2

En la figura se puede observar la estructura y como esta utiliza una placa inferior la cual se ancla directamente al chasis del fuera de borda, la cual tiene los orificios necesarios para que se coloquen los pernos que utilizaba el motor a combustión, además de tener la entrada y salida del agua de la bomba del fuera de borda. Mientras que el segundo piso tiene el espacio y los orificios para colocar el motor eléctrico y su controlador.

Las ventajas de esta opción es que es fácil de manufacturar, al utilizar dos placas cortadas a laser de un material común, y unidas mediante soldadura de tubos cuadrados, además de que permite el empernar el motor, el controlador y la estructura al chasis mediante el uso de pernos y tuercas, lo que quiere decir que le da el espacio para que sean correctamente instaladas y no requieren de maquinari las entradas de los pernos directamente en las placas.

Componentes Opción 2.

- a. Base Inferior / Anclaje empernado al chasis del fuera de borda.

- b. Base Superior / Anclaje empernado del motor eléctrico y el controlador.

Opción 3.

La opción número 3 se conforma de columnas de perfil angular, en esta opción la conexión entre placa base y columnas de perfil angular se encuentran conectados por soldadura, mientras que para la placa superior y las columnas la conexión es empernada. Para esta opción se escogió este tipo de columna debido a que los perfiles angulares no ocupan mucho espacio y el costo que requiere fabricar este tipo de columnas son bajos. Para esta opción se optó que las columnas se ubiquen a los extremos de la placa debido a limitaciones de espacio.

Componentes Opción 3.

Base Inferior / Anclaje empernado al chasis del fuera de borda.

- b. Base Superior / Anclaje empernado del motor eléctrico y el controlador.
- c. Columnas de perfil angular



Figura 5: Estructura con perfiles angulares.

En la figura se puede observar el diseño para la placa superior donde se utiliza perfiles angulares para separar y ubicar las placas.

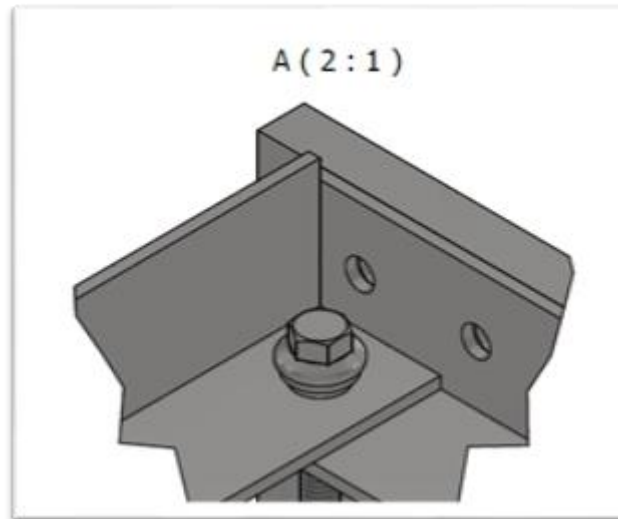


Figura 6: Conexión empernada con placa superior opción 3.

La figura muestra el tipo de uniones empernadas que existirían entre las placas y los perfiles angulares.

Para esta opción se utiliza el mismo material que en las otras dos opciones, por lo que se podría decir que tienen las mismas propiedades para el material Acero A36. La ventaja de esta opción es que no tiene complicaciones al momento de enviarlo a manufacturar y las columnas de perfil angular permiten tener más espacio.

Selección de la opción óptima para la estructura metálica.

La mejor opción, puesto que cumple de mejor forma con las necesidades del proyecto planteadas con anterioridad, es la opción 5, en la cual se utiliza un tubo cilíndrico empernado hecho con acero A36. Esto sucede, aunque este tipo de unión tenga el menor esfuerzo de fluencia, ya que, aunque tiene la menor calificación en este parámetro, es la mejor opción en precio, espacio utilizado en la estructura y el tipo de junta. Por lo que debido a que se puede incrementar el tamaño al no tener limitaciones en el peso de la estructura, se le puede entregar prioridad a los otros criterios los cuales son más importantes y en los que siempre se encuentra como mejor opción la opción de utilizar un cilindro de acero A36 empernado. La segunda opción, la opción 11 o el uso de perfiles angulares empernados y soldados de acero AISI 304,

la cual se encuentra muy cerca en el criterio de calificación a la opción de cilindro empernado es el uso de perfiles angulares que se encuentren empernados o soldados. Esta es una buena opción debido a la resistencia de esta y se muestra en el valor que obtiene en el criterio de calificación, sin embargo, se encuentra por debajo de la primera opción debido a la complejidad de esta y al espacio requerido en esta, debido a que, aunque tiene mayor resistencia y confiabilidad tiene un peor uso del espacio que la primera opción. La tercera opción, la opción 11 de perfil angular soldado y empernado de acero A36, utiliza la misma estructura de la segunda opción, pero cambia el material a acero A36, la cual de nuevo vuelve a enfrentarse al problema de la complejidad y del uso de espacio mientras que se pierde la resistencia agregada del material escogido en la segunda opción.

En conclusión, la opción más factible y conveniente para la estructura es la opción 5 de uso de tubos cilíndricos empernados de hacer A36, debido al precio del material y de la estructura, a las ventajas y seguridad que entrega este tipo de junta, al espacio bien utilizado que tiene y que permite disminuir el volumen de la estructura para mejor adaptarse al espacio limitado y, sobre todo, a la simplicidad y replicabilidad de este tipo de estructura, para garantizar que esta no falle y pueda ser recreada para el uso de la estructura en varios diferentes fuera de borda adaptados.

Sistema de refrigeración

Opción 1: Sistema de refrigeración mediante aire.

El objetivo de esta opción se centra en diseñar un sistema de refrigeración para el motor eléctrico y el controlador mediante convección natural, mecanismo mediante el cual el movimiento del fluido (aire) no es generado por una fuente externa (ventilador, dispositivo de succión, bomba, entre otros) y que por diferencia de densidades genera un gradiente de temperatura permitiendo así un intercambio de calor entre el fluido caliente y el fluido frío que ingresa al sistema (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2012); para así mantener los componentes al interior del fuera de borda en un rango de temperatura óptima.

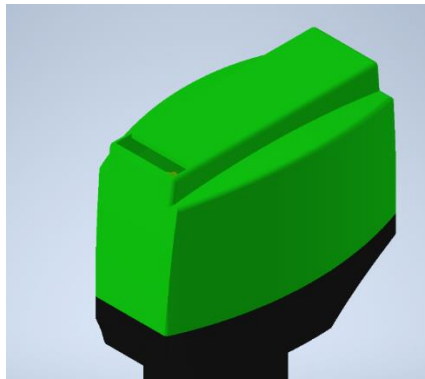


Figura 7: Entrada de aire para sistema mediante aire.

Componentes opción 1.

- a) Sistema de ventilación
- b) Sistema de Control

Subcomponentes a):

- Filtros de aire
- Disipadores de calor
- Radiador de aire pasivo
- Ventilador (opcional)

Subcomponente b):

- Arduino
- Actuador de ventilación
- Termostato
- Pantalla digital

Opción 2: Sistema de refrigeración mediante doble intercambiador de calor.

El objetivo de esta opción se centra en diseñar un sistema de refrigeración para el motor eléctrico y el controlador mediante un sistema doble el cual está conformado por un sistema que utiliza un refrigerante para extraer el calor de los componentes y un segundo sistema de refrigeración que ayuda a extraer el calor del refrigerante con ayuda del agua del río. El sistema de intercambiador de calor de doble tubo permite extraer el calor almacenado en un sistema de tuberías mediante un fluido externos que se encuentra en la tubería que engloba el primer sistema. (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2012).

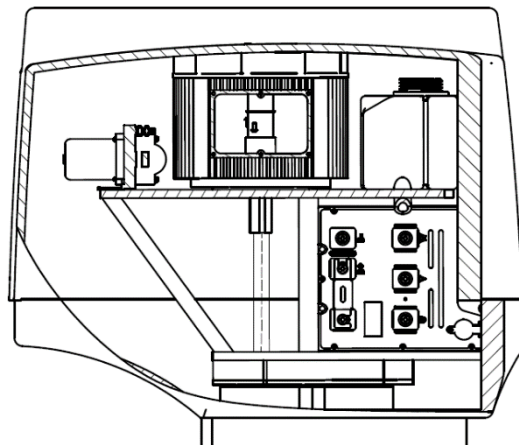


Figura 8: Espacio que ocupa el sistema mixto, dentro del cabezal.

Entre los diseños considerados, es el sistema que más espacio ocupa dentro del cabezal de potencia, su estructura se compone de 3 pisos, el refrigerante fluye desde su tanque en el

tercer piso hacia el inventor en el segundo piso, aquí el refrigerante se calienta, en el caso de incluir un sistema de control, otras componentes se podrían colocar en este piso, ya sea el sistema de control o un segundo controlador. El primer piso cuenta con el intercambiador de calor de doble tubo, donde el refrigerante se enfría con agua, el ingreso del agua se encuentra entre la placa anti- cavitación y hélice, las tuberías y conexiones empennadas se diseñaron en base al empaquetado del motor fuera de borda.

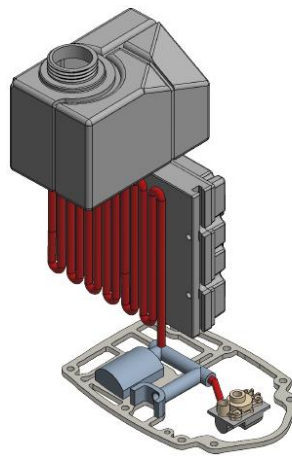


Figura 9: Sistema de refrigeración componentes sin estructura.

Para que el refrigerante se encuentre en constante circulación por todo el sistema, como se mencionó se integró otro compresor para el refrigerante, al igual que el compresor para agua, aprovecha el movimiento del eje de motor, para impulsar nuevamente el refrigerante al tanque en el piso 3.

Componentes opción 2.

- a) Refrigeración mediante refrigerante
- b) Intercambiador de calor sistema de rio
- c) Sistema de Control

Subcomponentes a):

- Tuberías
- Tanque de almacenamiento de refrigerante
- Intercambiador de doble tubo
- Compresor
- Válvula de expansión

Subcomponentes b):

- Tuberías
- Bomba de agua
- Válvula de expansión
- Filtros de agua

Subcomponentes c):

- Arduino
- Válvula unidireccional
- Termostato
- Pantalla digital

Opción 3: Sistema de refrigeración mediante agua de río.

El objetivo de esta opción se centra en diseñar un sistema de refrigeración para el motor eléctrico y el controlador mediante un intercambiador de calor que utilice el agua del río por el cual la embarcación realiza sus tareas; el proceso de intercambiar calor se da en este caso entre un sólido (componentes de fuera de borda) y un líquido (agua de río) (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2012); al tomar el agua de río como fluido para realizar este proceso no se debe colocar otro intercambiador para bajar la temperatura del agua ya que esta será una fuente de refrigeración natural.

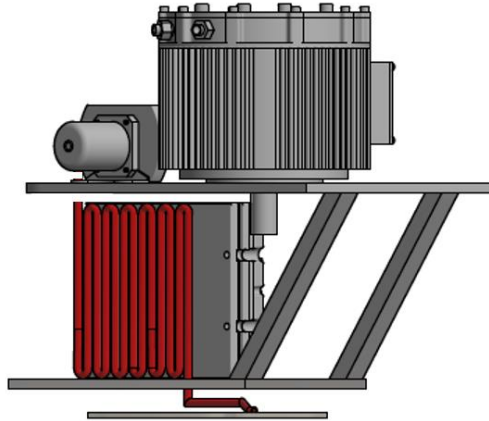


Figura 10: Sistema de refrigeración mediante agua de río.

Componentes opción 3.

- a) Intercambiador de calor con agua del río
- b) Sistema de control

Subcomponentes a):

- Tuberías
- Bomba de agua
- Válvula de expansión
- Filtro de agua

Subcomponentes b):

- Arduino
- Válvula unidireccional
- Termostato
- Pantalla digital

En conclusión, se determinó que la opción 3 es la mejor forma de mantener los componentes refrigerados, ya que la complejidad de replicación y mantenimiento del sistema son sencillos; por otro lado, la opción 4 (refrigeración mediante agua del río con controlador

automático) genera una eficiencia superior, y la complejidad de replicación es bajo. Es importante recalcar que una eficiencia para la sección del controlador es importante ya que de esto depende la eficiencia del motor fuera de borda. Se opta por realizar la opción 4 en la cual se toma agua del río y mediante una bomba anexa al eje del motor se absorbe el agua; el agua recorre por el controlador y a continuación en serie se conecta con el sistema de refrigeración del motor eléctrico. Finalmente, el agua se dirige hacia los terminales de salida, para los cuales se deben realizar adaptaciones en la carcasa del fuera de borda. La mejor combinación de opciones es entre la opción 3 y 4; pero debido a requisitos de la Fundación Kara Solar no se realiza esta opción híbrida.

Sistema de Control de temperatura Automático

Con el objetivo de incrementar el nivel de control sobre la temperatura del sistema, para prevenir que la temperatura supere los 40 °C aun así este sea utilizado a temperaturas mayores que las temperaturas máximas registradas en el oriente amazónico, se diseñó un sistema de control mediante un Arduino para el fuera de borda. En el sistema de control se utiliza un sensor de temperatura que se encuentra en el controlador y el motor eléctrico y se encuentra compartiendo información con el Arduino. En el caso de que se detecte una temperatura de 35 °C con una tolerancia de un grado centígrado el Arduino comienza a girar ventiladores eléctricos colocados en la carcasa del fuera de borda. El Arduino controla el sistema de manera que, a mayor temperatura registrada, mayor es el voltaje entregado y mayor es la velocidad de rotación de los ventiladores, teniendo una velocidad máxima de rotación en 40 grados centígrados que es la temperatura máxima a la que se deben encontrar los componentes.

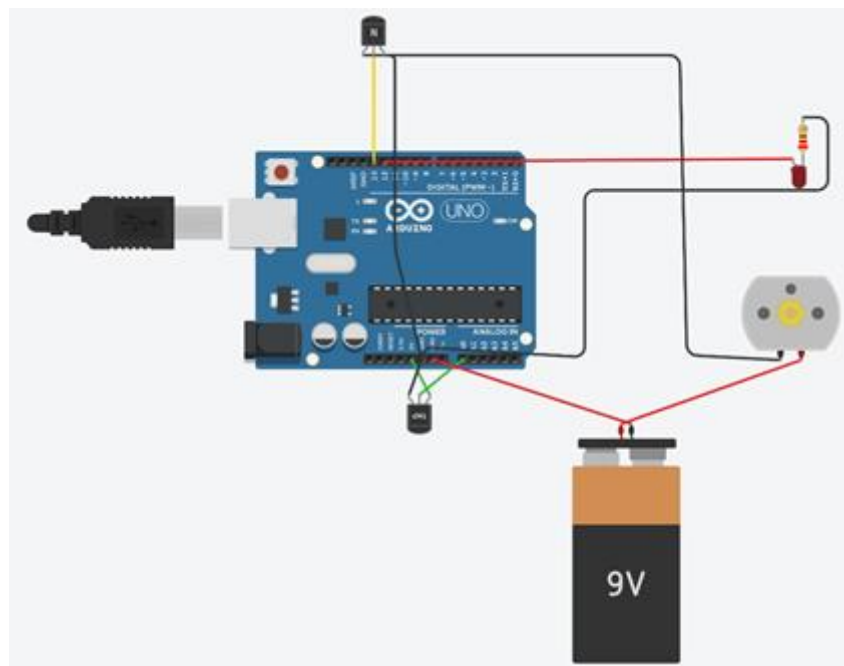


Figura 11: Diagrama de circuito de control mediante Arduino.

En la figura se puede observar el circuito de control, que permite el utilizar el fuera de borda eléctrico a temperaturas mayores a las previstas de manera que no se superen los 40 [°C]. Los componentes que se muestran en la figura son: Un Arduino Uno, una batería de 9 [V] que junto a un transistor suministra de mayor energía al motor ya que el Arduino solo posee un suministro de voltaje de 5 [V], adicional a esto también se incluyó una luz led, con el objetivo de indicar al usuario que la temperatura de 35 [°C] fue superada. Si se requiriera de más revoluciones en los ventiladores, únicamente sería necesario incrementar el voltaje suministrado como se muestra en la siguiente figura: en la se compara las revoluciones de 17552 [rpm] con una batería de 9 [V], incrementa a 50318 [rpm] con 27 [V].

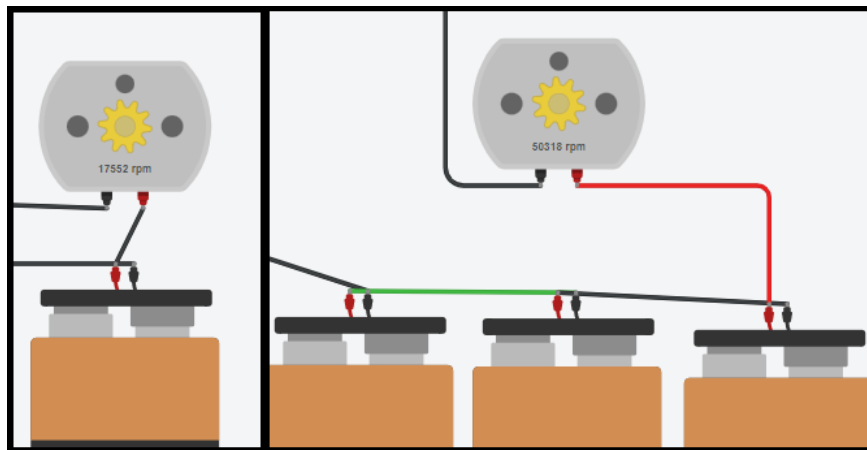


Figura 12: Comparación suministro de voltaje y revoluciones por minuto


En la figura se muestra la comparación en revoluciones por minuto del motor eléctrico que se encuentra siendo controlado por el Arduino y como estas incrementan proporcionalmente al incremento del voltaje.

Se debe tomar en consideración, que el sensor del sistema es reemplazado por los datos que proporciona el controlador. Por cuestiones de simplicidad y de requerimientos de la fundación Kara Solar como clientes no se aplicó este sistema en el prototipo final de manera que el fuera de borda solo sería utilizado en las temperaturas de la amazonia ecuatoriana y el

implementar este circuito de control incrementaría el costo del fuera de borda y el número de componentes innecesariamente.

Gestión de proyecto

Tabla 2: Cronograma de actividades por semanas de trabajo

																	
CRONOGRAMA DE TRABAJO																	
	SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	CONTACTO CON EL CLIENTE	■															
2	NECESIDADES A SOLVENTAR	■															
3	TOMA DE MEDIDAS		■														
4	REVISION DE AVANCE			■													
5	ANALISIS DE ESTRUCTURA PARA BASE DE COMPONENTES		■														
6	MODELADO DE ESTRUCTURA PARA BASE DE COMPONENTES			■													
7	OPTIMIZACION ESTRUCTURA PARA BASE DE COMPONENTES				■												
8	ARMADO DE ESTRUCTURA PARA BASE DE COMPONENTES					■	■	■									
9	ESPECIFICACIONES DE REFRIGERACION							■	■								
10	ANALISIS DE REFRIGERACION								■	■	■						
11	MODELADO DE REFRIGERACION									■	■	■					
12	ARMADO DE COMPONENTES EN MOTOR FUERA DE BORDA												■	■	■		
13	ENTREGA DE PROYECTO																■

En la tabla se puede observar el cronograma de trabajo en el que se puede evidenciar el seguimiento que se realizará para los dos proyectos. La etapa crítica del proyecto está en el punto ocho del cronograma, armado de estructura, debido a que si los prototipos y análisis realizados difieren de la estructura real entonces se generan retrasos; para solventar este problema se debe realizar prototipos de madera previos para de esta manera obtener mejor precisión. De igual manera el armado de los componentes de refrigeración; por razones similares a las anterior (para distinguir estas dos etapas críticas, en el cronograma se establecen de color naranja); para este problema se otorgó una semana más para realizar cualquier actualización o modificación del sistema. La diferencia de colores depende de la actividad y con qué subconjunto se relaciona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de materiales y componentes

La base del motor se encuentra separada en tres componentes, la base inferior la cual se encuentra conectando los componentes de la parte superior del fuera de borda con el chasis; la base superior que sostiene el motor eléctrico, y las uniones entre estas las cuales mantienen la estructura rígida y aumentan el espacio entre las placas de manera que pueda colocarse el acople entre el eje y el motor eléctrico. Para las placas inferior y superior se seleccionó acero A36 como material, esto se debe a su alta resistencia y capacidad de soportar torsión, además de su disponibilidad en la forma de planchas de 6 [mm] de espesor las cuales son requeridas para el proceso de fabricación de las placas. Para las uniones entre las barras se seleccionó acero AISI 1045 (acero de transmisión), debido a su alta resistencia a torsión y a compresión y su disponibilidad en forma de barras de 15 [mm] de diámetro, las cuales se requieren para formar las columnas que separan y unen a las placas.

Diseño para fabricación y ensamble

Lista de tecnologías de fabricación y componentes para fabricar y ensamblar.

Componentes para fabricar:

Acople

El plan de manufactura y proceso de construcción para este acople se realizó considerando que la pieza requiere maquinarse un cigüeñal para la conexión con el eje estriado, como se verá en el siguiente plan de manufactura varias alternativas se tomaron en consideración, siendo la última opción, el diseño de un acople que se adapte a las dimensiones de ambos ejes.

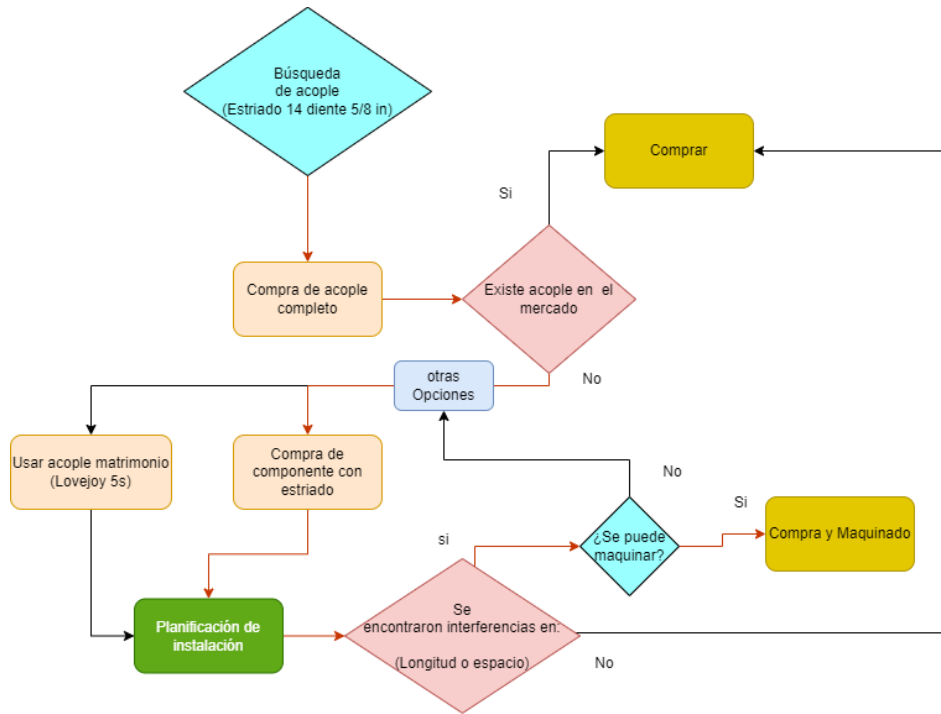


Figura 13: Diagrama de flujo plan de manufactura: Selección de opciones

En la figura se puede observar el plan de manufactura, en el cual se muestra los puntos en los que se debe comprar materiales, maquirarlos, comprobarlos y ensamblarlos.

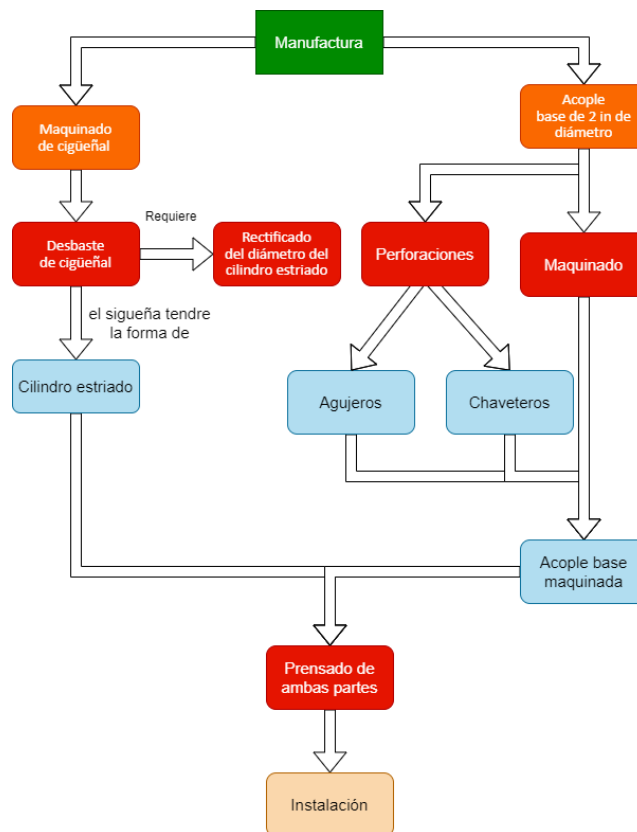


Figura 14: Flujo grama proceso de maquinado

En la figura se puede observar los procesos de maquinado y manufactura necesarios para producir el acople.

Sistema de refrigeración

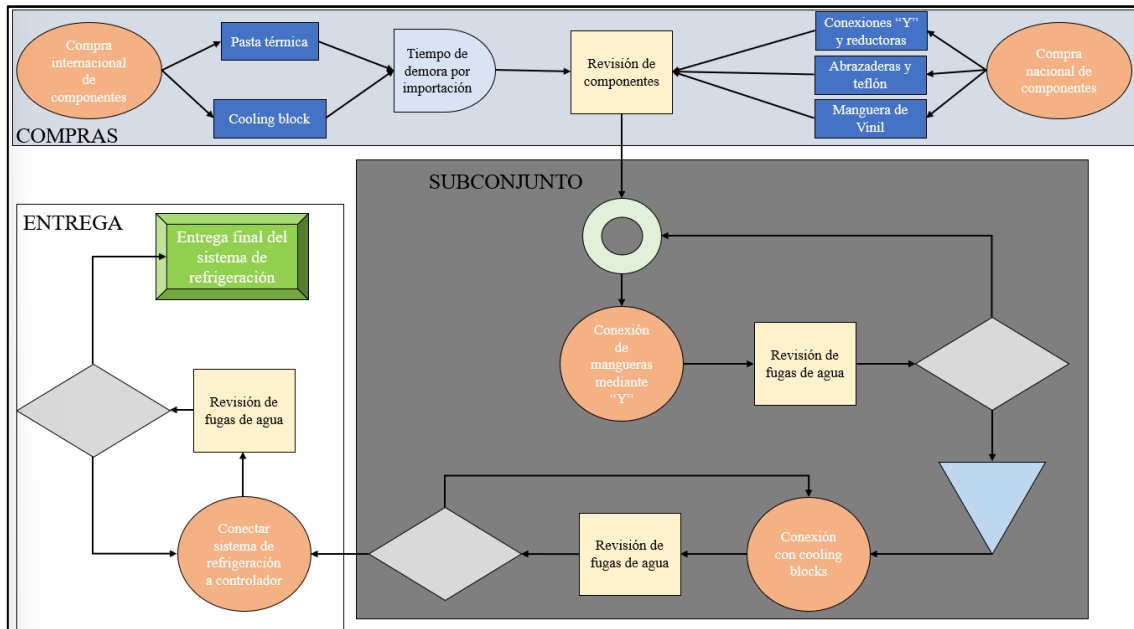


Figura 15: Diagrama de adquisición de componentes y ensamble de sistema de refrigeración

En la figura anterior se identifica el flujo de adquisición y ensamble de componentes del sistema de refrigeración del controlador. Se comienza con la compra de la pasta térmica Noctua y los Cooling Blocks de aluminio mediante Amazon; paso siguiente se procede a la importación de los componentes que genera demora. Por otro lado, se realizan las compras nacionales de conexiones “Y” y reductores de diámetro, abrazaderas, teflón y mangueras de vinil. Se realiza una revisión de los materiales para ingresar al subconjunto en el cual se realizan el ensamble de manguera, abrazaderas y conexiones de cobre, se realiza una revisión de fugas para seguir con la conexión de los Cooling Blocks en las cual se realiza nuevamente una revisión de fugas de agua. Si el sistema logra pasar las dos revisiones se procede a conectar el sistema de refrigeración con el controlador para una última prueba. Finalmente, se entrega el producto terminado con los disipadores de calor.

Estructura metálica de soporte

La tolerancia en las bases se revisa al momento de recibir las bases entregada por parte de la compañía utilizada para tercerizar el corte laser de las placas de 6 [mm] de ancho, se utiliza un calibrador electrónico para revisar el ancho de las placas y que este no exceda 6 [mm]. Se utiliza el mismo calibrador para revisar el diámetro de los huecos de los pernos de manera que tengan un diámetro de 10 [mm], 8 [mm], y de 6,5 [mm] correspondientemente. Permitiendo una tolerancia de ± 0.5 [mm] y siguiendo la norma: ANSI 360. Para las columnas se utiliza el mismo calibrado en la que se revisa su altura de 110 [mm] y que el diámetro interno del agujero sea de 8 [mm] con de nuevo una tolerancia de 0.5 [mm]. Finalmente se debe revisar que luego de que las columnas se encuentren soldadas a las bases estas se encuentren paralelas a las placas y esto se puede revisar con un graduador para revisar que tengan 90 grados con +- un grado de tolerancia. Y en las soldaduras en si se utiliza la norma: AWS A 5.1, para revisar que las soldaduras se encuentren de acuerdo con estándar y garantizar su vida útil y uso prolongado.

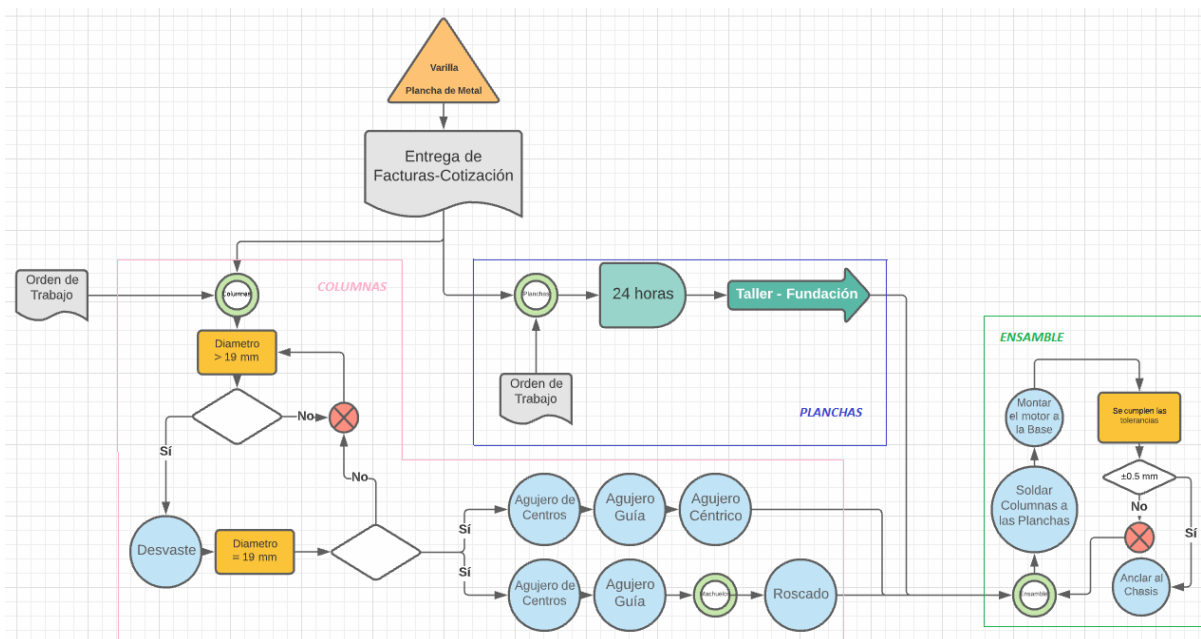


Figura 16. Diagrama de Flujo para la Fabricación de Varillas/Columnas.

En la figura se observa el diagrama de flujo desde el proceso de compra de materiales, los procesos de maquinado y manufactura, las comprobaciones de dichos procesos y los ensambles necesarios para producir la estructura metálica.

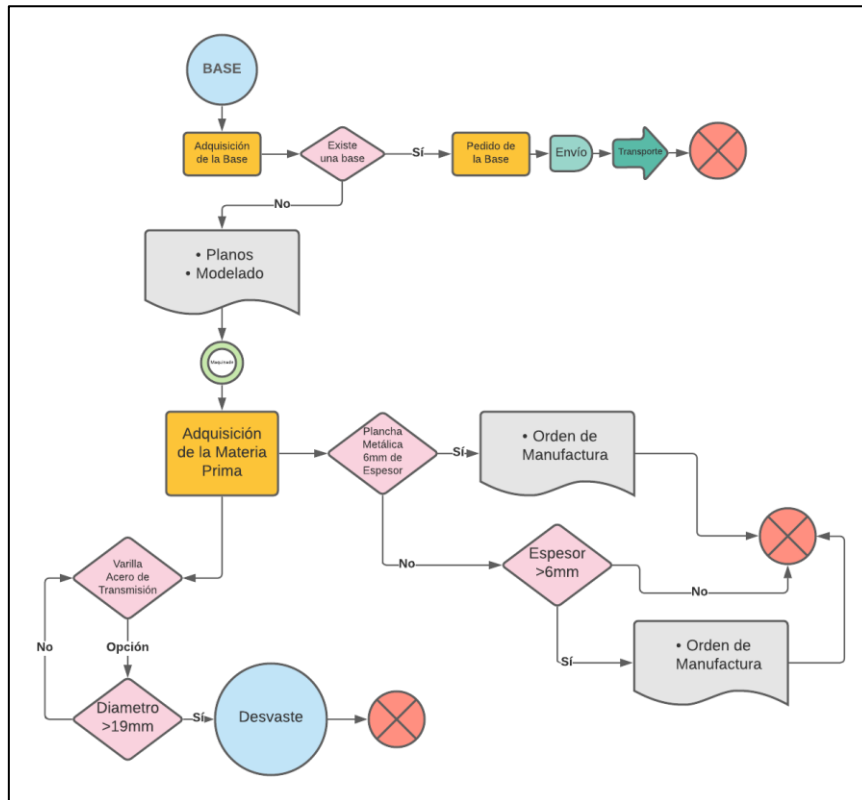
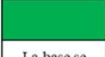
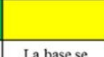
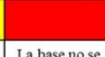








Figura 17. Diagrama de Flujo para el ensamble de la Base.

En la figura se puede observar el diagrama de flujo que presenta los procesos de adquisición de materiales y de manufactura de los distintos componentes de la estructura metálica.

Indicadores de cada sistema

Tabla 5: Indicadores para la evaluación de los tres sistemas.

Sistema	Responsable y Descripción	Sucesos de Indicadores			Indicadores
<i>Estructura</i>	Francisco Arias, Tomas Alvarez Este sistema debe controlar: Alineación entre las bases y los orificios de los pernos del chasis. Que se encuentre alineado el motor y el eje del fuera de borda. Que no exista pandeo en las placas.	 La base se encuentra alineada con los huecos del chasis, alinea el motor y el eje, y no se pandea en su uso.	 La base se encuentra alineada con los huecos del chasis, alinea el motor y el eje, pero se pandea en su uso.	 La base no se encuentra alineada con los huecos del chasis, el motor y el eje no están alineados, y se pandea en su uso.	<i>Verde</i> : No requiere correcciones <i>Amarillo</i> : Por lo menos un parámetro necesita corrección <i>Rojo</i> : El subsistema completo necesita ser reparado
<i>Acople</i>	<i>Elvis Lema</i> Este sistema debe controlar: Unión entre eje estriado y eje chavetero	 El acople se ajusta en ambos ejes a la perfección	 El acople requiere modificaciones para mejorar el ajuste	 El acople no encaja en ningún eje	<i>Verde</i> : No requiere correcciones <i>Amarillo</i> : Por lo menos un parámetro necesita corrección <i>Rojo</i> : El subsistema completo necesita ser reparado
<i>Sistema de refrigeración</i>	<i>Vinicio Bravo</i> Este sistema debe controlar: Permeabilidad (no existan fugas) Temperatura de controlador ($< 40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$)	 Sistema no consta con fugas y mantiene temperatura de controlador por debajo de 40°C	 Sistema no consta con fugas pero la temperatura del controlador superior a 40°C	 Sistema consta con fugas y la temperatura del controlador superior a 40°C	<i>Verde</i> : No requiere correcciones <i>Amarillo</i> : Por lo menos un parámetro necesita corrección <i>Rojo</i> : El subsistema completo necesita ser reparado

En la tabla se muestran los tres distintos componentes del sistema, los responsables de su correcto funcionamiento, los requerimientos de cada componente, y los indicadores mediante los cuales se va a calificar el funcionamiento de cada componente, además de los trabajos que se deben realizar en el caso de no cumplir expectativas en los indicadores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reporte de diseño

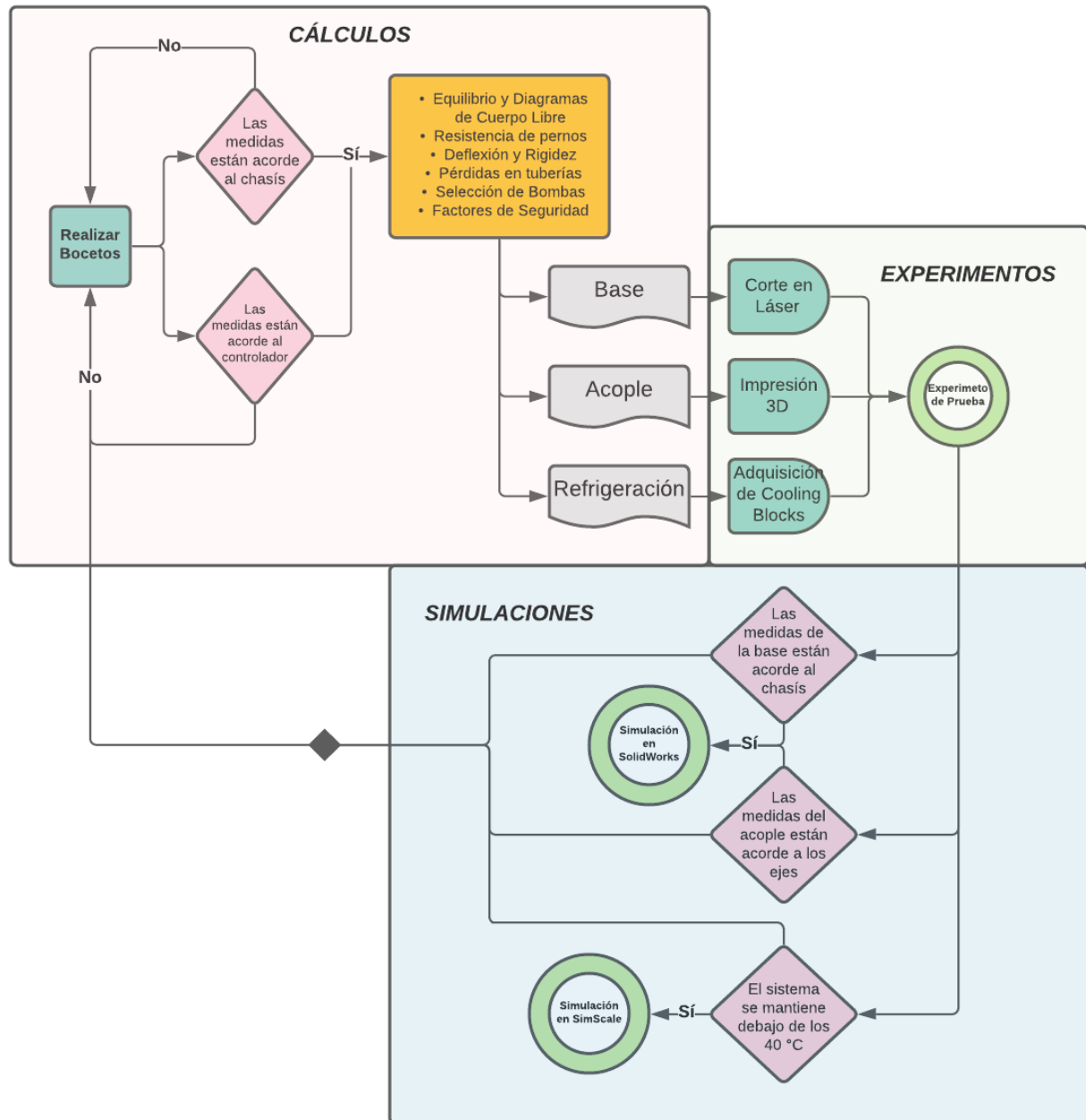


Figura 18: Diagrama de flujo de los cálculos, experimentos y simulaciones hechas en esta sección.

Nota: En *Experimentos de Prueba* se ensambló la totalidad del producto tanto de la base como del acople. Para los cooling blocks se realizó una prueba de eficiencia.

Diseño de fabricación

Estructura Metálica:

La estructura Metálica fue diseñada de manera que está pueda ser montada en el chasis del fuera de borda a combustión interna. Para esto se diseñó una placa inferior con la forma de la parte inferior del motor a combustión interna, de manera que se pueda empernar a la estructura metálica en el chasis de la misma manera que se empernaba el motor a combustión interna. Para poder sostener y ubicar el motor eléctrico se diseñó una placa superior la cual se encontraba alineada con los pernos de la placa inferior y el chasis, para poder empernar la placa superior a la placa inferior y éstas al motor eléctrico alineando lo con el eje del chasis. Para permitir la conexión entre el motor eléctrico y el eje de la turbina de manera que no sea necesario el maquinar o modificar ninguno de los dos se colocó columnas de 19 [mm] de diámetro y 110 [mm] de largo de acero de transmisión para separar ambas placas dejando espacio para un acople entre el motor y el eje. Estas columnas fueron diseñadas de manera que puedan ser empernadas donde la geometría lo permita y soldadas a las placas donde no, además que se diseñaron de manera que soporten todas las cargas operativas del motor. Con el diseño realizado se envió a cortar mediante láser en planchas de acero A36 las placas diseñadas. Y se realizó el corte y torneado de las columnas de manera que éstas tengan un roscado interno para ser empernadas y sujetar la estructura metálica al chasis. Para realizar el ensamble se empernaron las placas y las columnas con la misma ubicación en la que éstas se colocaban en el chasis, con las placas colocadas se procedió a soldar las columnas en las áreas donde la geometría no permitía empernar. Para finalizar el proceso de diseño y fabricación de la estructura metálica.

Acople:

Para realizar el acople se diseñó una unión que permita tener por un extremo la entrada estriada que tenía originalmente el motor a combustión interna del fuera de borda y por el otro extremo la entrada del motor eléctrico. Para esto se diseñó un cilindro de 2 pulgadas de diámetro el cual se maquinó en torno para tener un agujero de 1 pulgada donde entra el motor eléctrico y una chaveta que asegura y evita la rotación libre del acople. En el otro lado se tomó la entrada estriada del motor a combustión interna diseño para que se ubique en el acople de 1 pulgada interna de diámetro para permitir el transferir el movimiento entre el motor y la turbina del fuera de borda, de nuevo con una chaveta que evite la rotación libre. Con el acople diseñado y los cálculos para comprobar su funcionalidad realizados se compró la cartilla de 2 pulgadas de diámetro de acero de transmisión y se torneó de manera que la entrada estriada pueda ser prensada con la chaveta de un lado y el motor eléctrico pueda entrar por el otro al igual que en el diseño.

Sistema de Refrigeración:

El sistema de refrigeración se diseñó tomando en cuenta las temperaturas promedio y máxima donde sería utilizado el fuera de borda, el consumo energético y la eficiencia de los componentes electrónicos, y la temperatura máxima que no debe ser alcanzada para maximizar la eficiencia de los componentes. Con estos valores se llegó a la conclusión que debía diseñarse un sistema de refrigeración mediante agua para mantener la temperatura del sistema por debajo de los 40 grados centígrados que era la temperatura límite, ya que otros sistemas de refrigeración superaban esta temperatura según los cálculos y simulaciones. Con el tipo de sistema de refrigeración claro y las dimensiones de los componentes eléctricos se pasó a diseñar un sistema que utilice 4 cooling blocks que tenían el área superficial de la misma superficie del

controlador eléctrico. El tipo de conexión entre estos se decidió utilizando cálculos y simulaciones que determinaron que al conectarlos en serie se superaban los 40 grados centígrados, por lo que se debió utilizar los cooling blocks colocados en serie. Para alimentar los cooling blocks se decidió utilizar una bomba que se encontraba ya incorporada en el fuera de borda y que con el movimiento de la turbina alimentaba del agua del río el sistema. Utilizando las temperaturas promedio y máximas del agua de la amazonia ecuatoriana, además de los valores medios de caudal con el motor eléctrico conectado se llegó a la conclusión que cumplían con las necesidades de alimentación de agua para el sistema, lo que permitió se proceda a la manufactura del sistema de refrigeración. Para la manufactura del sistema se colocaron mangueras de vinilo desde las entradas de agua del chasis, hacia conexiones en Y para permitir el que agua entre en paralelo a los cooling blocks como el requerimiento que se planteó en los cálculos y simulaciones. Desde aquí el agua saldría de los cooling blocks, entraría al motor eléctrico y saldría por el desfogue ubicado originalmente en el chasis. Para ensamblar todo se utilizaron mangueras de vinil, sujetadas mediante abrazaderas en cada unión o cambio de diámetro y se probaron en el fuera de borda para identificar y corregir cualquier tipo de fuga de agua que podía aparecer en el sistema.

Resultados y discusión

Estructura metálica

Los requerimientos establecidos por el cliente, soporte de un peso de una masa de 25 [kg] y un torque de 50 [Nm], generan fuerzas de reacción en las columnas. En el caso del peso las fuerzas de reacción son similares en las columnas 1, 2, 3 a las fuerzas de reacción en las columnas 4, 5 y 6, esto se debe a la simetría de la placa superior. La siguiente tabla muestra las reacciones de cada columna en comparación a las fuerzas obtenidas en simulación, se utilizan ecuaciones de equilibrio estático para obtener estos resultados como se observa en el apéndice C, en el informe de diseño base, y el método aplicado para su simulación se encuentra en la sección de post procesamiento de resultados del mismo apéndice.

Tabla 6: Tabla de resultados y simulación fuerzas eje z.

Los resultados no presentan errores porcentuales mayores al 2.73%

Columna	RZ [N]	Abaqus RZ [N]	Error [%]
1	42.39	42.33	0.14%
2	39.47	39.53	0.15%
3	48.99	49.88	1.78%
4	41.87	41.56	0.75%
5	39.72	39.76	0.10%
6	49.56	50.95	2.73%
	262.00	264.01	0.76%

En cuanto a los esfuerzo por compresión ejercidos con estas fuerzas, varían dentro de rango de 0.19 [MPa] a 0.21 [MPa] pese a que las columnas 6 y 3 soporten más fuerza, no tiene el mayor esfuerzo de compresión esto se debe a que el área seccional de estas columnas se diferencia en su diámetro interno de 6.5 [mm] en comparación al diámetro de 10 [mm] en las otras columnas. El siguiente es un ejemplo realizado en la columna 4, que tiene un área seccional de 204 [mm²].

$$\sigma_z = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{z4} = 0.20 \text{ [MPa]}$$

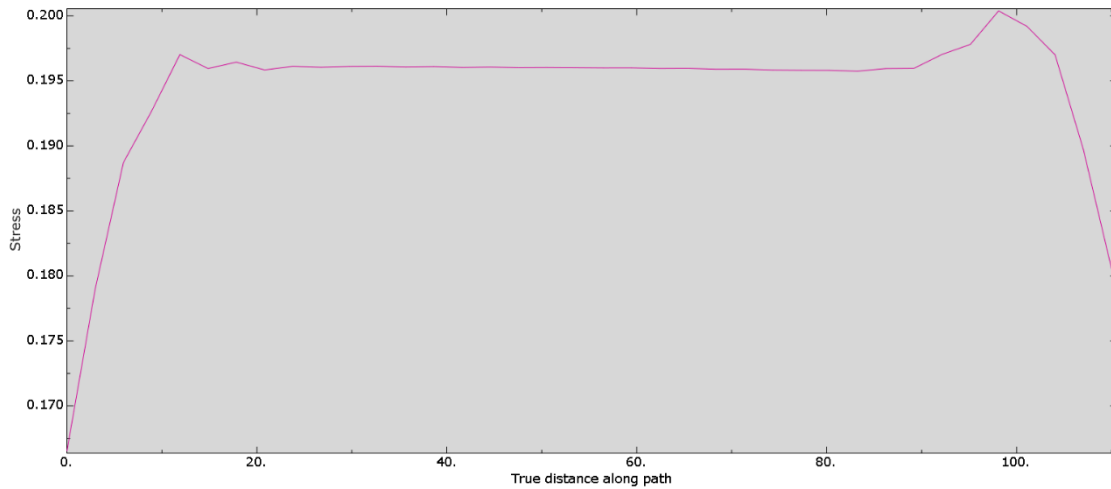


Figura 19: Esfuerzo en columna 4

Los resultados de simulación muestran que el esfuerzo promedio a lo largo de la columna es de 0.196 [MPa]

En cuanto a los esfuerzos de generados por esfuerzo cortante los esfuerzos son menores en las columnas 2 y 4, ya que la fuerzas en el eje y, van minimizándose al aproximarse al centro de la placa. Por lo que las columnas no requieren tener el mismo diámetro externo, sin embargo, se debe priorizar el gasto durante la compra de componentes, comprar un solo tipo de perfil y cortarlo es la decisión más económica, como se puede observar en el apéndice C, el factor de seguridad se calcula de la siguiente forma en la columna 4.

$$\sigma' = \frac{\left((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right)^{1/2}}{\sqrt{2}} = 15.41 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ [MPa]}}{15.41 \text{ [MPa]}} = 16.22$$

Acople

Los requerimientos establecidos por la fundación acerca del acople fueron que necesitaban un acople resistente a los 50 [Nm] y que encajara de la manera óptima en el espacio requerido, y a la vez debe encajar de forma exacta con los dos ejes de diferentes formas y diámetros. Para resolver la primera parte del problema se seleccionó un acero AISI 1018 CD de 2 [in] (50.8 [mm]) de diámetro y 91 [mm] de largo. Así mismo las medidas seleccionadas son las adecuadas con respecto a espacio, ya que no interfiere ni con las columnas, ni con las tuberías de refrigeración. Para resolver la parte de los ejes de diferente forma, se optó por utilizar un cigüeñal del mismo repuesto de fuera de borda Yamaha 40 [hp], utilizando solo la parte estriada hembra que se necesita para el eje estriado de 14 dientes que es el más difícil de conectar. Una vez que se tiene el acople completo, es necesario realizar los respectivos cálculos para conocer la confiabilidad del repuesto.

FACTORES DE SEGURIDAD DEL ACOPLA	
Estático	
Maximun Shear Strees	83.33
Distortion Energy	75.20
Fatiga	
Goodman	36.94
Gerber	41.84
Simulaciones	
71.84	

Tabla 7: Cálculos y simulaciones para el acople. Aquí se puede observar los valores de F.S con diferentes teorías en estático y a fatiga, y el valor más bajo es el de fatiga con un valor de 41.84.

En la tabla se presentan los factores de seguridad realizados con distintos métodos de cálculo para las cargas estáticas y en fatiga. Además del factor de seguridad obtenido mediante las simulaciones para el acople, donde el mínimo factor de seguridad es el de Goodman a fatiga de 41.84.

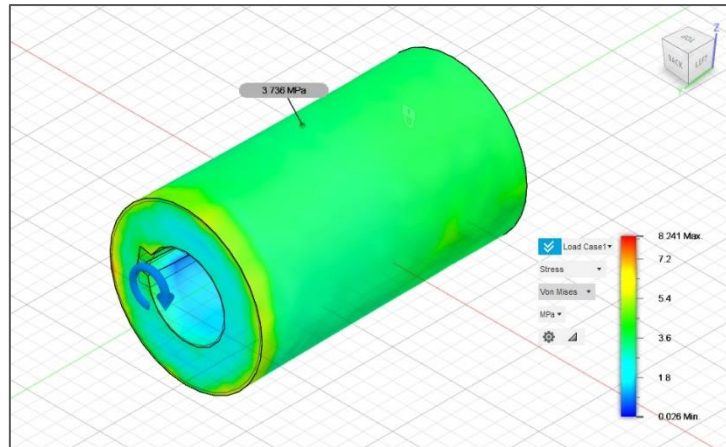


Figura 20: Simulación de esfuerzo de Von Mises. En el punto seleccionado para el análisis tenemos un valor de 3.736 y se encuentra en la región de color verde, eso quiere decir que el diseño se encuentra lejos de los esfuerzos críticos.

Se realizaron cálculos manuales y simulaciones, para los cálculos manuales se optó por hacer un análisis estático asumiendo un caso crítico, donde la parte inferior que está conectado al eje del fuera de borda queda completamente estático, mientras que la parte que va conectado al motor sigue con su torque máximo de 50 [Nm]. Esto permite ver si el acople va a resistir o no, entonces por medio de teorías estáticas y a fatiga se obtiene valores de factores de seguridad sobredimensionados, entonces se asume que el acople no va a fallar, ya que también se puede ver que en la simulación tiene valores muy aproximados a los cálculos manuales.

Sistema de refrigeración

Las ecuaciones mencionadas ayudan a encontrar una aproximación del flujo masico, caudal y velocidad inicial con la cual el fluido debe atravesar por el sistema de refrigeración para poder extraer el calor generado por las pérdidas que existen en el controlador, las cuales dependen de la eficiencia de este; como se aprecia el valor de flujo masico determinado por los cálculos manuales, $\dot{m} = 34.43 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$, no es suficiente para poder disipar el calor que se necesita para el controlador ya que la temperatura de salida del agua es superior a la temperatura máxima, razón por la cual se debe utilizar un valor superior de flujo. Basado en esta información se procede a aumentar el flujo másico hasta $\dot{m} = 77.00 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$. Con este flujo masico se determina que la temperatura de salida del agua por los “cooling blocks” es de $T_{out} = 25.28 [^{\circ}C]$, lo cual es favorable para la disipación de calor; ya que es inferior a la planteada de $35.00 [^{\circ}C]$. Al comparar este resultado con la simulación mediante SimScale se determina que la temperatura del agua a la salida del sistema es de $T_{out} = 26.02 [^{\circ}C]$ con lo que se determina un error de $E_{abs} = 2.93\%$. La simulación además entrega información sobre la temperatura de la superficie del controlador la cual se encuentra en $T_{con} = 42.51 [^{\circ}C] > 40.00 [^{\circ}C]$, por lo cual se determina que la configuración de colocar dos bloques con dos “cooling blocks” conectados en serie no es favorable y en su defecto se opta por colocar cuatro “cooling blocks” conectados todos en paralelo, para de esta manera disipar mayor cantidad de calor por cada uno de los disipadores.

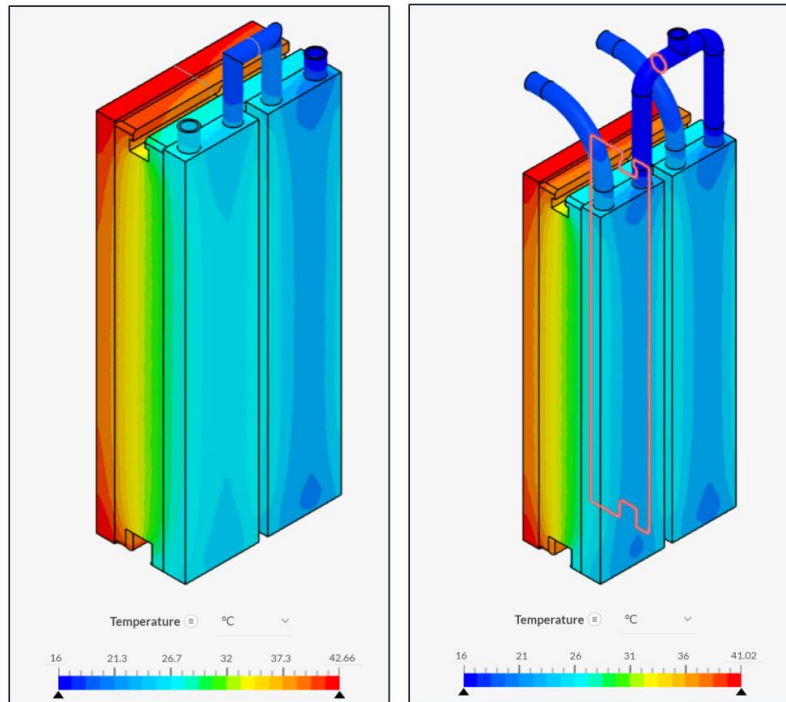


Figura 21: Simulación de refrigeración en configuración en serie (izquierda) y en paralelo (derecha) con SimScale. Se observa que la temperatura es superior a los $40[^\circ\text{C}]$. La región de color rojo es el controlador y lo más caliente.

Como segunda iteración se colocó la configuración en paralelo de los cuatro disipadores; bajo las mismas condiciones de flujo masico, temperatura de entrada, potencia que genera calor, paredes adiabáticas, y simetría. Después de correr la simulación se encontró que la temperatura más alta del sistema es de $T_{con} = 41.02 [^\circ\text{C}] > 40.00 [^\circ\text{C}]$; razón por la cual no se puede tener un rango de eficiencia del controlador de 70%. Para determinar el nuevo rango de eficiencia se realiza una serie de simulaciones en la cual se manteniendo en todas las condiciones iniciales del sistema en paralelo con una modificación de la potencia generadora de calor; finalmente se logró determinar el valor aproximado al cual $T_{con} = 40.00 [^\circ\text{C}]$, siendo así que a una pérdida de $W = 2800 [W]$ la temperatura máxima del sistema se mantiene en $T_{con} = 39.54 [^\circ\text{C}]$. Dando una eficiencia mínima del controlador a $n = 72\%$; si esta eficiencia del controlador desciende de este valor el sistema de refrigeración

diseñado queda obsoleto y se debe optar por un sistema de refrigeración externo o con otro fluido que permita retirar mayor cantidad de calor del sistema.

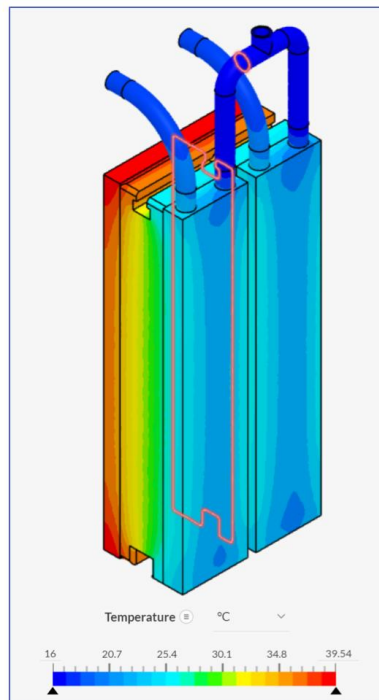


Figura 22: Simulación de sistema de refrigeración con eficiencia de controlador 72% (2800[W]). La temperatura máxima es de 39.54 [°C] inferior a los 40 [°C] deseados. De color rojo se representa la región más caliente.

La bomba de agua debe ser capaz de mantener el caudal a través del sistema de refrigeración con todos los componentes del sistema; la figura de curva de funcionamiento del sistema a distintos caudales indica la diferencia de cabeza en distintos caudales; para este sistema se determinó que un caudal de $\dot{Q} = 4.62 \left[\frac{l}{min} \right]$ lo que representa una cabeza de bomba aproximadamente $h_a = 5.82 [m]$. Una vez resulto el problema de la bomba del fuera de borda se procederá a encontrar la curva de la bomba y por consiguiente comprobar si la bomba es capaz de alimentar el sistema de refrigeración con el caudal necesario para disipar el calor generado. Una vez realizadas las pruebas de la bomba de agua del fuera de borda en

funcionamiento se pudo observar que el caudal de salida de todo el sistema es de $4.96 \left[\frac{L}{min} \right]$ cuando el motor eléctrico se encuentra al 75% de su funcionamiento y testeado dentro de un recipiente (esto disminuye la cantidad de agua que ingresa al sistema).

Los cálculos y simulaciones a detalle se encuentran en el Anexo C: *Informe de diseño de sistema de refrigeración para controlador y motor eléctrico.*

Plan de prueba de prototipo

Tabla 8: Verificación del plan de prueba del prototipo

Verificación del plan de prueba del prototipo

No.	Criterios de ingeniería	Consideraciones	Fecha de verificación			Ok	Rev.	Observaciones
			DD	MM	AAAA			
1	Costos	Presupuesto dentro del previsto	18	12	2021	X		Se ocupó \$401,19 de \$450 previstos.
2	Sistema integrado	El sistema actúa de forma independiente	14	12	2021	X		El sistema de refrigeración se activa al accionar el motor.
3	Fugas de agua	No existen fugas de agua en las conexiones	14	12	2021	X		No existen fugas en las pruebas.
4	Temperatura de controlador	La temperatura es inferior a 40[°C]	14	12	2021	X		El controlador no reporta temperaturas mayores a 40 [°C].
5	Estabilidad ejes y acople	Desalineación en líneas centrales de ambos ejes	8	12	2021		X	Existe una leve oscilación por falta de alineación.
6	Soporte de peso principal	Estructura soporta pesos superiores a los 25 [kg]	8	12	2021	X		No hay pandeo en columnas o estructura.
7	Estabilidad de la estructura	No hay resonancia con la carga del motor	8	12	2021	X		La estructura se encuentra rígida.
8	Soporte de componentes	Restricción de movimiento de los componentes	8	12	2021		X	El soporte del controlador tiene ligeras vibraciones.
9	Columnas que no cumplen las medidas	Las columnas no deben superar la tolerancia de ± 0.5 [mm]	15	11	2021	X		Las columnas se encuentran en los límites de tolerancia.
10	Pandeo en las placas base	El pandeo no debe superar al resultante de las simulaciones	15	11	2021	X		No se tiene ningún pandeo.

11	Agujeros que no cumplen con las medidas	La tolerancia del diámetro no debe superar los 0.5[mm]	15	11	2021	X		Los agujeros se encuentran en la tolerancia.
12	Pandeo en las columnas	El pandeo no debe superar al resultante de las simulaciones	15	11	2021	X		No se tiene ningún pandeo.
13	Fisuras en el acople	Se verifica visualmente que no existan fisuras al prensar el acople estriado	8	12	2021	X		No se tiene ningún tipo de grieta o fisura.

En la tabla anterior se puede observar los criterios de ingeniería con los cuales se evaluó el prototipo, cada uno con la consideración que se debe tomar para poder evaluar este criterio; la fecha en la que se realizó esta revisión, si este cumple o no con el criterio (requiere revisión), y la observación que se realizó.

Tabla 9: Plan de pruebas del prototipo

<i>Criterios de ingeniería</i>	Consideraciones	Prueba	Rendimiento Predicho	Rendimiento Actual
<i>Costos</i>	Presupuesto dentro del previsto	Costar inferior a \$600	Alto	Alto
<i>Sistema integrado</i>	El sistema actúa de forma independiente	El sistema funciona independiente	Alto	Alto
<i>Fugas de agua</i>	No existen fugas de agua en las conexiones	Accionamiento del fuera de borda	Alto	Alto
<i>Temperatura de controlador</i>	La temperatura es inferior a 40[°C]	Accionamiento del fuera de borda	Alto	Alto
<i>Estabilidad ejes y acople</i>	Vibraciones en el acople	Accionamiento del fuera de borda	Alto	Medio
<i>Soporte de peso principal</i>	Estructura soporta pesos superiores a los 25 [kg]	Se implementan el peso del motor y otros componentes	Alto	Alto
<i>Estabilidad de la estructura</i>	No hay resonancia con la carga del motor	Accionamiento del fuera de borda	Alto	Alto
<i>Soporte de componentes</i>	Restricción de movimiento de los componentes	Sujeción de componentes durante el transporte	Alto	Medio

<i>Columnas que no cumplen las medidas</i>	Las columnas no deben superar la tolerancia de ± 0.5 [mm]	Se mide con el Calibrador Pie de Rey 0.02[mm]	Alto	Alto
<i>Pandeo en las placas base</i>	El pandeo no debe superar al resultante de las simulaciones	Indicador de carátula con una base magnética	Alto	Alto
<i>Agujeros que no cumplen con las medidas</i>	La tolerancia del diámetro no debe superar los 0.5[mm]	Se mide con el Calibrador Pie de Rey 0.02[mm]	Alto	Alto
<i>Pandeo en las columnas</i>	El pandeo no debe superar al resultante de las simulaciones	Indicador de carátula con una base magnética	Alto	Alto
<i>Fisuras en el acople</i>	Se verifica visualmente que no existan fisuras al prensar el acople estriado	Verificación con lupa	Alto	Alto

En la tabla anterior se observa la prueba con la cual se evalúan los criterios para medir su rendimiento entre bajo, medio y alto; el valor que se esperaba que sea obtenido y el valor que se obtuvo. La respuesta fue satisfactoria.

Seguridad a través del diseño

En la siguiente tabla se definen los posibles riesgos que el sistema puede tener y su descripción, esto permite identificar el riesgo y plantear posibles soluciones.

Tabla 10: Identificación de riesgos.

Código	Descripción
<i>a</i>	Fugas de agua en las conexiones
<i>b</i>	Falla en el funcionamiento de la bomba de agua
<i>c</i>	Desgaste de filtros de agua
<i>d</i>	Falla de soldadura bajo cargas soportadas durante operación de fuera de borda
<i>e</i>	Falla de controlador del sistema automático
<i>f</i>	Defecto en el funcionamiento de termostato o sensores
<i>g</i>	Presupuesto inicial no adecuado
<i>h</i>	Impedimentos de aduana para la importación de componentes
<i>i</i>	Retraso con subcontratistas
<i>j</i>	Error en definición de factores de seguridad
<i>k</i>	Sedimentación en tuberías del sistema de refrigeración
<i>l</i>	Falla en ajuste de base debido a la tolerancia
<i>m</i>	Error de pretensión de uniones roscadas
<i>n</i>	Generación de fisuras o grietas debido a falta de lubricación del acople

En la siguiente tabla se muestra el análisis cualitativo de riesgos en los cuales se evalúa el impacto de cada uno en relación con la probabilidad de que suceda; como se puede apreciar los riesgos “a” y “k” son los que se debe prestar más atención al momento de probar el prototipo.

Tabla 11: Análisis Cualitativo de riesgos.

Impacto	<i>Severo</i>	d, l, m	a	
	<i>Mediano</i>	b, c, e, f, n	j	
	<i>Bajo</i>		g, h	k
	<i>Nulo</i>	i		
		<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>
		Probabilidad		

En la siguiente tabla se muestra el análisis cuantitativo de los riesgos del sistema dando valores a la importancia del riesgo; mientras más alto es el valor el efecto negativo que tenga sobre el prototipo el mayor. El riesgo “a” tiene un valor de 20 por lo cual es el riesgo para tomar en consideración.

Tabla 12: Análisis Cuantitativo de riesgos.

Impacto	5	5 (d)	10 (l, m)		20 (a)	
	4	4 (b, n)				
	3	3 (c, e, f)	6 (j)			15 (k)
	2			6 (g, h)		
	1	1 (i)				
		1	2	3	4	5
		Probabilidad				

Tabla 13: Riesgos y monitoreo.

Código	Descripción	Prioridad = Impacto * Probabilidad	Responsable	Decisión tomada	Estatus	Observaciones
a	Fugas de agua en las conexiones	20	Tomas Álvarez	Reducir: realizar pruebas externas	Vigente	Reemplazar conexiones o empaques
b	Falla en el funcionamiento de la bomba de agua	4	Francisco Arias	Prepararse: reservar fondos para reemplazar	Vigente	Analizar correcto funcionamiento de bomba previo funcionamiento del sistema de refrigeración
c	Desgaste de filtros de agua	3	Vinicio Bravo	Prepararse: comprar varios filtros	Vigente	Reemplazar con filtros nuevos
d	Falla de soldadura bajo cargas soportadas durante operación de fuera de borda	5	Elvis Lema	Reducir: realizar inspección visual de juntas soldadas	Vigente	Posible revisión de juntas soldadas mediante ensayos no destructivos (tintas penetrantes)
e	Falla de controlador del sistema automático	3	Esteban Jara	Mitigar: reemplazar con nuevo controlador	Vigente	Validar funcionamiento previo montaje
f	Defecto en el funcionamiento de termostato o sensores	3	Tomas Álvarez	Mitigar: reemplazar con nuevos sensores	Vigente	Reemplazar con termostatos o sensores nuevos
g	Presupuesto inicial no adecuado	6	Francisco Arias	Prepararse: reservar fondos para posibles pertinentes	Vigente	-
h	Impedimentos de aduana para la importación de componentes	6	Vinicio Bravo	Prepararse: buscar varios proveedores para importación de componentes	Vigente	Buscar personas que vengan del exterior para importar productos

i	Retraso con subcontratistas	1	Elvis Lema	Asegurar: realizar un contrato con fechas de entrega	Vigente	Penalización económica bajo acuerdo
j	Error en definición de factores de seguridad	6	Esteban Jara	Reducir: realizar distintas revisiones	Vigente	Las revisiones se realizarán con los miembros del equipo
k	Sedimentación en tuberías del sistema de refrigeración	15	Tomas Álvarez	Prepararse: reservar fondos para limpieza de tuberías	Vigente	Realizar limpiezas periódicas de tuberías
l	Falla en ajuste de base debido a la tolerancia	10	Francisco Arias	Reducir: considerar tolerancias adecuadas	Vigente	Revisar tolerancias después de fabricación
m	Error de pretensión de uniones roscadas	10	Vinicio Bravo	Reducir: analizar el pretensionamiento máximo	Vigente	Utilizar torquímetro
n	Generación de fisuras o grietas debido a falta de lubricación del acople	4	Elvis Lema	Evitar: lubricar el acople	Vigente	Revisar periódicamente el desgaste del lubricante

Manual de mantenimiento y operación

Revisar la sección de anexos:

Anexo F: Manuales de mantenimiento y operación de dispositivos.

Conclusiones

Estructura metálica

Para el diseño de la estructura se utilizaron los siguientes componentes: base inferior, base superior, columnas de apoyo. En la base inferior se tomó la forma de la parte inferior del fuera de borda que originalmente se empernaba en el chasis, de modo que se puedan utilizar los mismos huecos para empernar la nueva estructura al chasis. También se tomaron las medidas de manera que se pueda asegurar la correcta ubicación y conectividad de la estructura mecánica al chasis, permitiendo una tolerancia de 0.05 [mm].

En la placa superior se tomaron las medidas de los pernos de la placa inferior y se otorgó el espacio y orificios necesarios para poder colocar y sujetar el motor eléctrico de manera que este se alinee con el eje de la turbina con una tolerancia de 0.05 [mm]. Utilizando los valores de las cargas y torques se decidió el espesor de la placa requerido para soportar dichas cargas con la geometría necesaria. Se selecciono un diámetro de columnas basándose en disponibilidad, costos, material y facilidad de manufactura de manera que la estructura cuente con factores de seguridad

Acople

El punto de interés para comparar los valores calculados es un elemento infinitesimal (ver Figura 40). En esta sección el esfuerzo de Von Mises es de 3.74 [MPa] y el calculado es 4.92 [MPa]. Con respecto al factor de seguridad, en la simulación se obtuvo un factor de 71.84 y el calculado es de 75.20. Esta diferencia se debe por las secciones creadas para la simulación, también significa que hay un concentrador de esfuerzo que está afectando los resultados. De la

misma manera al realizar un error porcentual de ambos resultados se obtuvo un valor de 4.15%, el cual quiere decir que los cálculos se aproximan a los resultados de las simulaciones.

Sistema de refrigeración

Para el diseño del sistema de refrigeración se utilizaron los siguientes componentes: cooling blocks, conexiones “Y” y reductores de diámetro de cobre, empaques y mangueras de vinil.

Los cooling blocks de aluminio se utilizaron para disipar el calor generando por el controlador del motor eléctrico. Una vez realizadas las pruebas pertinentes se determinó que los cuatro disipadores conectados en paralelo fueron capaces de disipar el calor necesario del controlador y de esta manera mantener la temperatura por debajo de los 40[°C]; además, una vez puesto el sistema completo en funcionamiento no se observaron fugas en las conexiones de los cooling blocks.

Las conexiones en “Y” y los reductores de diámetro de cobre permitieron la conexión de las mangueras con la entrada y salida del agua, cooling blocks y motor eléctrico. La principal complicación se basó en el evitar las fugas de agua que existan ya que estas podrían dañar los componentes internos del fuera de borda.

Los empaques utilizados en el fuera de borda permitieron que se mantenga un sistema hermético en la parte superior y que de esta manera no fluya el fluido al interior. Las mangueras de vinil lograron transportar el agua del río hasta los distintos componentes a enfriar.

Experimento de ingeniería para verificación

Mediante el funcionamiento del sistema, se pone a prueba la estabilidad del sistema, la estructura fue diseñada para soportar una carga de 25 [kg] y 50 [Nm] , la carga en prueba incluye el peso del motor 48V/12 [kW] de 17 [kg], un torque máximo de 27.43 [Nm], por lo que el sistema no presento falla en ningún momento durante la prueba tampoco se observaron vibraciones en la estructura, sin embargo, estas se visualizaron en el acople entre ejes, el efecto observado en este caso se debe a la desalineación entre los ejes.

En cuanto al sistema de refrigeración se realizaron dos pruebas desconectando primero la entrada de caudal del fuera de borda y se utilizó una bomba de agua de 12[V], para observar si existían fugas, se observaron fugas en la sección de salida, estas secciones fueron selladas para proceder con la verificación experimental a la entrada del caudal, en esta ocasión se desconecta la entra al motor y se observa si existe fugas. Posterior a esto se realizó una prueba con el motor en operación, la bomba operaba al estar sumergida en un tanque, el sistema opero como se esperaba, sin embargo, la prueba no duro por mucho tiempo al vaciar el tanque de agua.

Trabajo Futuro

Pese a que el sistema no presenta fugas durante las pruebas es necesario considerar un mejor control de este riesgo, ya que una fuga en la conexión en las entradas y salidas de los bloques refrigerantes puede dañar los componentes internos del fuera de borda. Se requiere el diseño de una cubierta para el controlador para que pese a darse una fuga, por choque, se minimice la probabilidad de dañar este y otros componentes. Entre las opciones puede considerarse un sistema similar al fuera de borda Elco-EP50, que cuenta con un controlador a prueba de agua. Entre otras opciones se ha puesto en consideración minimizar las entradas y salidas con un solo bloque refrigerante, sustituir las abrazaderas por conectores de goma que generalmente se utilizan con los bloques refrigerantes en computadoras.

Uno de los problemas principales que presentó el acople fueron las vibraciones al instante en que el motor eléctrico se encendía, donde se observó que el causante era el eje estriado (es el que va conectado directamente a la hélice) debido a que no se encontraba completamente alineado por el uso que ya tenía. Por esta razón, se plantea como trabajos futuros, el diseñar una chumacera en la parte inferior del acople donde va conectado el eje estriado. Se plantea instalar la chumacera por medio de soldadura, alrededor del agujero de la base del chasis por donde sale la punta del eje estriado. Así mismo se plantea colocar un rodamiento axial alrededor del cilindro estriado, y junto con la chumacera debe haber presión entre todos estos componentes para que todo esté fijo.

REFERENCIAS

- ABAQUS. (2021). *Abaqus: Analysis User's Manual*, vol5. Palo Alto, CA: ABAQUS Inc.
- American National Standard (2012). *Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*. American Welding Society and ANSI
- AISC. (2010). *Especificación ANSI / AISC 360-10 para Construcciones de Acero* (C. A. Ahumada (ed.)). Asociación Latinoamericana del Acero. http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/especificacion_ansi-aisc_360-10_para_construcciones_de_acero.pdf
- Autodesk. (2021). *Fusion 360: Instruction manual*. Mill Valley, CA: Autodesk, Inc.
- Autodesk. (2021). *Inventor 2020: Engineer's Handbook*. Mill Valley, CA: Autodesk, Inc.
- Autodesk. (2021). *Tinkercad: Learn how to use Tinkercad*. Mill Valley, CA: Autodesk, Inc.
- Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., & Dewitt, D. (2012). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Jefferson City: Jhon Wiley & Sons.
- Celis Bustos, A. E. (2019). *Análisis de las fuerzas utilizadas en el diseño de los pernos de anclaje en estructuras industriales de acero*.
- Hibbeler, R. C. (2010). *Mechanics of materials* (T. Quinn (ed.); 8th ed.). Pearson Prentice Hall
- Kappos, I., & Andreas, J. (2002). *Dynamic loading and design of structures*. Spon Press
- Kara Solar. (2018). *Kara Solar*. Retrieved from Kara Solar: <https://karasolar.com/about-us>
- Lapko, A. (2016). *The use of auxiliary electric motors in boats and sustainable development of nautical tourism – cost analysis, the advantages, and disadvantages of applied solutions*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516306457>

- lovediyxihe. (2021, Noviembre 26). *Amazon*. Retrieved from Amazon.es: t.ly/uSEI
- Noctua. (2021). *NT-H1 Thermal Paste 3.5g*. Obtenido de <https://gzhls.at/blob/ldb/9/7/e/d/cc98b4cc094bfd53bfe60043e4eb714517f5.pdf>
- Pisarek, Z., & Kozłowski, A. (2006). End-plate steel joint with four bolts in the row. *Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures, 1*, 257-266.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Shabany, Y. (2010). *HEAT TRANSFER THERMAL MANAGEMENT OD ELECTRONICS*. Boca Raton: CRS Press Taylor & Francis Group.
- SimScale. (5 de Enero de 2021). *SIMSCALE Documentation*. Obtenido de SimScale: <https://www.simscale.com/docs/>
- SimScale. (30 de Septiembre de 2021). *SIMSCALE Tutorials and User Guides*. Obtenido de SIMSCALE Documentation: <https://www.simscale.com/docs/tutorials/>
- Solomon. (2010). Deformation induced martensite in AISI 316 stainless steel. *Revista de metalurgia*, 121.
- Store de Arregui. (2021, Octubre 25). *Amazon*. Retrieved from amazon.es: t.ly/VExr
- Yamaha. (2017). Service Manual. (pág. 199). Iwata: Yamaha Motor Co.
- Yamaha. (2021). *Odds and Ends* . Obtenido de Yamaha Other key items: <https://maintenance.yamahaoutboards.com/other-key-items/>
- Yamaha. (2021). *OWNER'S MANUALS*. Obtenido de Yamaha outboards: <https://yamahaoutboards.com/en-us/home/owner-resources/all/owners-manuals>

ANEXO A: DIBUJOS DE INGENIERÍA

A continuación, se presenta la lista de planos de los tres componentes del fuera de borda los cuales fueron realizados por los miembros del grupo para facilitar el proceso de fabricación y ensamblaje del sistema.

- 1. Plano No. 1** Columna hueca pequeña anterior.

Formato de Hoja: A4
- 2. Plano No. 2** Columna hueca mediana central.

Formato de Hoja: A3
- 3. Plano No. 3** Columna roscada posterior.

Formato de Hoja: A3
- 4. Plano No. 4** Base de anclaje.

Formato de Hoja: A3
- 5. Plano No. 5** Base de motor eléctrico.

Formato de Hoja: A3
- 6. Plano No. 6** Estructura de soporte de fuera de borda.

Formato de Hoja: A1
- 7. Plano No. 7** Acople de fuera de borda.

Formato de Hoja: A3
- 8. Plano No. 8** Cilindro estriado.

Formato de Hoja: A3

9. Plano No. 9 Chaveta para acople estriado.

Formato de Hoja: A4

10. Plano No. 10 Chaveta para eje de motor eléctrico.

Formato de Hoja: A4

11. Plano No. 11 Acople para motor eléctrico y eje de fuera de borda.

Formato de Hoja: A3

12. Plano No. 12 Cooling block.

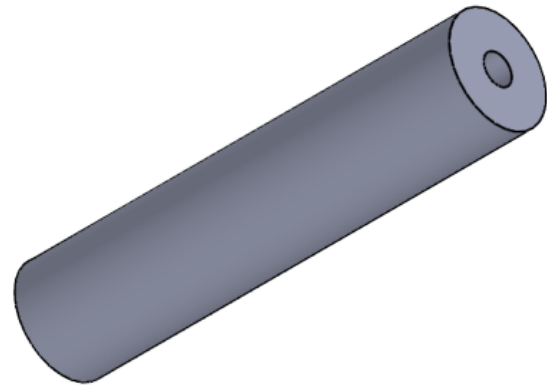
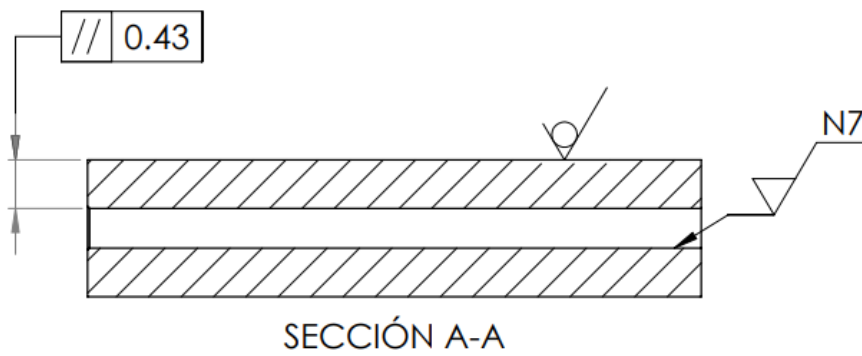
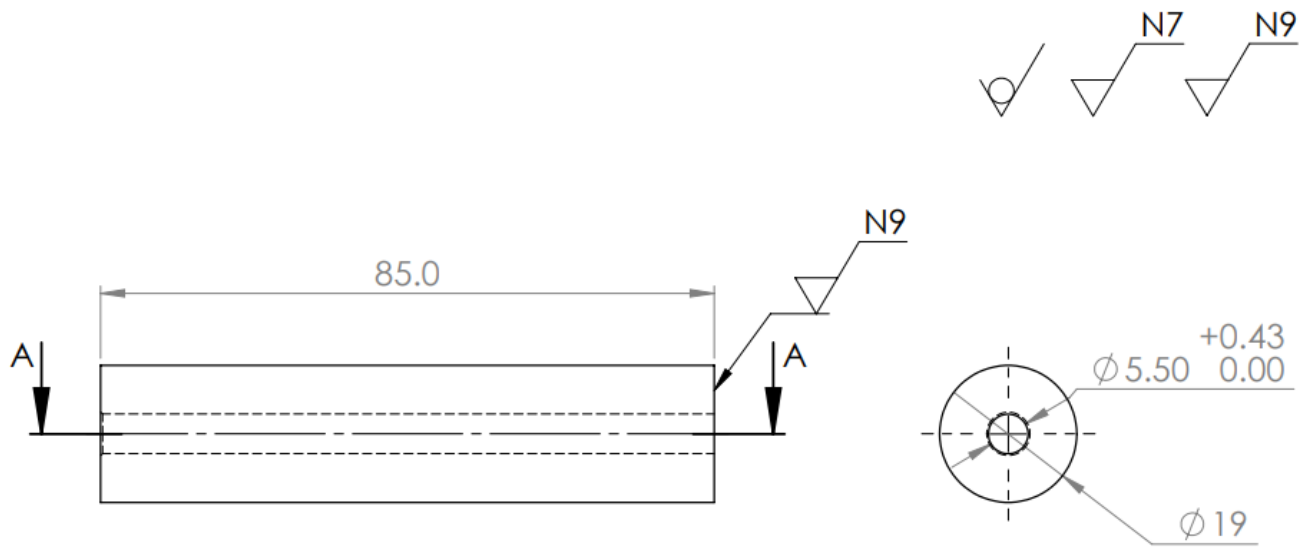
Formato de Hoja: A4


13. Plano No. 13 Soportes para cooling block.

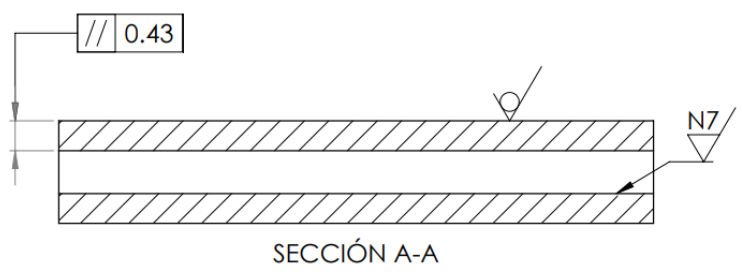
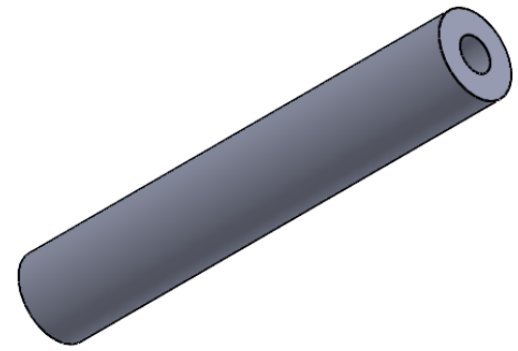
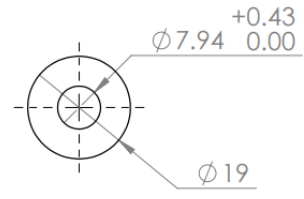
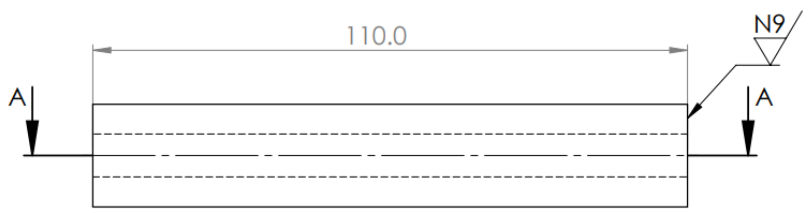
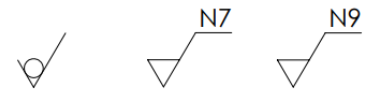
Formato de Hoja: A4

14. Plano No. 14 Sistema de refrigeración de controlador eléctrico.

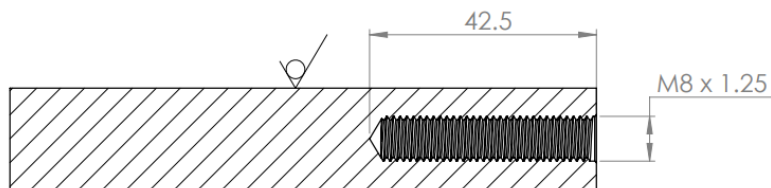
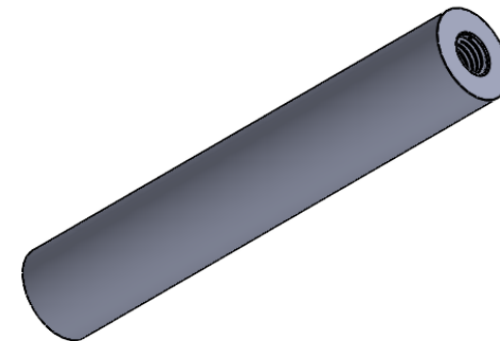
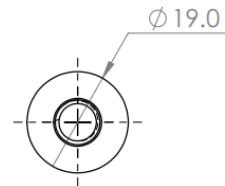
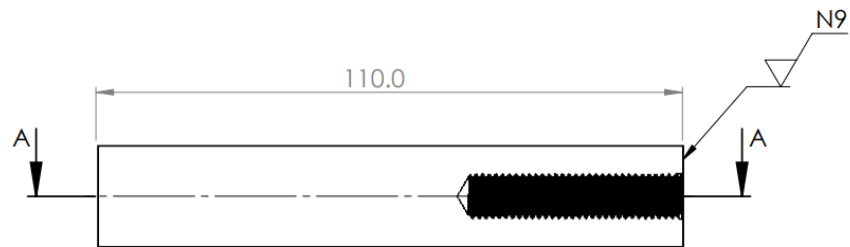
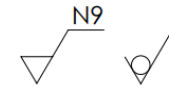
Formato de Hoja: A3



Tolerancia ±0.1		Peso 0.5 kg	Material SAE 1045	
Dibujado	Fecha 02/12/21	Nombre Arias F.	Columna Hueca Pequeña	
Revisado	02/12/21	Jara E.		
Aprobado	02/12/21	Proaño J.		Hoja 1
USFQ		Código 001-001-VCHP	Trat. Superficial N/A	

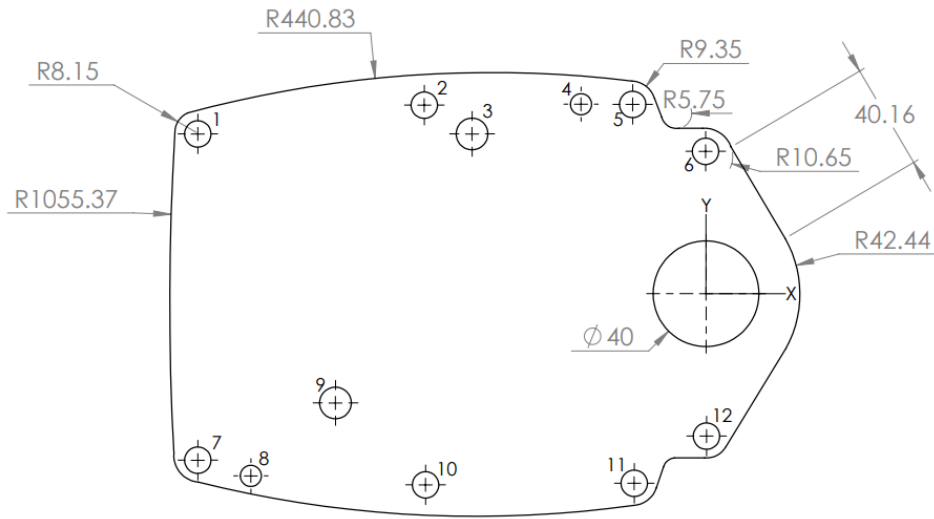


Tolerancia	Peso	Material		
±0.1	0.5 kg	SAE 1045		
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 1
Dibujado	02/12/21	Arias F.		
Revisado	02/12/21	Jara E.		
Aprobado	02/12/21	Proaño J.		
USFQ		Código	Trat. Superficial	Hoja
		001-002-VCHG	N/A	2

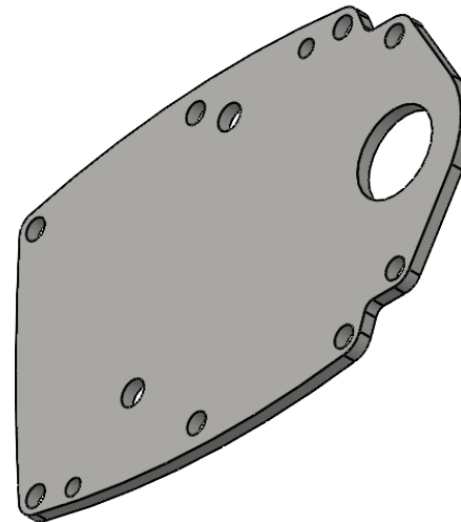


SECCIÓN A-A

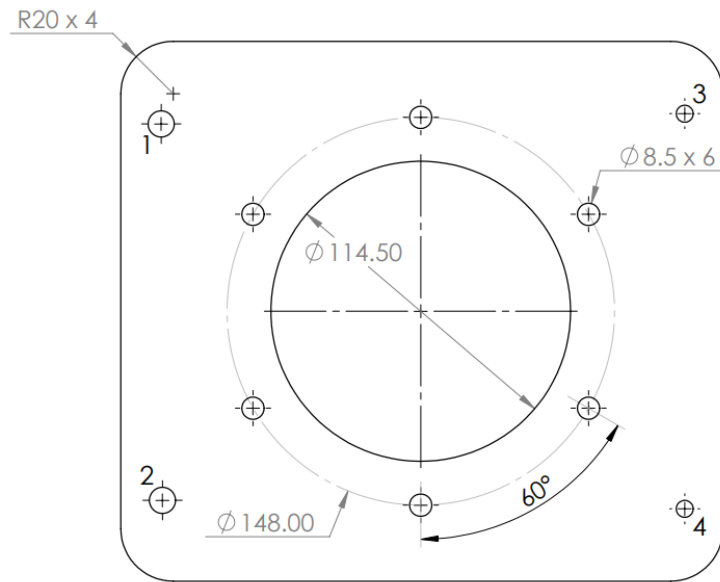
Tolerancia ±0.1		Peso 0.5 kg	Material SAE 1045		
Dibujado 02/12/21	Fecha 02/12/21	Nombre Arias F.	Columna Roscada		Escala 1 : 1
Revisado 02/12/21		Jara E.		USFQ	Código 001-003-VCR
Aprobado 02/12/21		Proaño J.			Trat. Superficial N/A



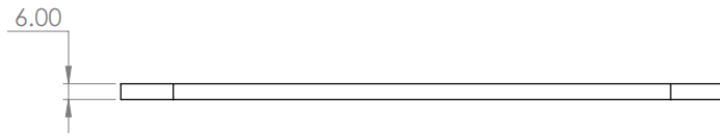
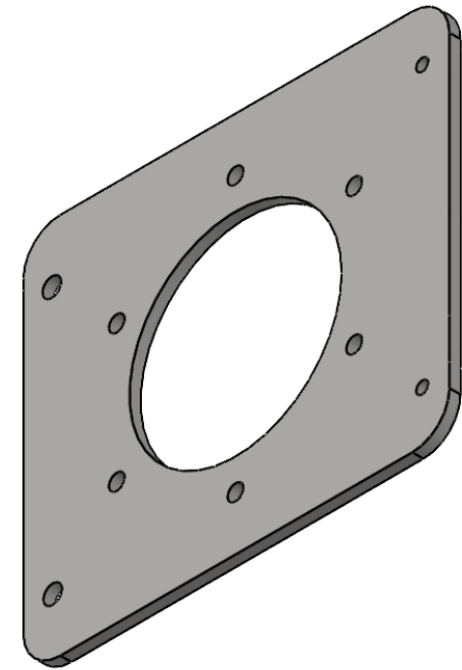
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	-192	-106	-88	-47	-28	0	-192	-172	-140	-106	-28	0
Y	60	72	60	72	72	54	-60	-69	-41	-72	-72	-54
d	10	10	15	7	10	10	10	7	15	10	10	10



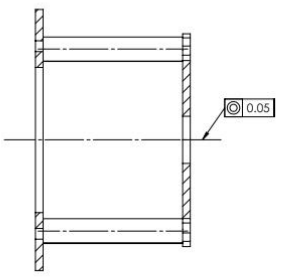
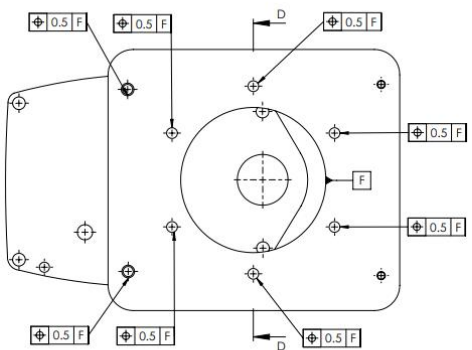
Tolerancia	Peso	Material		
±0.1	0.5 kg	AISI 1018		
Fecha	Nombre	Base de Anclaje		Escala 1 : 2
Dibujado 02/12/21	Arias F.			
Revisado 02/12/21	Jara E.			
Aprovado 02/12/21	Proaño J.	Código	Trat. Superficial	Hoja 4
USFQ		001-004-SIM	N/A	



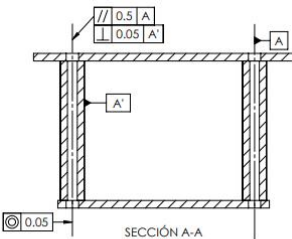
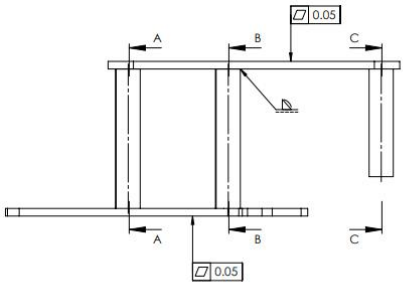
	1	2	3	4
X	-99	-99	100	100
Y	71.5	-71.5	75.4	-75.4
d	10	10	6.5	6.5



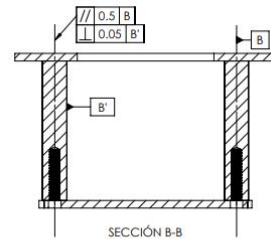
Tolerancia ±0.1	Peso 0.5 kg	Material AISI 1018	
Fecha Dibujado 02/12/21	Nombre Arias F.	Base de Motor	Escala 1 : 2
Revisado 02/12/21	Jara E.		
Aprobado 02/12/21	Proaño J.		
USFQ		Código 001-005-SSM	Trat. Superficial N/A
		Hoja 5	



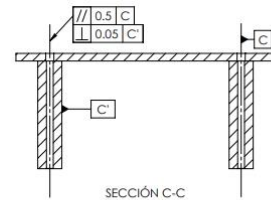
SECCIÓN D-D



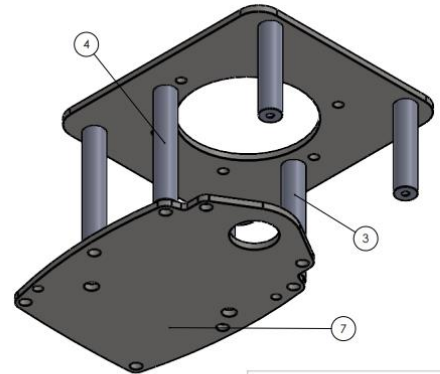
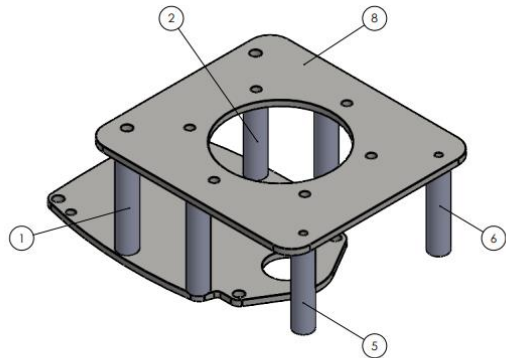
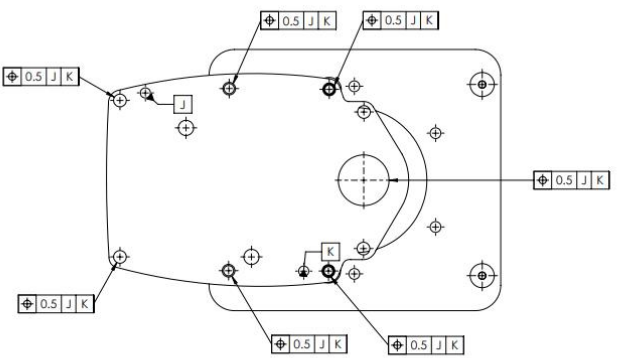
SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B



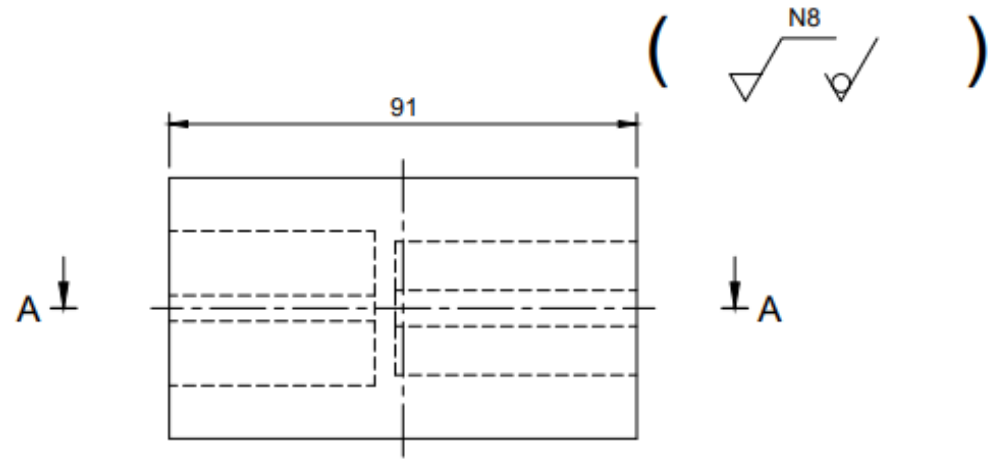
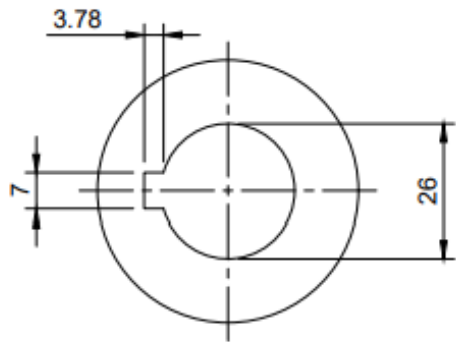
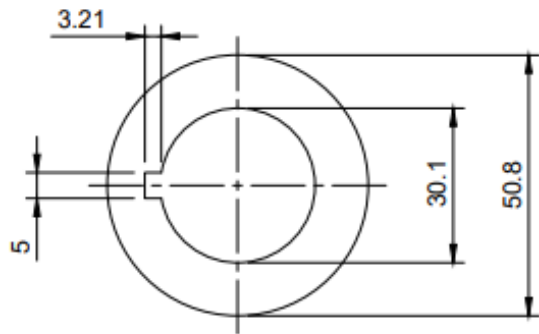
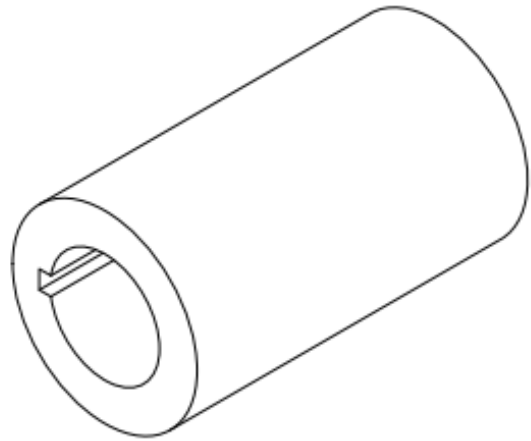
SECCIÓN C-C



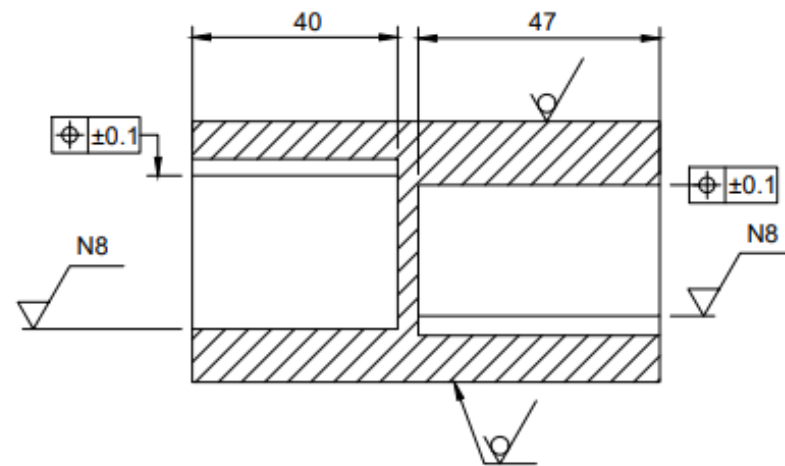
LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	CÓDIGO DE PARTE	DESCRIPCIÓN
8	1	001-005-SIM	Plancha de acero de 6mm de ancho que soporta el motor.
7	1	001-004-SIM	Plancha de acero de 6mm de ancho que ancla el soporte al chasis.
6	2	001-001-VCHP	Columna Hueca de longitud 9 mm y ancho 5 mm.
5	2	001-001-VCHP	Columna Hueca de longitud 8 mm y ancho 5 mm.
4	2	001-003-VCR	Columna con rosca M8 x 1.25 de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
3	2	001-003-VCR	Columna con rosca M8 x 1.25 de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
2	2	001-002-VCHG	Columna Hueca de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
1	2	001-002-VCHG	Columna Hueca de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
Tolerancia		Peso	Material
±0.1		4.0 kg	SAE 1045
Fecha			Nombre
Dibujado: 02/12/21			Arias F.
Revisado: 02/12/21			Jara E.
Aprobado: 02/12/21			Proyecto J.
Código			Trat. Superficial
USFQ			N/A
001-000-BFB			Hoja
			6

Base de Motor

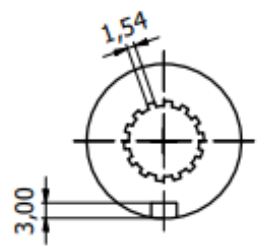
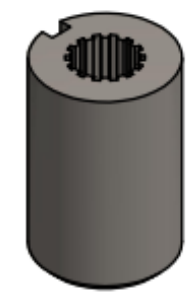
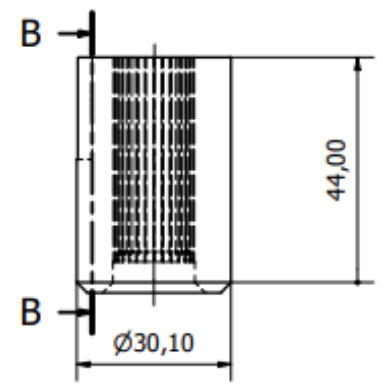
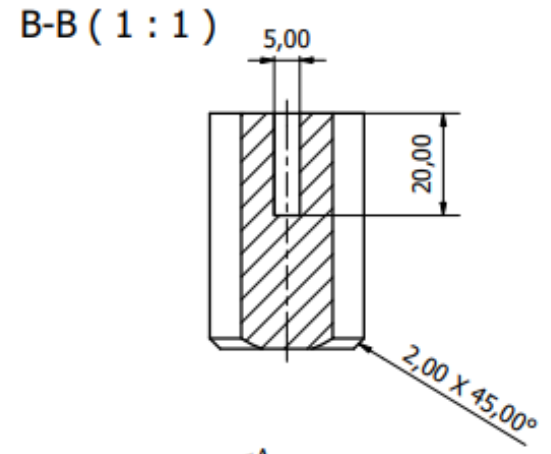
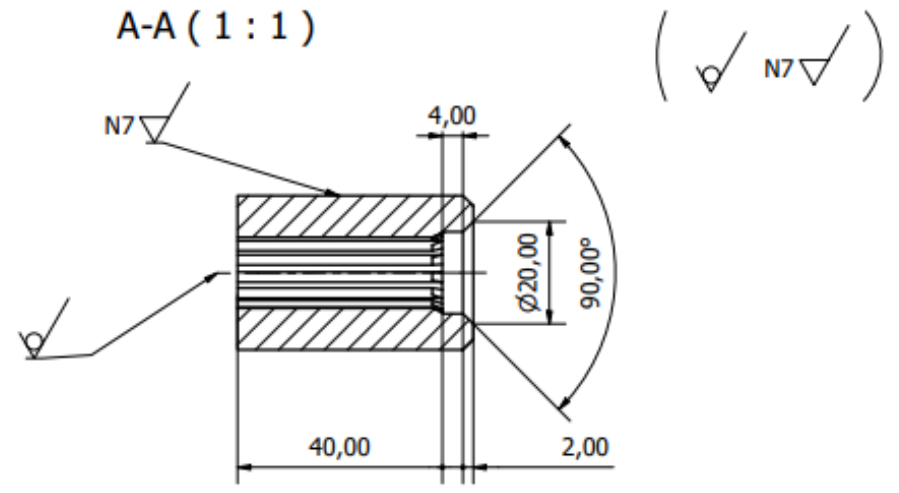
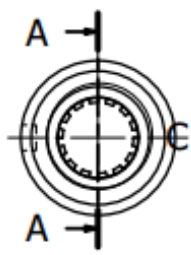
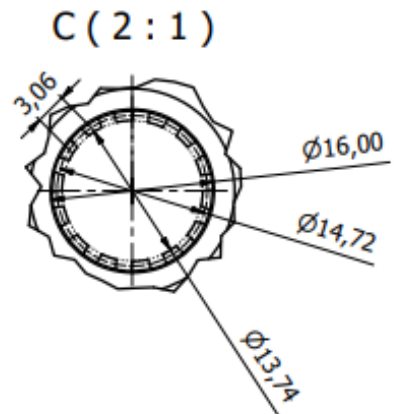
Escala 1 : 2



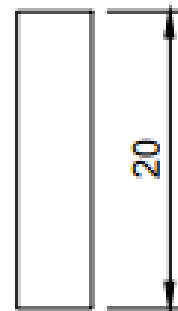
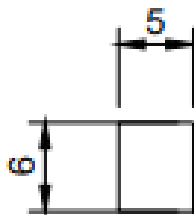
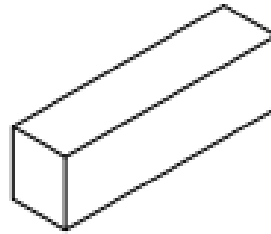
A-A (1:1)

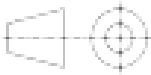



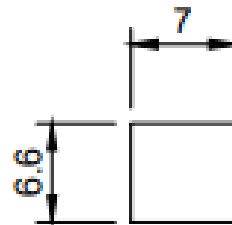
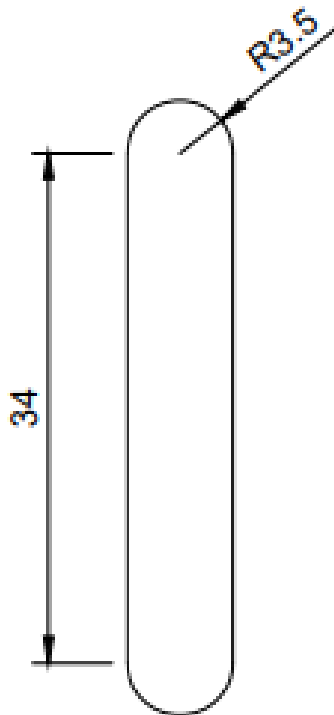
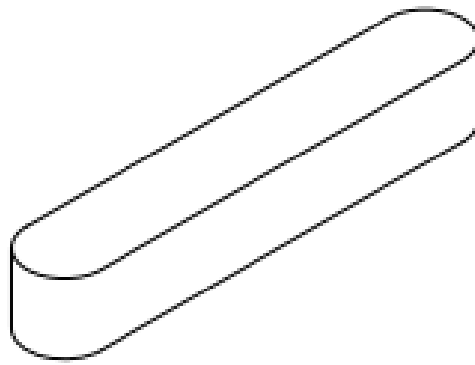
Tolerancia ±0.1	Peso 0.7 kg	Material Acero ASTM A36	
Fecha	Nombre	Acople	
Dibujado 18/11/2021	Lema E.		
Revisado 18/11/2021	Arias F.		
Aprobado 18/11/2021	Proaño J.	Escala 1:1	
		Código 002-001-CP	Trat. Superficial N/A
		Hoja 7	



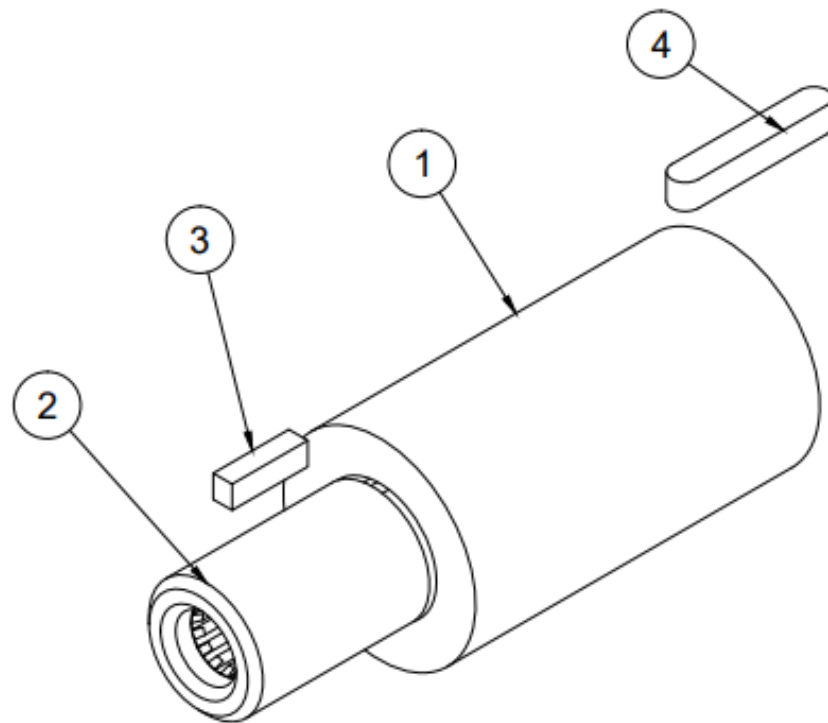
Tolerancia	Peso	Acero estructural A36	
± 0.5	0.19 Kg		
Dibujado	Fecha	Cilindro estriado	Escala
Revisado	Nombre		1:1
Aprobado			
USFQ		Código	Trat. Superficial
		002-002-CP	N/A
			Hoja
			8



Tolerancia ± 0.1		Peso 0.1 kg	Material Acero ASTM A36	
	Fecha	Nombre	Chaveta para acople estriado	Escala 2:1
Dibujado	18/11/2021	Lema E.		
Revisado	18/11/2021	Arias F.		
Aprobado	18/11/2021	Proaño J.		
			Código 002-003-CP	Trat. Superficial N/A
				Hoja 9

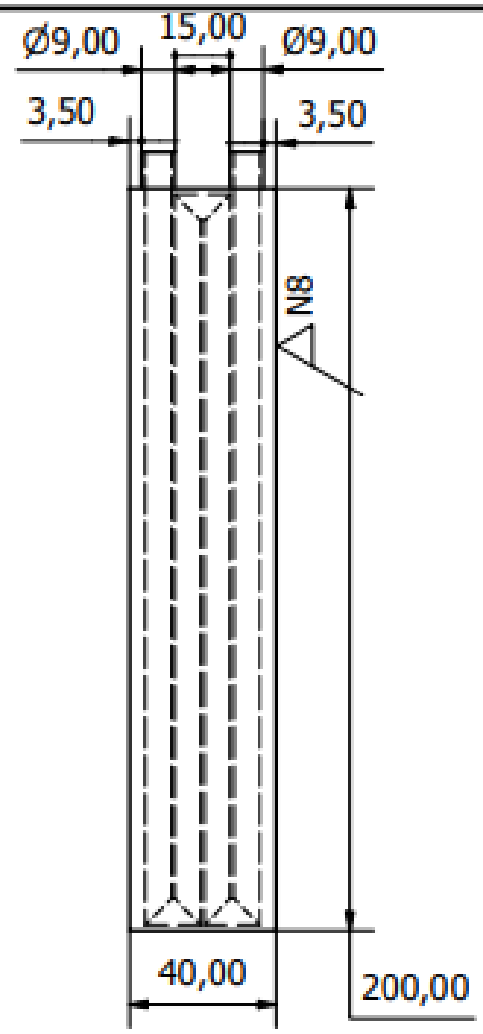
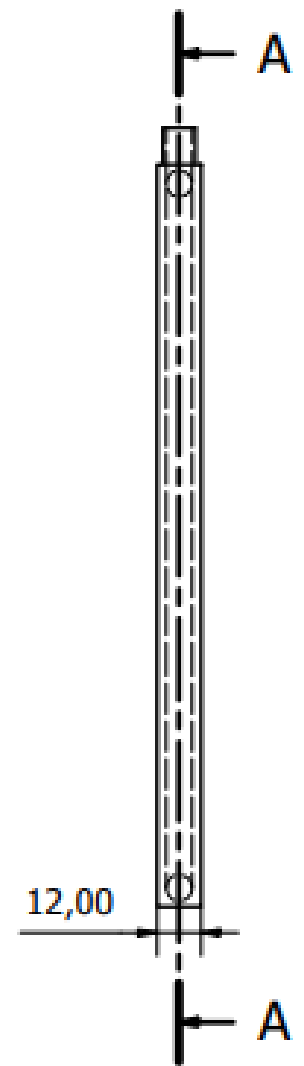
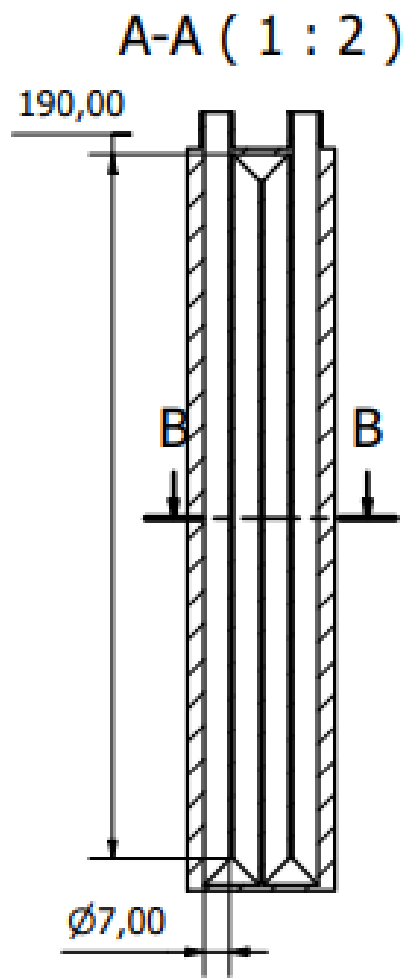


Tolerancia ± 0.1		Peso 0.1 kg	Material Acero ASTM A36	
	Fecha	Nombre	Chaveta para eje de motor eléctrico	Escala
Dibujado	18/11/2021	Lema E.		2:1
Revisado	18/11/2021	Arias F.		
Aprobado	18/11/2021	Proaño J.		
			Código 002-004-CP	Trat. Superficial N/A
				Hoja 10

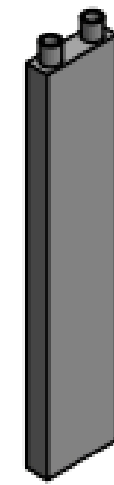


Lista de Piezas		
N° de elementos	Descripción	Cantidad
4	Chaveta acople base	1
3	Chaveta para acople estriado	1
2	Estriado	1
1	Acople	1

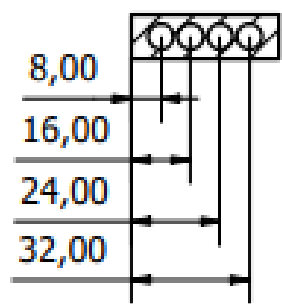
Tolerancia	Peso	Material			
± 0.1	1.0 kg	Acero ASTM A36			
	Fecha	Nombre	Acople Completo		Escala
Dibujado	18/11/2021	Lema E.			1:1
Revisado	18/11/2021	Arias F.			
Aprobado	18/11/2021	Proaño J.			
			Código	Trat. Superficial	Hoja
			002-000-CP	N/A	11



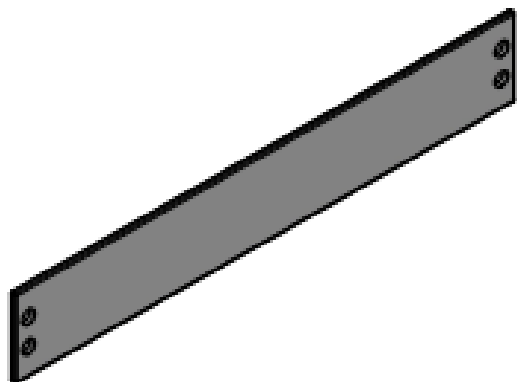
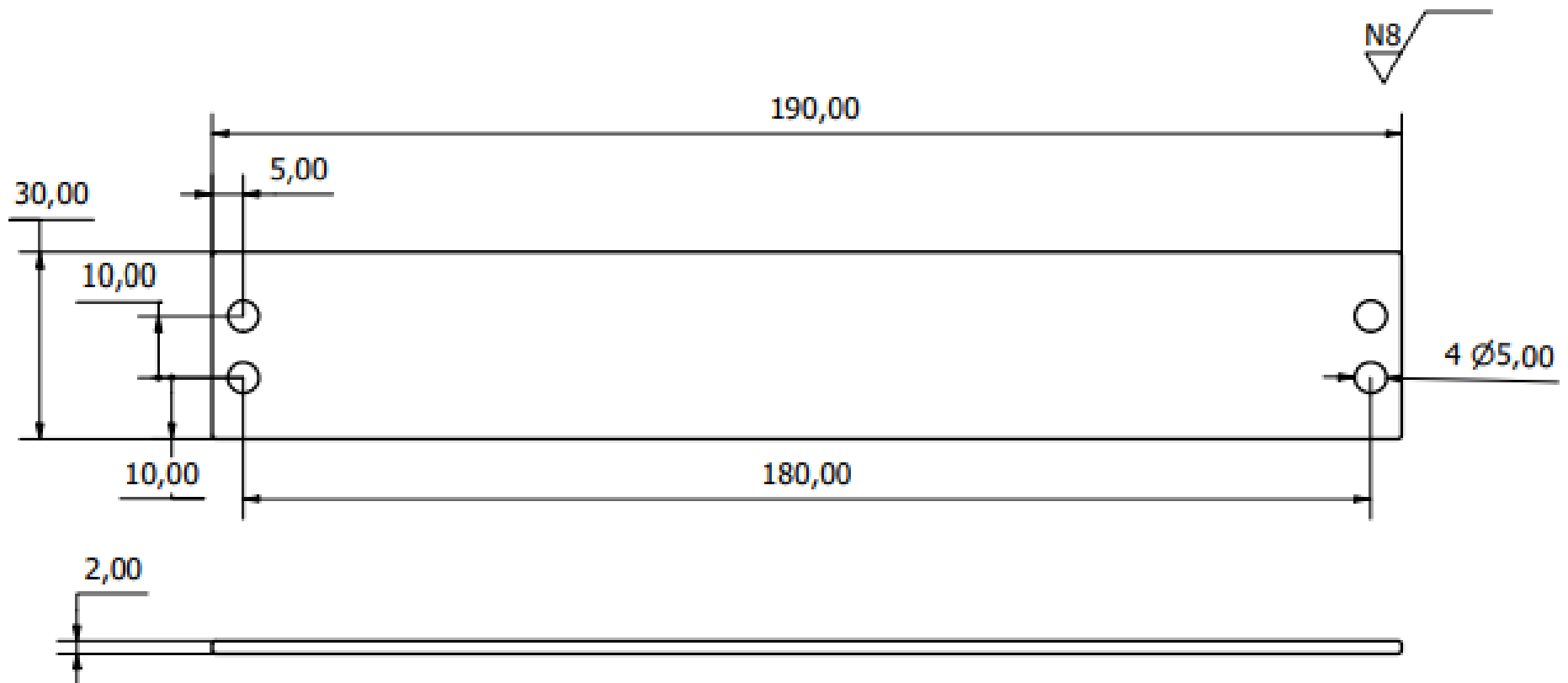
Rectificado
N8



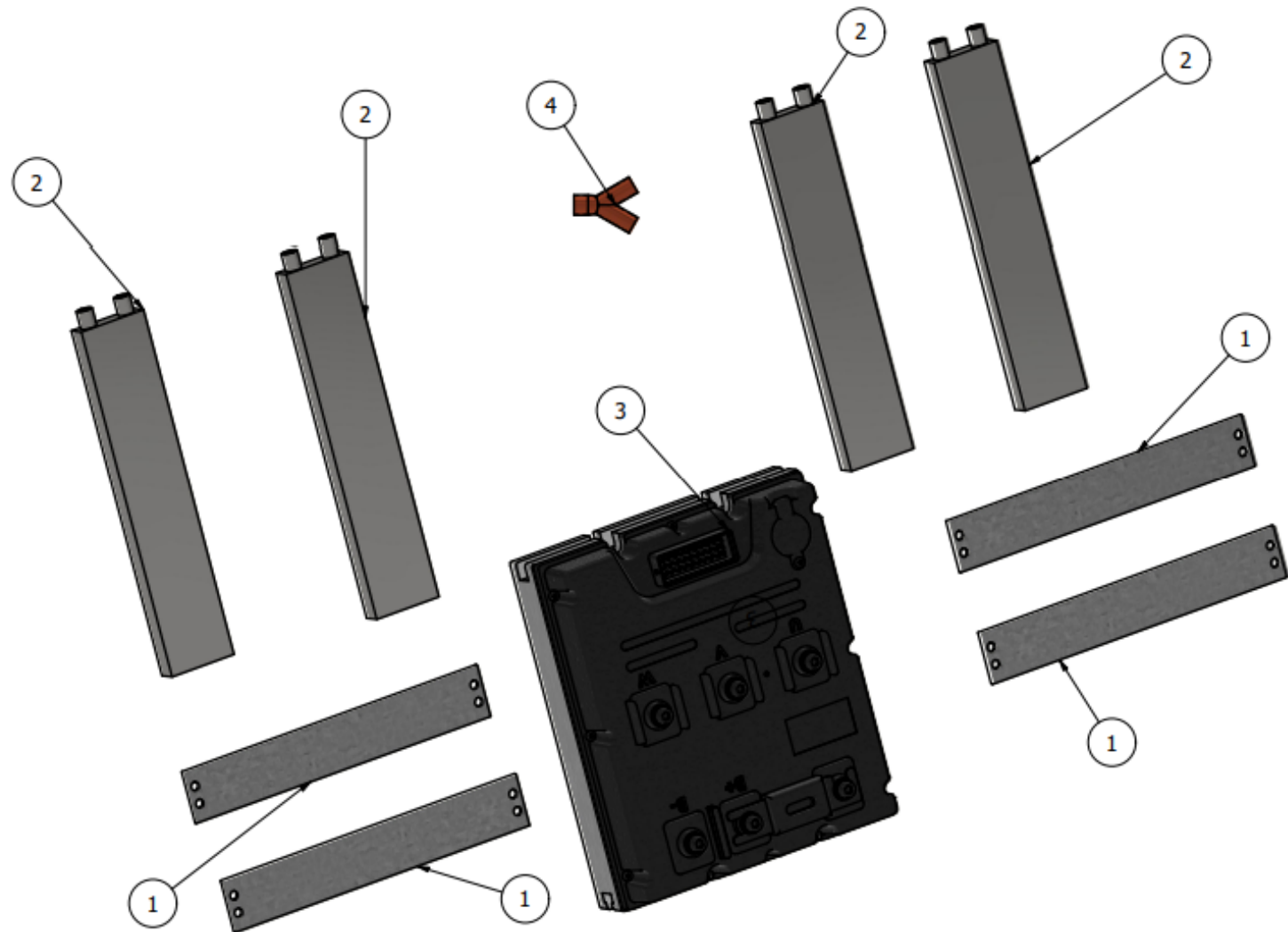
B-B (1 : 2)



Tolerancia ±0.5		Peso 0.14 kg	Aluminio 1100	
Dibujado	Fecha 05/12/2021	Nombre Bravo V.	Cooling block	Escala 1:2
Revisado	05/12/2021	Jara E.		
Aprovado	06/12/2021	Proaño J.		
		Código 003-001-SR	Trat. Superficial N/A	Hoja 12



Tolerancia ±0.5		Peso 0.10		A36			
Dibujado	Fecha	Nombre		Soportes cooling block (4)		Escala	
	05/12/2021	Bravo V.				1:1	
Revisado	05/12/2021	Jara E.					
Aprovado	06/12/2021	Proaño J.		Código		Hoja	
				003-002-SR		Trat. Superficial N/A	
						13	



Nota:

- Entre los elementos No. 2 y No. 3 se aplica pasta térmica.
- A la entrada y salida de elemento No.2 se colocan mangueras de vinil

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	4	003-002-SR	Soporte
2	4	003-001-SR	Cooling Block
3	1	N/A	10kW Controlador
4	6	N/A	Conexion en "Y" de cobre

Tolerancia ± 0.5	Peso N/A	Plano de conjunto			
Dibujado 05/12/2021	Fecha 05/12/2021	Nombre Bravo V.	Sistema de refrigeracion		Escala 1:2
Revisado 05/12/2021	Nombre Jara E.	Nombre Proaño J.			Hoja 14
Aprobado 06/12/2021	Código 003-000-SR	Trat. Superficial N/A			

ANEXO B: CRITERIOS PONDERADOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN

Estructura metálica

En la siguiente tabla pueden observarse el resto de las opciones que fueron eliminadas luego de realizar la selección de las 3 mejores opciones al realizar la evaluación por el método de criterios ponderados, una mejor visualización de las tablas 5 a 8, se encuentra en la sección de anexos.

Tabla 14: Código opciones para estructura..

Opción	Perfil	Material	Junta
1	Cilíndrico	A36	Soldado
2	Rectangular	A36	Soldado
3	Ángulos	A36	Empernado/soldado
4	Ángulos	A36	Soldado
5	Tubo cilíndrico	A36	Empernado
6	Tubo cilíndrico	A36	Soldado
7	Tubo rectangular	A36	Soldado
8	Cilíndrico	AISI 304	Soldado
9	Rectangular	AISI 304	Soldado
10	Ángulos	AISI 304	Soldado
11	Ángulos	AISI 304	Empernado/soldado
12	Tubo cilíndrico	AISI 304	Soldado
13	Tubo rectangular	AISI 304	Soldado
14	Cilíndrico	Aluminio 6061	Soldado
15	Rectangular	Aluminio 6061	Soldado
16	Ángulos	Aluminio 6061	Empernado/soldado
17	Ángulos	Aluminio 6061	Soldado
18	Tubo cilíndrico	Aluminio 6061	Soldado
19	Tubo rectangular	Aluminio 6061	Soldado

Evaluación de cada criterio

Tabla 15: Evaluación de criterios.

Criterios Ponderados						
Precio (1) =Espacio (2)>Esfuerzo de fluencia (3) > Tipo de junta (4)						
Criterio	1	2	3	4	Sum +1	Pondera
1		0.5	1	1	3.5	0.350
2	0.5		1	1	3.5	0.350
3	0	0		1	2	0.200
4	0	0	0		1	0.100
					10	1

Tabla 16: Evaluación del criterio Esfuerzo de Fluencia.

Evaluación de esfuerzo de fluencia																					
Opción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Sum +1	Pondera
1		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
2	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
3	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
4	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.021
8	1	1	1	1	1	1	1		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
9	1	1	1	1	1	1	1	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
10	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
11	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
12	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
13	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		1	1	1	1	1	1	16.5	0.087
14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10.5	0.055
15	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	10.5	0.055
16	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	10.5	0.055
17	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	10.5	0.055
18	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	10.5	0.055
19	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		10.5	0.055
																				190	1

Tabla 17: Evaluación del criterio de Junta.

Evaluación de Junta																					
Opción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Sum +1	Pondera
1		0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
2	0.5		0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
3	1	1		1	0	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	1	17	0.089
4	0.5	0.5	0		0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	0.100
6	0.5	0.5	0	0.5	0		0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
7	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5		0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
8	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5		0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
9	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5		0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
10	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5		0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
11	1	1	0.5	1	0	1	1	1	1	1		1	1	1	1	0.5	1	1	1	17	0.089
12	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0		0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
13	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5		0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
14	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5		0.5	0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
15	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5		0	0.5	0.5	0.5	8	0.042
16	1	1	0.5	1	0	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1		1	1	1	17	0.089
17	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0		0.5	0.5	8	0.042
18	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5		0.5	8	0.042
19	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5		8	0.042
																				190	1

Tabla 19: Evaluación de espacio para estructura metálica.

Evaluación de espacio																					
Opción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Sum +1	Pondera
1		1	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0.5	1	0	0	0	0	5	0.026
2	0		0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	2	0.011
3	1	1		0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	16	0.084
4	1	1	0.5		0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	16	0.084
5	1	1	0.5	0.5		1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	16	0.084
6	1	1	0	0	0		1	1	1	0	0	0.5	1	1	1	0	0	0.5	1	11	0.058
7	1	1	0	0	0	0		1	1	0	0	0	0.5	1	1	0	0	0	0.5	8	0.042
8	0.5	1	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0.5	1	0	0	0	0	5	0.026
9	0	0.5	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	2	0.011
10	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1		0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	16	0.084
11	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5		1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	16	0.084
12	1	1	0	0	0	0.5	1	1	1	0	0		1	1	1	0	0	0.5	1	11	0.058
13	1	1	0	0	0	0	0.5	1	1	0	0	0		1	1	0	0	0	0.5	8	0.042
14	0.5	1	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	0	0		1	0	0	0	0	5	0.026
15	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0		0	0	0	0	2	0.011
16	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1		0.5	1	1	16	0.084
17	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5		1	1	16	0.084
18	1	1	0	0	0	0.5	1	1	1	0	0	0.5	1	1	1	0	0		1	11	0.058
19	1	1	0	0	0	0	0.5	1	1	0	0	0	0.5	1	1	0	0	0		8	0.042
																				190	1

Tabla 20: Tabla de conclusiones.

Opción	Precio	Espacio	Esfuerzo de fluencia	Junta	Suma	Prioridad
1	0.029	0.009	0.004	0.008	0.051	
2	0.029	0.004	0.004	0.008	0.046	
3	0.029	0.029	0.004	0.018	0.081	3
4	0.029	0.029	0.004	0.008	0.072	
5	0.029	0.029	0.004	0.020	0.083	1
6	0.029	0.020	0.004	0.008	0.062	
7	0.029	0.015	0.004	0.008	0.057	
8	0.018	0.009	0.017	0.008	0.053	
9	0.018	0.004	0.017	0.008	0.047	
10	0.018	0.029	0.017	0.008	0.073	
11	0.018	0.029	0.017	0.018	0.082	2
12	0.018	0.020	0.017	0.008	0.064	
13	0.018	0.015	0.017	0.008	0.058	
14	0.006	0.009	0.011	0.008	0.035	
15	0.006	0.004	0.011	0.008	0.030	
16	0.006	0.029	0.011	0.018	0.065	
17	0.006	0.029	0.011	0.008	0.055	
18	0.006	0.020	0.011	0.008	0.046	

Tabla 21: Mejores tres opciones.

Opción	Precio	Espacio	Esfuerzo de fluencia	Junta	Suma	Prioridad
3	0.029	0.029	0.004	0.018	0.081	3
11	0.018	0.029	0.017	0.018	0.082	2
5	0.029	0.029	0.004	0.020	0.083	1

3) *Evacuación del criterio Sistema automático*

Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio Sistema automático.

Evaluación de sistema automático							
Opción con sistema automático (2,4) > Opción sin sistema automático (1,3,5)							
Opción	1	2	3	4	5	Sum +1	Pondera
1		0	0.5	0	0.5	2	0.133
2	1		1	0.5	1	4.5	0.300
3	0.5	0		0	0.5	2	0.133
4	1	0.5	1		1	4.5	0.300
5	0.5	0	0.5	0		2	0.133
						15	1

4) *Evaluación del criterio Eficiencia*

Tabla 26: Evaluación del criterio Eficiencia.

Evaluación de eficiencia							
Opción 2 > Opción 1 = Opción 4 > Opción 5 > Opción 3							
Opción	1	2	3	4	5	Sum +1	Pondera
1		0	1	0.5	1	3.5	0.233
2	1		1	1	1	5	0.333
3	0	0		0	0	1	0.067
4	0.5	0	1		1	3.5	0.233
5	0	0	1	0		2	0.133
						15	1

5) *Evaluación del criterio Precio*

Tabla 27: Evaluación del criterio Precio.

Evaluación de Precio							
Opción 3 > Opción 4 > Opción 5 = Opción 1 > Opción 2							
Opción	1	2	3	4	5	Sum +1	Pondera
1		1	0	0	0.5	2.5	0.167
2	0		0	0	0	1	0.067
3	1	1		1	1	5	0.333
4	1	1	0		1	4	0.267
5	0.5	1	0	0		2.5	0.167
						15	1

9) *Conclusión**Tabla 31: Tabla de conclusiones.*

Opción	Sistema Automático	Eficiencia	Precio	Complejidad	Mantenimiento	Seguridad	Suma	Prioridad
1	0.010	0.042	0.024	0.025	0.029	0.004	0.132	4
2	0.021	0.060	0.010	0.025	0.014	0.004	0.133	5
3	0.010	0.012	0.048	0.083	0.071	0.012	0.236	1
4	0.021	0.042	0.038	0.050	0.043	0.007	0.201	2
5	0.010	0.024	0.024	0.067	0.057	0.010	0.190	3

Tabla 32: Mejores tres opciones.

Opción	Sistema Automático	Eficiencia	Precio	Complejidad	Mantenimiento	Seguridad	Suma	Prioridad
3	0.010	0.012	0.048	0.083	0.071	0.012	0.236	1
4	0.021	0.042	0.038	0.050	0.043	0.007	0.201	2
5	0.010	0.024	0.024	0.067	0.057	0.010	0.190	3

ANEXO C: ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Informe de diseño base de componentes internos de fuera de borda y acople

Fuerzas de compresión

Para las fuerzas de compresión presentes en la estructura únicamente se usará el peso de la placa y la carga del motor, por ser este el componente de mayor peso, como primer paso se calculan las fuerzas de estos componentes y escriben sus coordenadas en la placa, en el programa Inventor se determinó el centroide de la placa para ubicar la carga puntual de su peso, el cual se determina con el peso específico del material y el volumen de la placa.

Fuerza peso de la placa superior:

$$\gamma_{placa} = (\rho_{placa})(g)$$

$$\gamma_{placa} = \left(7860 \left[\frac{kg}{m^3}\right]\right) \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) = 7.71 \times 10^{-5} \left[\frac{N}{mm^3}\right]$$

$$V = A(t) = 36175 [mm^2](6 [mm]) = 217055 [mm^3]$$

$$W_{placa} = V \gamma_{placa} = 16.74 [N]$$

Fuerza peso de motor (Hibbeler, 2010):

$$W_{motor} = g(m_{motor}) = \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (25.00 [kg]) = 245.25 [N]$$

Tabla 33: Pesos aplicados en la estructura.

F	Posición X [mm]	Posición Y [mm]	Fuerza Z [N]
1	115	103	245.25
2	115	103	16.74

Fuerzas de reacción eje Z

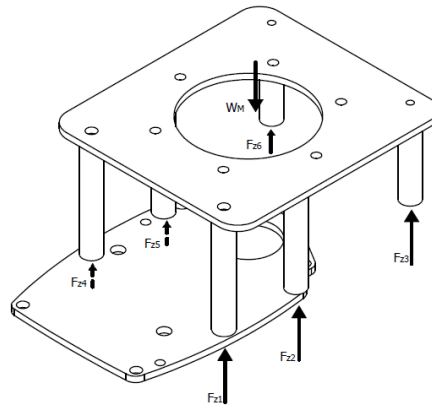


Figura 23: Diagrama de cuerpo libre calculo reacciones eje

En el programa Microsoft Excel, se creó una subrutina donde se ingresan datos de posición de cada columna se calculan las distancias relativas entre cada columna y cargas puntales, con las distancias se puede organizar una matriz donde se calculan las reacciones en el eje “z” de cada columna. El resultado de esta matriz son los momentos generados por las cargas, dentro del programa de Excel se puede utilizar la herramienta “Solver”, o usar la matriz inversa y multiplicarla por la matriz de momentos, para obtener las fuerzas de reacción de cada columna.

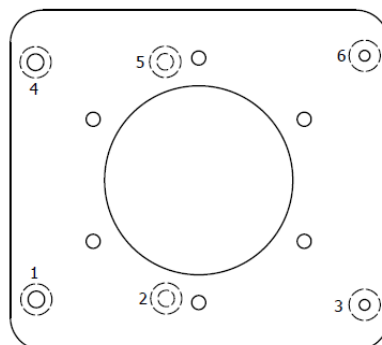


Figura 24: Distribución de columnas en la placa.

Tabla 34: Tabla de coordenadas por columna.

Columna	Posición X [mm]	Posición Y [mm]
1	16	31
2	95	31
3	215	28
4	15	174
5	94	175
6	215	178

Trabajar con coordenadas permite fácilmente determinar las distancias relativas que cada columna tiene respecto a otra. Lo que se observa es que la matriz es simétrica debido a que se vuelve a evaluar las distancias de cada columna, como por ejemplo la distancia de la columna 1 a 3, D_{13x} será igual a D_{31x} , pero con signo opuesto.

$$D_{13x} = X_3 - X_1$$

$$D_{13x} = 215 - 16 = 199$$

Tabla 35: Resultados cálculo de distancias en el eje x.

Distancias En X [mm]						
Dx	1	2	3	4	5	6
1	0	79	199	0	78	199
2	-79	0	121	-79	-1	121
3	-199	-121	0	-200	-121	0
4	0	79	200	0	79	200
5	-78	1	121	-79	0	121
6	-199	-121	0	-200	-121	0

Tabla 36: Resultados cálculo de distancias en el eje y.

Distancias En Y [mm]						
Dy	1	2	3	4	5	6
1	0	1	-3	144	144	148
2	-1	0	-4	143	143	147
3	3	4	0	147	147	151
4	-144	-143	-147	0	0	4
5	-144	-143	-147	0	0	4
6	-148	-147	-151	-4	-4	0

$$\sum_{j=1}^n (D_{ij})(F_j) = M_i$$

Debido a esta simetría únicamente se usará la mitad de la matriz, en combinación con la mitad de la otra matriz de distancias. Para comprobar que los resultados son correctos se pueden usar las ecuaciones de equilibrio que no se usaron en la matriz de ecuaciones. Por ejemplo, la sumatoria de fuerzas de reacción deben ser iguales a la suma de las cargas, en este ejemplo estas cargas tienen una magnitud total de 262 [N].

$$\sum F_y = F_R - F_w = 0$$

Tabla 37: Matriz de ecuaciones.

Matriz de ecuaciones						Momentos totales
0	1	-3	144	144	148	18907
-1	0	-4	143	143	147	18752
3	4	0	147	147	151	19755
0	79	200	0	79	200	25991
-78	1	121	-79	0	121	5349
-199	-121	0	-200	-121	0	-26403

Estos resultados en la tabla 37 se compararon con una simulación en Abaqus, el proceso para obtener los resultados de la simulación se muestra en el anexo C. Las simulaciones se realizaron aplicando una carga puntual de 245.25 [N] para el peso del motor, y una fuerza de gravedad de $9820 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \right]$, la suma de fuerzas en la simulación no es igual a la suma de fuerzas

entre el peso de la placa y el motor, presentadas en la tabla correspondiente, probablemente porque los cálculos si consideran un área con agujeros para cada perno.

Tabla 38: Tabla de resultados y simulación fuerzas eje y.

Los resultados no presentan errores porcentuales mayores al 2.73%

Columna	RZ [N]	Abaqus RZ [N]	Error [%]
1	42.39	42.33	0.14%
2	39.47	39.53	0.15%
3	48.99	49.88	1.78%
4	41.87	41.56	0.75%
5	39.72	39.76	0.10%
6	49.56	50.95	2.73%
	262.00	264.01	0.76%

Esfuerzos de compresión:

Dada la simetría a la que se encuentran las columnas, los momentos flectores de cargas y reacciones se anulan. Únicamente la fuerza de reacción actúa en compresión para esta área seccional del perfil, las columnas 1, 2, 4, y 5 tienen un diámetro interior de 10 [mm], 3 y 6 tienen un diámetro interior de 6.5 [mm], y todas las columnas tienen un diámetro exterior de 19 [mm], la figura 22 muestra la distribución de esfuerzos por compresión, todas las columnas tienen un esfuerzo que varía alrededor de los 20 [MPa], el siguiente ejemplo en la columna 4 muestra el procedimiento para calcular estos esfuerzos.

$$A = \frac{\pi(D_{in} + 2t)^2}{4} - \frac{\pi(D_{in})^2}{4}$$

$$A_1 = A_2 = A_4 = A_5 = 204 [mm^2]$$

$$A_3 = A_6 = 250 [mm^2]$$

Esfuerzo de compresión/tracción (Hibbeler, 2010):

$$\sigma_z = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{z4} = 0.20 \text{ [MPa]}$$

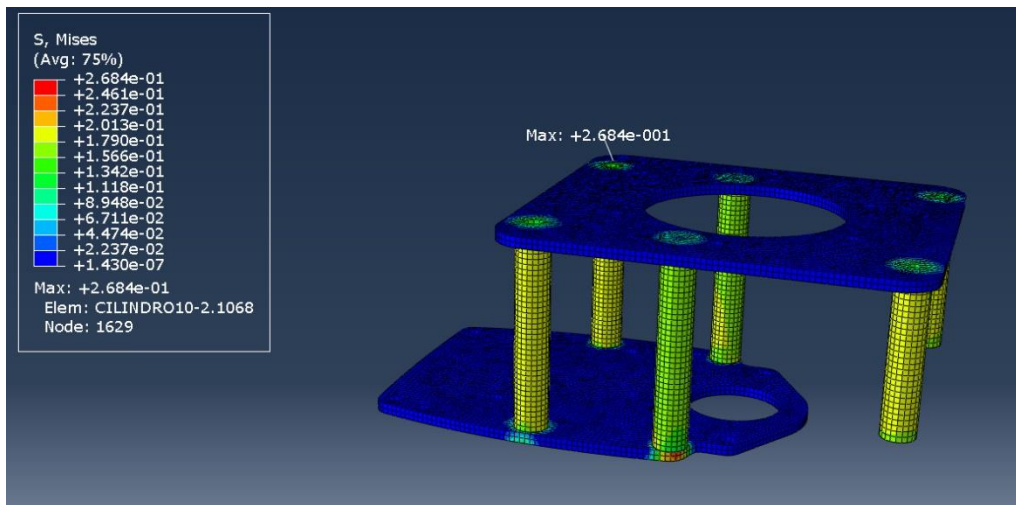


Figura 25: Resultado simulación esfuerzo solo compresión.

Variación de esfuerzos en compresión se encuentra alrededor de los 0.20 [MPa]

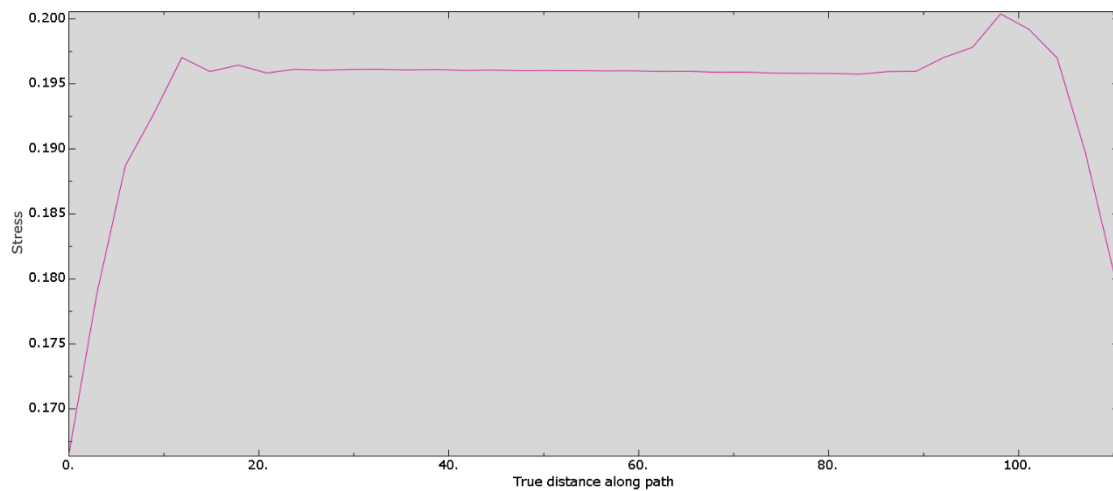


Figura 26: Esfuerzo en columna 4.

Los resultados de simulación muestran que el esfuerzo promedio a lo largo de la columna es de 0.196 [MPa]

Para asegurar que los cálculos correspondían con la simulación se trazó un camino a lo largo de la columna 1, como se muestra en la figura anterior, ya que la barra de colores no proporcionaba esta información debido a la poca variabilidad de esfuerzos encontrados en la

estructura total. Los resultados de la simulación no mostraban que existiera pandeo en ninguna columna por lo que se procedió a analizar la carga crítica de la columna.

Inercia cilindro hueco (Budynas & Nisbett, 2011) :

$$I = \frac{\pi}{64}(Dex^4 - Din^4)$$

$$I_1 = I_3 = 5906 [mm^4]$$

$$I_2 = I_4 = 6309 [mm^4]$$

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = 1.07 \times 10^6 [N]$$

Fuerza de reacción “X” y “Y”:

Una fuerza cortante producida por la rotación del eje se aplica en las juntas empernadas y columnas. Cada fuerza tiene su componente (x, y), con las coordenadas de cada columna se calcula la distancia hacia un punto donde según el método elástico vectorial, la aplicación del torque será soportada por las recciones proporcionalmente, por lo que la suma de fuerza en “Y” y en “X”, al igual que los momentos serán igual a 0, esta distancia se puede obtener por métodos iterativos o con herramientas computacionales, en este caso debido a la simetría el punto se aplicaba en el centro de la placa, el punto no siempre se encuentra a la mitad de las reacciones como en la segunda versión de la estructura, la cual tenía una placa alargada con 6 columnas, por último con las distancias a este punto se utiliza trigonometría para determinar las componentes de la fuerza en la columna.

$$M_M = F_i D_i + F_{i+1} D_{i+1} \dots + F_n D_n$$

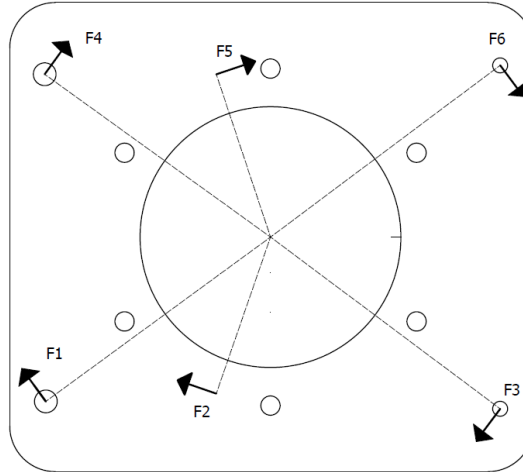


Figura 27: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas cortantes.

Método elástico vectorial: (*Resultant Shear Force - an Overview* / ScienceDirect Topics, n.d.)

$$M_M = F_1 D_1 + F_2 D_2 + F_3 D_3 + F_4 D_4 + F_5 D_5 + F_6 D_6$$

$$\frac{F_1}{D_1} = \frac{F_2}{D_2} = \frac{F_3}{D_3} = \frac{F_4}{D_4} = \frac{F_5}{D_5} = \frac{F_6}{D_6} = K$$

Se utiliza esta última relación, en la que cada fuerza actúa de manera proporcional a la distancia, para reorganizar la ecuación de equilibrio y proceder al cálculo de fuerzas

$$F_1 = \frac{M_M D_1}{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2 + D_5^2 + D_6^2}$$

Para el resto de las fuerzas se aplica la siguiente ecuación

$$F_i = \frac{M_M D_i}{D_i^2 + D_{i+1}^2 + \dots + D_n^2}$$

Las componentes de estas fuerzas dependen de la posición que tomen en referencia a la coordenada 258, 100, por lo que se programó una función en EES para identificar cada caso y calcular cada fuerza.

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{D_{ix}}{D_i}\right)$$

Ejemplo calculo columna 4:

$$F_4 = 58.30 \text{ [N]}$$

$$\theta_4 = 35.37$$

$$F_{4x} = 58.30 \text{ N} \cos(90 - 35.37) = 33.75 \text{ [N]}$$

$$F_{4y} = 58.30 \text{ N} * \sin(90 - 35.37) = -47.54 \text{ [N]}$$

Las siguientes funciones aplicadas al inicio del código EES (Anexo E), determina la posición de cada columna con respecto al punto de aplicación del torque, esta información es requerida para el cálculo de las componentes de fuerzas con su respectiva dirección.

```
Function FuerzaX(Force,angle,x,y,Tx,Ty)
  "Zona 1"
  if (x<Tx) AND (y>Ty) then FuerzaX = Force*cos(90[deg]-angle)
  "Zona 2"
  if (x<Tx) AND (y<Ty) then FuerzaX = -1*Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 3"
  if (x>Tx) AND (y<Ty) then FuerzaX = -1*Force*cos(90[deg]-angle)
  "Zona 4"
  if (x>Tx) AND (y>Ty) then FuerzaX = Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
End

Function FuerzaY(Force,angle,x,y,Tx,Ty)
  "Zona 1"
  if (x<Tx) AND (y>Ty) then FuerzaY = Force*sin(90[deg]-angle)
  "Zona 2"
  if (x<Tx) AND (y<Ty) then FuerzaY = Force*sin(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 3"
  if (x>Tx) AND (y<Ty) then FuerzaY = -1*Force*sin(90[deg]-angle)
  "Zona 4"
  if (x>Tx) AND (y>Ty) then FuerzaY = -1*Force*sin(180[deg]-(90[deg]+angle))
End
```

Tabla 39: Comparación de resultados simulación y cálculos EES.

Columna	Simulación Abaqus		Calculo EES	
	Fuerza X [N]	Fuerza Y [N]	Fuerza X [N]	Fuerza Y [N]
1	-46.85	65.15	-49.67	68.29
2	-48.91	12.24	-49.67	13.80
3	-51.99	-76.53	-51.73	-68.98
4	49.67	62.92	48.98	68.98
5	46.73	11.95	49.67	14.49
6	51.35	-75.74	51.73	-68.98

Esfuerzos por fuerzas cortantes:

El siguiente caso analiza el procedimiento para el cálculo de esfuerzos generados por el torque del motor, cada columna tiene un diámetro interno de 10 [mm] y 4.5 [mm] de espesor, tienen una altura de 110 [mm], al igual que las fuerzas de reacción en el eje y, se realizó una simulación con la estructura completa, con restricción de movimiento en la base de cada columna

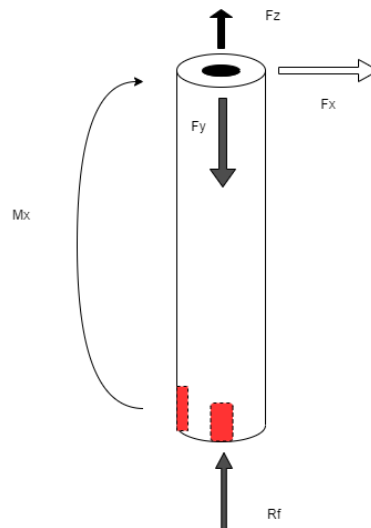


Figura 28: Diagrama de cuerpo libre cálculo de esfuerzos por momento flector

Se calculará el esfuerzo en la columna 4, ya que tiene una menor área seccional, en comparación con columnas 6 y 3, la magnitud de las fuerzas es similares a la columna 1 y mayores a la columna 2 y 5.

$$M = FL$$

$$M_x = 48.98 [N] (110 [mm]) = 5388 [N mm]$$

$$M_y = 68.98 [N] (110 [mm]) = 7588 [N mm]$$

$$\sigma_{zx} = \frac{M_x c}{I} = \frac{(5388 [N mm]) 9.5 [mm]}{5906.24 [mm^4]} = 8.67 [MPa]$$

$$\sum \sigma_{yx} = 8.67 [MPa] + 0.20 [MPa] = 8.87 [MPa]$$

$$\sigma_{zy} = \frac{M_z c}{I} = \frac{((7588 [N mm])) 9.5 [mm]}{5906.24 [mm^4]} = 12.19 [MPa]$$

$$\sum \sigma_{yz} = 12.19 [MPa] + 0.20 [MPa] = 12.39 [MPa]$$

Para obtener el esfuerzo máximo que se muestra en la simulación se saca la fuerza total en la columna:

$$F_4 = \sqrt{F_4z^2 + F_4x^2} = \sqrt{48.98^2 + 68.98^2} = 84.60 [N]$$

$$M_4 = 84.60N(110[mm]) = 9306.07 [Nmm]$$

Esfuerzo por flexión (Budynas & Nisbett, 2011):

$$\sigma_{4z} = \frac{M_4 c}{I} = 14.97 [MPa]$$

Una vez calculado el esfuerzo axial por flexión, se suma el esfuerzo de compresión calculado anteriormente.

$$\sigma_{4z} = 14.97 [MPa] + 0.20 [MPa] = 15.17 [MPa]$$

Resultado esfuerzo maximo en primera simulacion $\sigma_z max = 14.62 [MPa]$

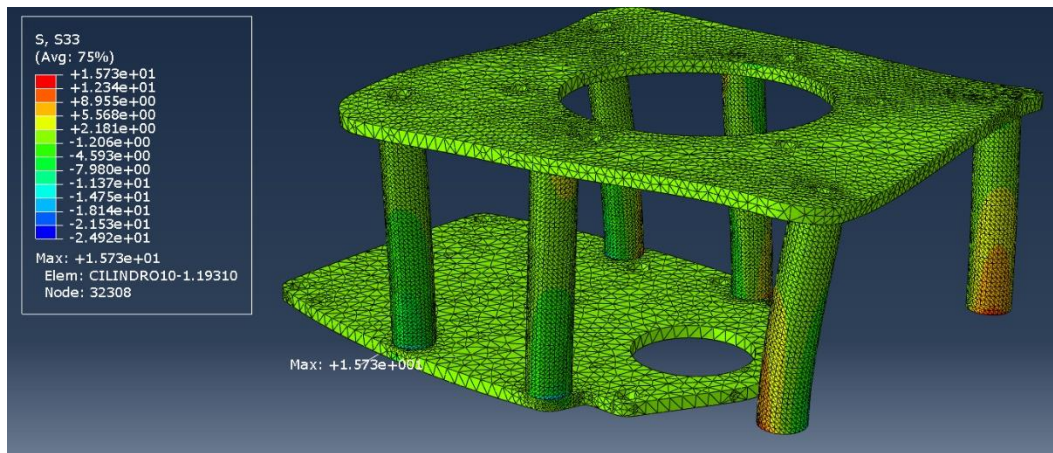


Figura 29: Esfuerzos simulación estructura completa.

Como la simulación inicial no se aproximó al valor calculado, se optó por discretizar aún más el mallado, para reducir el tiempo de cómputo en este mallado fino, se simplifico la simulación, únicamente utilizando una sola columna con los resultados de las fuerzas de reacción obtenidas previamente. Las ultima simulación mostro una convergencia a un esfuerzo máximo de 15.84 [MPa].

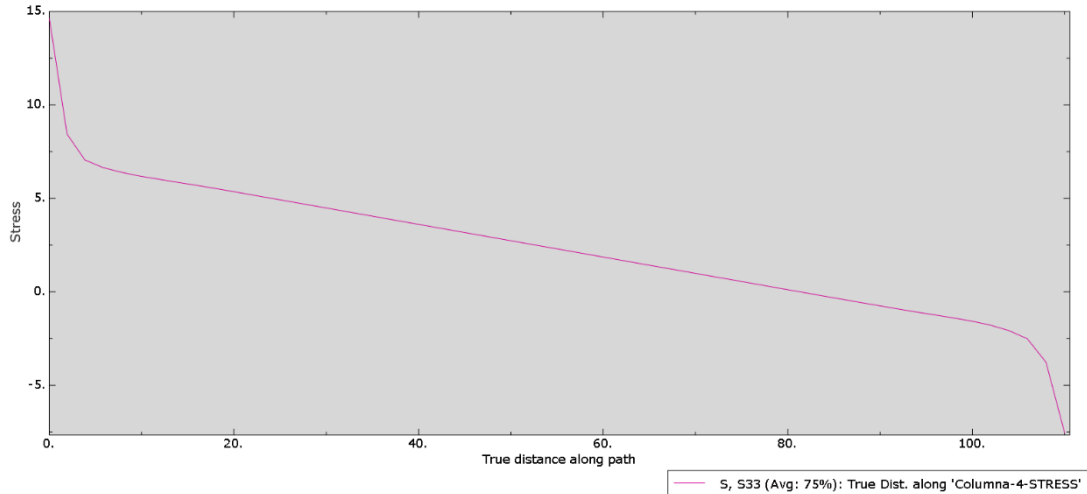


Figura 30: Distribución de esfuerzo a través de la columna 4

Factor de seguridad y esfuerzo Vonmises (Budynas & Nisbett, 2011)

$$\sigma' = \frac{\left((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right)^{1/2}}{\sqrt{2}} = 15.41 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ [MPa]}}{15.41 \text{ [MPa]}} = 16.22$$

Frecuencia natural:

El factor de seguridad calculado nos indica que la estructura se encuentra sobredimensionada, esto se debe a las dimensiones de las columnas, un diámetro de 12 [mm] es suficiente para alcanzar un factor de seguridad de 1.2, el incremento del diámetro fue necesario por el efecto de resonancia observado. En la siguiente tabla se muestra las frecuencias naturales simuladas en la segunda versión de la estructura, se realizaron 4 simulaciones para 4 diámetros diferentes.

Tabla 40: Análisis modal con variación de diámetros.

La frecuencia natural es incrementada fuera del rango de operación de motor si el diámetro supera los 14 [mm].

D [mm]	19	16	14	12
Modo	Freq [Hz]	Freq [Hz]	Freq [Hz]	Freq [Hz]
1	184.44	165.11	30.03	69.01
2	220.01	210.69	33.15	96.56
3	239.68	225.65	74.34	98.57
4	249.66	232.51	81.54	184.88
5	273.04	253.963	94.064	196.47
6	577.65	570.382	99.059	477.41
7	872.93	863.451	123.06	728.50
8	1116.68	1111.513	147.290	900.59
9	1227.30	1190.221	163.560	976.91
10	1256.654	1231.911	170.312	1017.60

Los datos señalados en la tabla corresponden a aquellas frecuencias dentro del rango de operación del motor. Si los datos son comparados con las frecuencias forzadas del motor, presentadas en la tabla 15, se puede observar que, el incremento del diámetro a 16 [mm], evita que la estructura entre en resonancia, esto se debe a que, al incrementar el diámetro, se

incrementa la rigidez de la estructura, la cual afecta la frecuencia natural de esta, la rigidez también pudo incrementar si se disminuía la longitud sin embargo este cambio no se realizó debido a que a que la altura se encontraba limitada por el espacio del acople y ejes.

Frecuencia (Kappos & Andreas, 2002):

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Si la frecuencia de una carga es igual a la frecuencia natural de la estructura su amplitud incrementara. La curva de prueba del motor Golden HPM48 muestra las revoluciones por minuto a diferente magnitud de torque, el torque máximo es de 29227.5 [N mm] con 3442 [rpm], el torque mínimo en el punto de carga es de 420 [N mm] tiene 4733 [rpm], se transforma estas revoluciones a [Hz] para compararlos con los valores de frecuencia natural, la siguiente tabla muestra esta transformación de unidades y otros puntos en la curva de prueba.

$$1[\text{Hz}] = 60 [\text{rpm}]$$

Tabla 41: Datos Curva de prueba del motor. Rango de frecuencia de motor se encuentra entre los 59.97 [Hz] y 83.34 [Hz].

Curva de prueba del motor HPM48-10000					
Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia in [W]	Velocidad [rpm]	Power out [W]	Freq [Hz]
50	300.00	20000.10	5000.12	20000.00	83.34
49.63	271.45	18069.63	4844.13	18009.89	80.73
49.26	242.91	16139.26	4688.11	16019.77	78.13
48.89	214.36	14208.89	4533.12	14029.66	75.55
48.52	185.81	12278.52	4377.09	12039.54	72.95
48.14	157.27	10348.15	4221.05	10049.43	70.35
47.77	128.72	8417.77	4065.02	8059.31	67.75
47.4	100.18	6487.45	3909.01	6069.20	65.15
47.03	71.63	4557.03	3754.05	4079.08	62.57
46.66	43.09	262.66	3598.11	2088.97	59.97

El efecto de resonancia ocurre cuando la frecuencia del cuerpo y la frecuencia forzada tienen una relación de 1, si aumentamos o disminuimos la frecuencia natural evitaremos el efecto de resonancia. El siguiente gráfico muestra el efecto de resonancia aplicando un torque de 27 [N m] a la estructura con diámetros de 14 [mm], con estas dimensiones a una frecuencia de 81.54 [Hz], el esfuerzo de Von Mises incrementa a una magnitud superior al esfuerzo de fluencia 350 [MPa], la gráfica utiliza un factor de amortiguamiento de $\varphi = 0.05$. En el anexo B se muestra la simulación de carga dinámica el proceso para aplicar la carga a la cual se esperaba observar el efecto de resonancia.

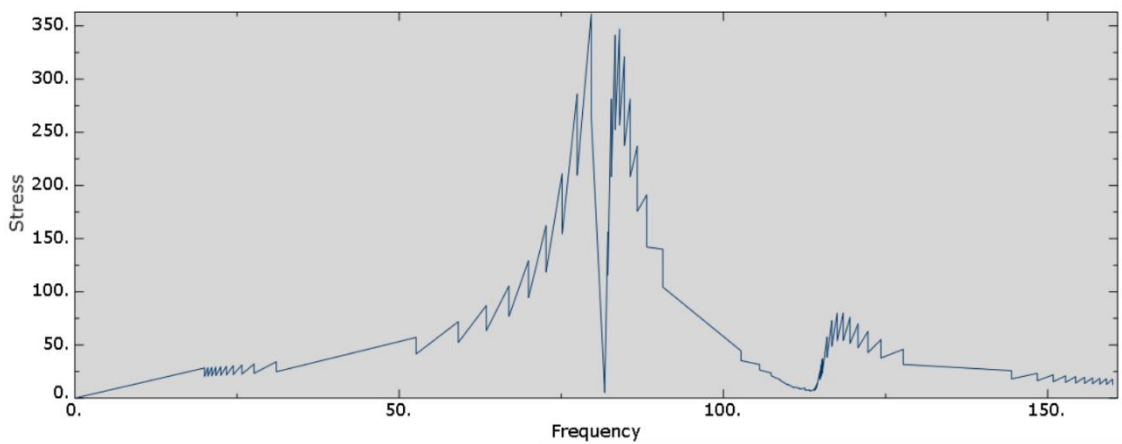
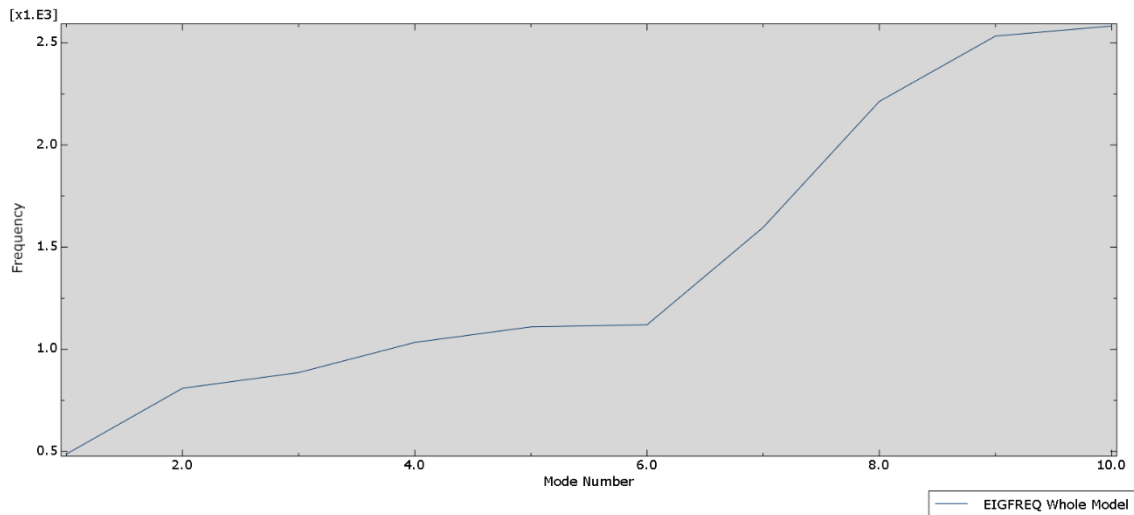


Figura 31: Resonancia presentada en la segunda versión de la estructura

Como se mencionó debido a esta resonancia se optó por cambiar la geometría de la placa por un más corta, las columnas son más gruesas, la frecuencia que más se aproxima al rango de velocidad del motor se encuentra en los 487.16 [Hz].

Figura 32: Frecuencias naturales de la estructura. La frecuencia natural en la estructura actual tiene frecuencias superiores a los 500 [Hz]



Análisis de placa superior

Es una placa de acero ASTM A36 de 6 [mm] de espesor, elegida por sus propiedades mecánicas y bajo costo de materia prima, así como costos de maquinado. El diseño se basa en una placa perforada en donde se asienta el motor eléctrico, esta base se encuentra elevada 11 [cm] de altura con respecto a la base, misma que se sienta en el chasis para dar un soporte extra y sellar el sistema. La placa alcanza los 110 [mm] de altura por acción de las varillas roscadas, también llamadas tuercas de acople, unidas a la placa mediante soldadura (2) así como otras cuatro columnas unidas a las placas de soporte por varillas roscadas en toda su longitud.

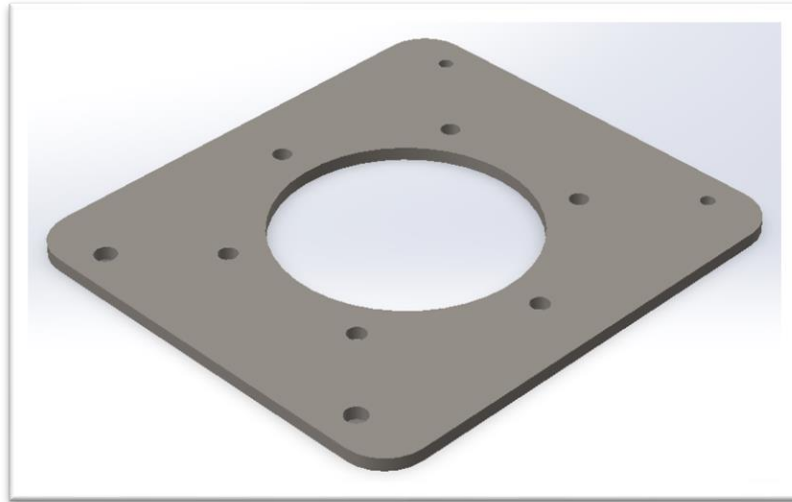


Figura 33: Placa base para motor eléctrico y controlador.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del modelado en SolidWorks.

Tabla 42: Especificaciones de la base.

Especificación	Valor
Masa	1.704 [kg]
Volumen	2.171E-4 [m ³]
Densidad	7.85 [kg/ m ³]
Peso	16.698 [N]

Condiciones iniciales

En la figura siguiente se puede apreciar que la base se encuentra anclada, con restricción de movimiento en los 3 ejes, así como exenta de torque y demás fuerzas externas. La parte superior se encuentra expuesta al torque del motor, mismo que está anclado por seis pernos, estos soportan todo el torque que genera.

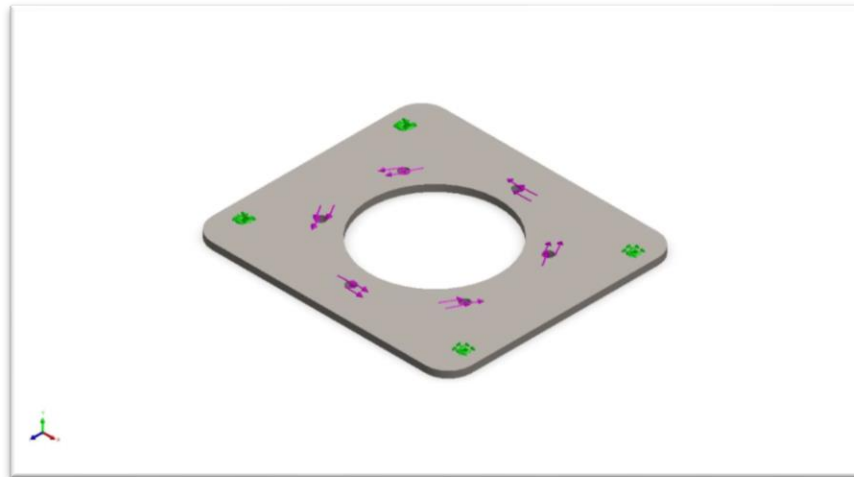


Figura 34: Interacción Global (Carga, Anclaje y Torque).

El torque aplicado a cada una de las caras de los orificios en los que embonan los pernos de anclaje es el torque máximo que genera el motor dividido exactamente para cada uno de los componentes que, en total, suman seis.

Tabla 43: Especificaciones del Torque.

Orificios:	6 caras
Tipo:	Torque Aplicado
Valor:	8.33 [N m]

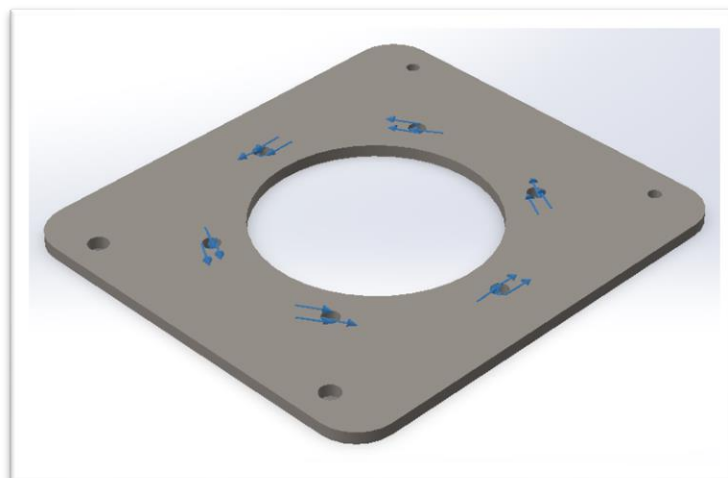


Figura 35: Torque aplicado.

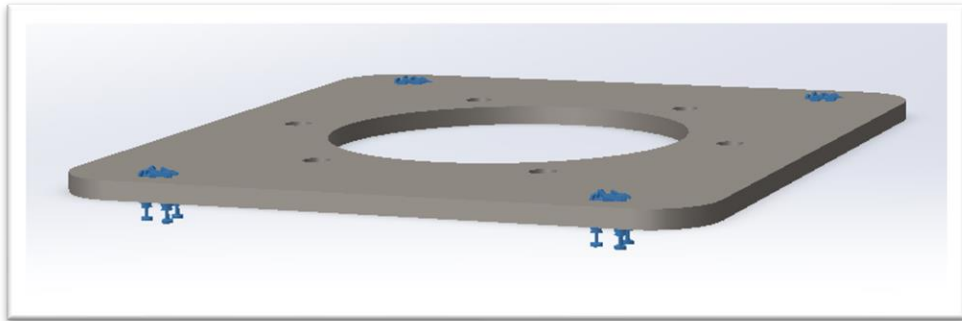


Figura 36: Anclaje a cada columna. (Total restricción de movimiento)

Resultados:

En esta sección se presenta la simulación de esfuerzos y torque aplicados a la placa superior, misma que soporta al motor y está anclada al chasis por cuatro columnas.

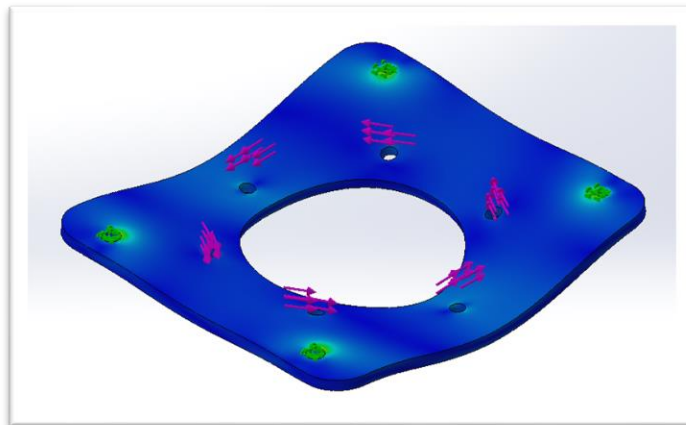


Figura 37: Esfuerzos según el criterio de Von Mises.

En la figura 35 se presentan, en una gama de colores, los esfuerzos resultantes bajo el criterio de Von Mises. Los colores claros representan valores más altos que los correspondientes a los colores oscuros, mismos que se visualizan en la zona de anclaje a las columnas (agujeros). Las flechas de color morado representan el torque transferido desde el motor eléctrico hacia los orificios internos, usados para anclar el motor a la placa.

Los esfuerzos se analizan bajo el criterio de Von Mises porque, al tratarse de la base que recibe todas las fuerzas en conjunto, se requiere ser específicos y conservadores.

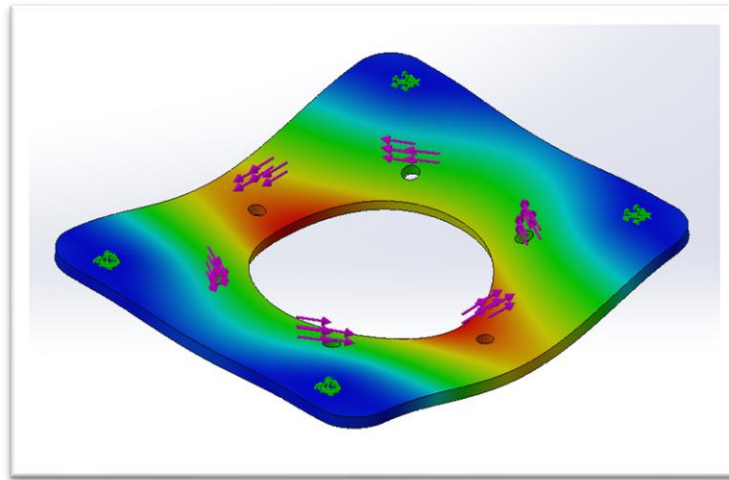


Figura 38: Deformación a causa de las fuerzas externas.

La Figura 36 muestra la deformación, resultante de la simulación, que sufre la placa. Los colores claros representan valores más altos que los correspondientes a los colores oscuros, sin embargo, se debe aclarar que el software presenta los resultados de forma excesiva con el fin de enfatizar los resultados. A pesar de que el torque total es repartido de forma uniforme entre los seis pernos que soportan el motor, es en la zona media donde se visualiza un pandeo mayor, a pesar de esto, el pandeo resulta imperceptible pues se tratan de $5.95E-3$ [mm].

En los prototipos anteriores el principal problema era una placa 2 [mm] más delgada, por lo que se tuvo un pandeo que interfería con la vibración del motor. En esta simulación se observa que el pandeo resulta imperceptible.

Tabla 44: Resultado de Esfuerzos y Desplazamiento por el torque aplicado.

Nombre	Tipo	Min	Max
Esfuerzo	Esfuerzo de Von Mises	5.462E3 [N/m ²]	9.520E6 [N/m ²]
Desplazamiento	Desplazamiento Resultante	0.000E0 [mm]	5.958E-3 [mm]

Cálculo de Pernos para Anclaje del Motor y Base

El motor eléctrico se encuentra anclado a la base metálica (acero A36) mediante seis pernos. El espesor de la plancha metálica es de 7 [mm] y el motor puede producir un torque máximo de $M = 50$ [Nm]. El radio existente entre el centro geométrico y el centro de cada uno de los pernos es de 74 [mm]. En este análisis se evaluará: a) La carga resultante que soporta cada perno, b) La carga máxima que puede soportar cada uno de los pernos.

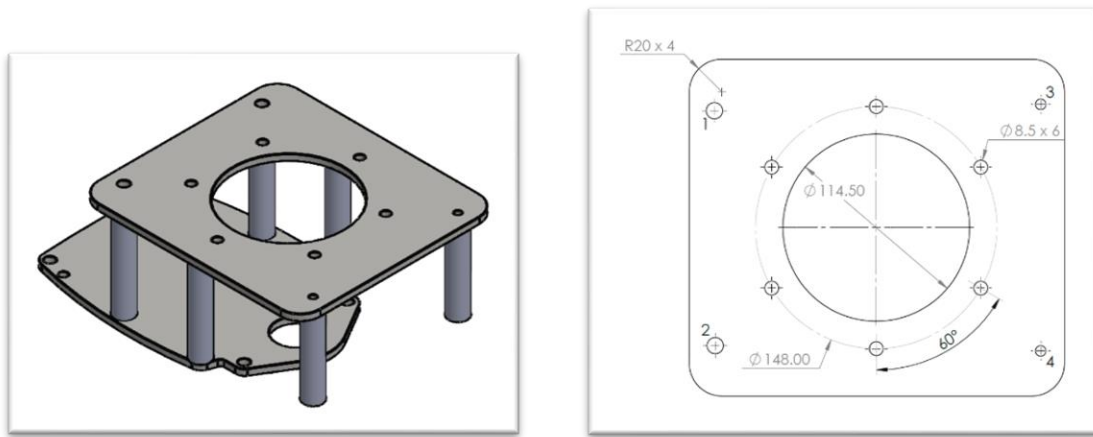


Figura 39: Placa base y cotas de la zona de anclaje.

Solución:

a) Los pernos soportan dos fuerzas a causa del torque producido por el motor: La carga cortante primaria definida por F' y la fuerza cortante secundaria definida por F'' .

Los pernos están ubicados simétricamente desde el centro del eje, por lo que el valor de la carga cortante primaria será el mismo para todos. La ecuación que lo define es: NOTA: Ecuaciones tomadas de (Celis, 2019).

$$F' = \frac{V}{n}$$

$$V = \frac{M}{r}$$

donde:

M : Torque

r : Radio

V : Reacción del cortante

$$V = \frac{50 [Nm]}{74 [mm]} = 675.676 [N]$$

$$F' = \frac{675.676 [N]}{6} = 112.613 [N]$$

Por simetría, cada uno de los pernos soporta la misma fracción de torque, siendo esta $\frac{1}{6}$ del torque total, pues el motor se soporta mediante 6 pernos. La fuerza cortante que soporta cada uno de los pernos también es igual para todo y la siguiente ecuación la define: NOTA: Ecuaciones tomadas de (Celis, 2019).

$$F'' = \frac{Mr}{6r^2} = \frac{M}{6r}$$

donde:

M : Torque

r : Radio

$$F'' = \frac{50 [Nm]}{6(74 [mm])} = 112.613 [N]$$

Nota: En el sistema no hay fuerzas axiales que actúan en dirección de la placa, únicamente existe el torque generado por el motor. Esto se verifica pues las dos fuerzas resultantes en cada uno de los pernos tienen igual valor.

b) Los pernos que se usarán para el soporte del motor son M8 x 1,5.

1. Teniendo en cuenta el agujero roscado del motor, el espesor de la lámina metálica y una arandela entre la cabeza del perno y la lámina, el sujetador suma una longitud de: NOTA: Ecuaciones tomadas de (Celis, 2019).

$$L > h + 1.5d^{[1]}$$

$$h = 2 + 7 = 9 \text{ [mm]}$$

$$L = 9 + 1.5(8)$$

$$L = 21 \text{ [mm]}$$

^[1] El valor de L se redondea usando la siguiente tabla:

Tabla 45: Longitudes comerciales para pernos [mm].

Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

NOTA: Tabla tomada de (Budynas, 2012)

$$L = 22 \text{ [mm]}$$

2. Se debe determinar la longitud de la rosca (L_T) con el fin de saber en donde puede fallar el perno. El diámetro del perno es de 8.5 [mm].

$$L_T = 2d + 6 = 2(8) + 6$$

$$L_T = 22 \text{ [mm]}$$

Como $L_T > L$, el sujetador se cortará en su diámetro menor, por lo que el área de esfuerzo cortante es igual a $A_t^{[2]}$ (Área de esfuerzo de tensión).

^[2] El valor de A_t se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 46: Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso.

Serie de paso grueso			
Diámetro mayor nominal d , mm	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07
2	0.40	2.07	1.79
2.5	0.45	3.39	2.98
3	0.5	5.03	4.47
3.5	0.6	6.78	6.00
4	0.7	8.78	7.75
5	0.8	14.2	12.7
6	1	20.1	17.9
8	1.25	36.6	32.8
10	1.5	58.0	52.3
12	1.75	84.3	76.3

$$A_t = 36.6 [mm^2]$$

3. El esfuerzo cortante (Budynas & Nisbett, 2011) para cada uno de los pernos es:

$$\tau = \frac{F}{A_t} = \frac{112.613 [N]}{36.6 [mm^2]}$$

$$\tau = 3.077 [MPa]$$

NOTA: Ecuaciones tomadas de (Celis, 2019)

c) Los pernos que se usarán para el soporte de la base son M12 x 1,5.

1. Teniendo en cuenta el agujero roscado de las columnas más el espesor de la base metálica inferior, el sujetador suma una longitud de:

$$L > h + 1.5d \text{ [}^3\text{]}$$

$$h = 2 + 6 = 8 [mm]$$

$$L = 8 + 1.5(12)$$

$$L = 26 [mm]$$

^[3] El valor de L se redondea usando la tabla de longitudes comerciales.

$$L = 28 [mm]$$

2. Se debe determinar la longitud de la rosca (L_T) con el fin de saber en donde puede fallar el perno. El diámetro del perno es de 12 [mm]:

$$L_T = 2d + 6 = 2(12) + 6$$

$$L_T = 30 [mm]$$

Como $L_T > L$, el sujetador se cortará en su diámetro menor, por lo que el área de esfuerzo cortante es igual a A_t ^[4] (Área de esfuerzo de tensión).

^[4] El valor de A_t se encuentra en la tabla: “Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso”.

$$A_t = 84.300 [mm^2]$$

3. El esfuerzo cortante (Budynas & Nisbett, 2011) para cada uno de los pernos es:

$$\tau = \frac{F}{A_t} = \frac{112.613 [N]}{84.300 [mm^2]}$$

$$\tau = 1.336 [MPa]$$

NOTA: Ecuaciones tomadas de (Celis, 2019)

Post procesamiento de resultados para cargas puntuales

Las fuerzas de reacción calculadas son fuerzas puntuales, no toman en cuenta la forma de la columna, realizar una simulación con placas y columnas, resultan en fuerzas similares al valor calculado y se puede sacar un valor promedio entre los resultados de cada nodo que se encuentra en el área seccional del perfil para comparar resultados, sin embargo se puede evitar este procedimiento y realizar una comparación directa entre los resultados de simulación y cálculos, dividiendo la placa en las coordenadas donde se sitúan cada columna, de esta forma se puede ubicar nodos en estos puntos de interés.

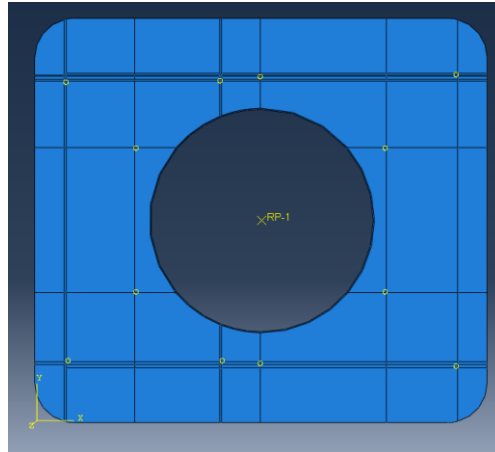


Figura 40: División de la placa para simulación

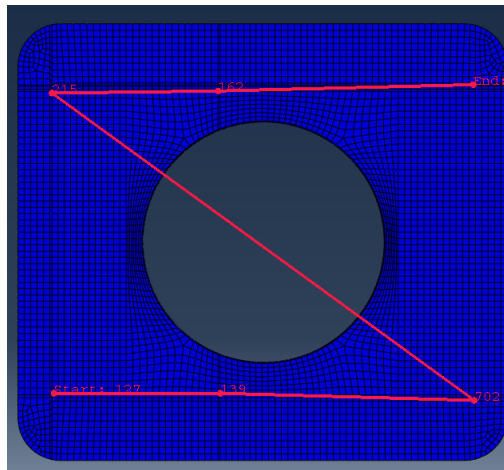


Figura 41: Ejemplo de camino de nodos en simulación

Por último, se realiza un camino por cada nodo, para extraer únicamente los resultados en estos puntos, se grafican los resultados y se utiliza la herramienta de “Excel utilities”, para importar estos valores a Excel donde se utilizaron estos valores, para comparar varias simulaciones con un aumento en la discretización del mallado, hasta que los resultados convergieran.

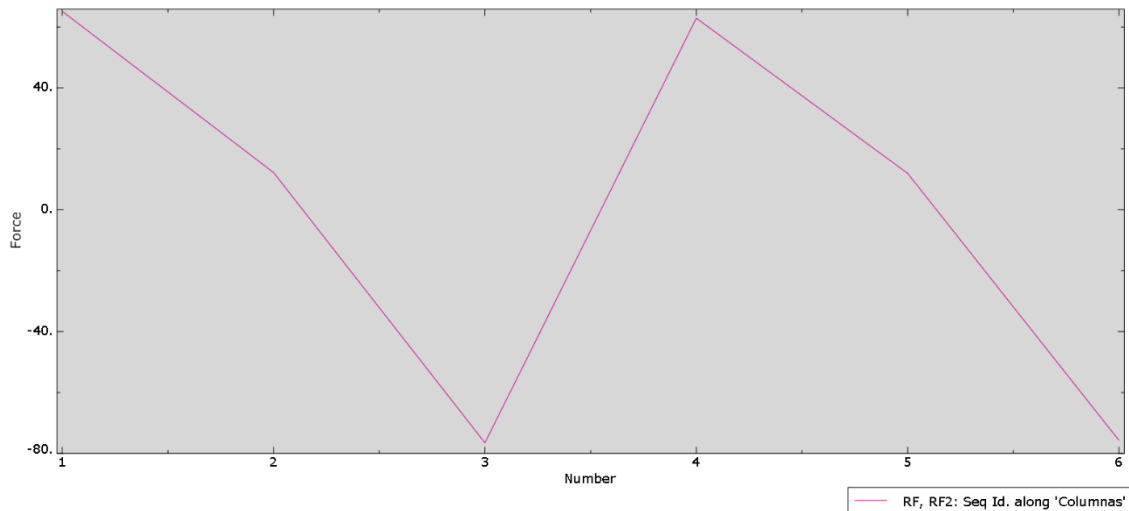


Figura 42: Ejemplo de grafico de resultados en Abaqus recciones fuerzas eje y.

Tabla 47: Variación de resultados con mejora en discretizado.

	Global size 3	Global size 2.0	Global size 1.5 tet
F1x [N]	-48.71	-49.70	-46.85
F2x [N]	-46.70	-47.77	-48.91
F3x [N]	-49.56	-50.53	-51.99
F4x [N]	50.25	51.14	49.67
F5x [N]	44.79	46.68	46.73
F6x [N]	49.94	50.17	51.35
F1y [N]	65.172	64.63	65.15
F2y [N]	11.298	10.42	12.24
F3y [N]	-75.807	-75.20	-76.53
F4y [N]	65.079	64.66	62.92
F5y [N]	12.686	11.52	11.95
F6y [N]	-78.427	-76.03	-75.74

La tabla anterior muestra la variación en los resultados para las simulaciones, entre la última simulación realizada y las fuerzas calculadas el error más grande es de 13% en la fuerza de la columna 2. Este tamaño y tipo de elemento fue considerado en futuras simulaciones.

Análisis de Tolerancias.

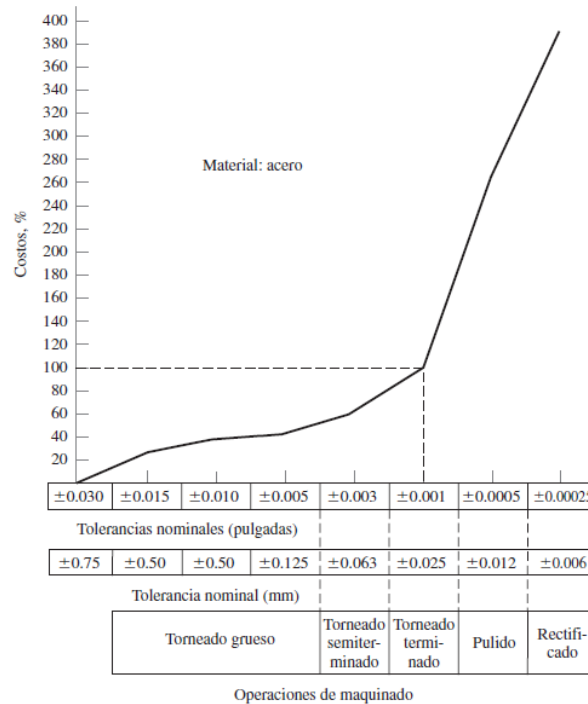


Figura 43: Tolerancias para el proceso de torneado.

Las columnas fueron fabricadas en el torno CNC, estas son de acero AISI 1045 (acero de transmisión) elegido por su capacidad de soportar cargas de torsión y vibraciones. El diámetro de las columnas comercial es de 19.60 [mm], por lo que únicamente se aplica un torneado semiterminado.

Informe de diseño de acople para conexión de eje de motor eléctrico con eje de fuera de borda.

El acople es la parte principal que se encarga de conectar los ejes del motor eléctrico y el eje estriado (hélice de fuera de borda). Son sistemas de transmisión de movimiento entre dos ejes. Su principal objetivo es asegurar la transmisión de la potencia mecánica y absorber las

vibraciones en la unión entre los dos elementos (EDIPOR). Existen varios tipos de acoples según su requerimiento, por ejemplo, algunos acoples soportan más desalineamiento entre ejes que otros y otros acoples de tamaños más pequeños concentran mayor capacidad de transmisión de torque, esto se da en aplicaciones donde el espacio sea crítico, como es el caso de este proyecto.

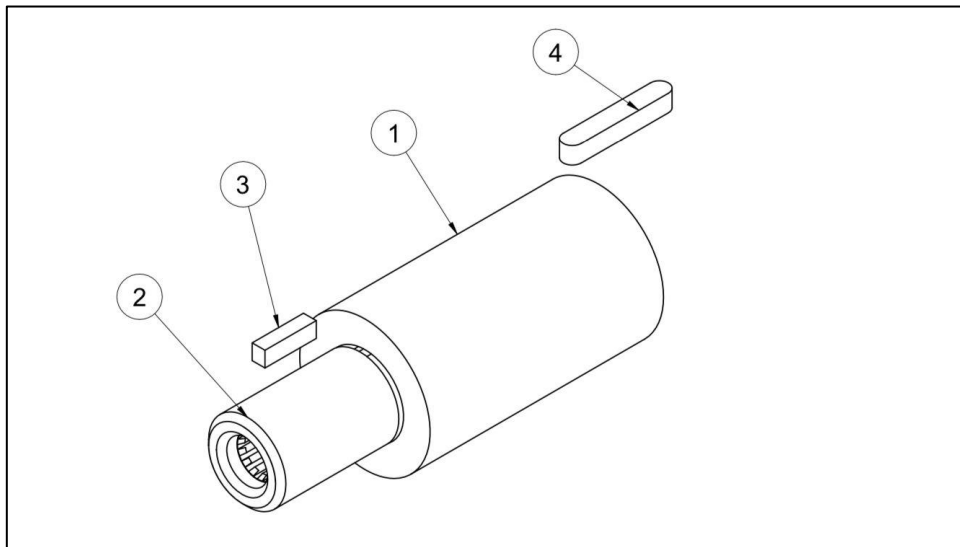


Figura 44: Acople completo y sus partes: 1) Acople base, 2) Acople estriado, 3) chaveta para acople estriado y 4) chaveta para eje de motor (Fuente: Planos Fusion 360).

La figura anterior se presenta al acople completo y sus partes donde el elemento 1 señala el acople base, 2 el cilindro estriado, 3 chaveta para cilindro estriado y 4 la chaveta para eje de motor eléctrico. Los requerimientos propuestos por la Fundación Kara Solar para el acople es conectar un eje de 1 [in] (25.4 mm) de diámetro y 47 [mm] de largo, a otro eje estriado de 5/8

[in] (15.875 mm) de diámetro y 14 dientes, y debe soportar un torque máximo de 50 [Nm] producido por el eje del motor eléctrico.

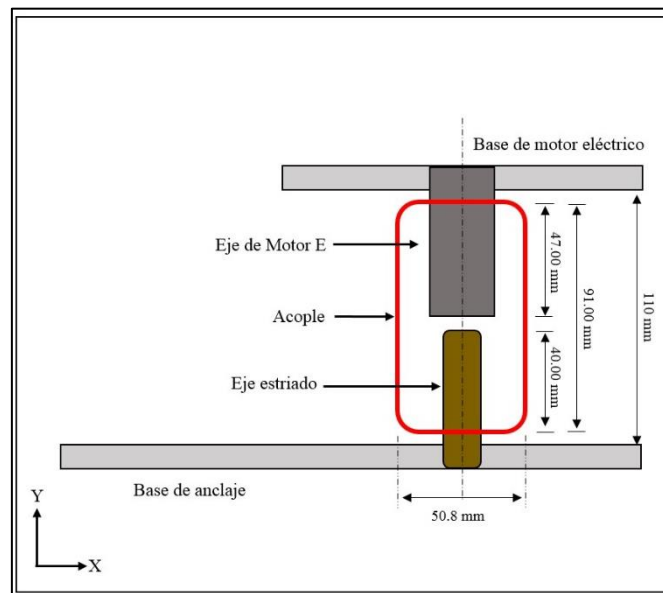


Figura 45: Dimensiones seleccionadas del sistema de acople. En la parte de color rojo se encuentra el acople que conecta a los dos ejes, en la parte de arriba está el eje del motor y en la parte de abajo está el eje estriado (Fuente: Autor).

Al analizar las dimensiones del sistema del acople se plantea diseñar un acople que cumpla con los requerimientos de tamaño y resistencia. Con respecto al tamaño, como se observa en la figura anterior, se puede utilizar un espacio máximo de 50.8 [mm] de diámetro y 91.0 [mm] de largo, estas dimensiones permiten sostener y, mantener alineados a los ejes entre sí, de la misma manera estas medidas evitan que tenga contacto con las columnas que conectan a las dos bases. Con respecto a la resistencia y el material del acople, se buscó en el mercado materiales para este tipo de transmisión, el más común es el Acero AISI 1018 (Transmisión). Este acero al carbono tiene excelente resistencia mecánica cuando está sometido a torsión debido a la transmisión de par de fuerzas, se lo utiliza para la fabricación de partes de maquinaria como: ejes, pines, árbol de levas, entre otros (DIPAC).

Tabla 48: Propiedades mecánicas de Acero AISI 1018 (Transmisión)(Fuente: DIPAC).

Propiedades Mecánicas de Acero AISI (Transmisión)			
Resistencia Mecánica [N/mm²]	Punto de Fluencia [N/mm²]	Elongación % Min	Dureza Rockwell B
410 - 520	235	20	143

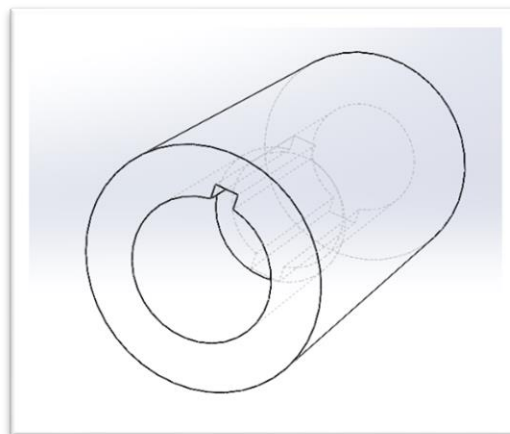


Figura 46: Acero AISI 1018 (Transmisión) de 2 [in] (50.8 mm) de diámetro seleccionado por 91 [mm] de largo (Fuente: Planos Fusion 360).

Uno de los primeros problemas que se presenta es el acople estriado, y es el que va conectado directamente al eje de la hélice del fuera de borda. Actualmente nuestro país no cuenta con maquinaria que fabrique estriados por lo que se decide usar el mismo repuesto del fuera de borda - Yamaha de 40 [hp] que es el (Cigüeñal 6T-11442-00-001), maquinándolo en un torno hasta obtener un cilindro solamente con la parte estriada hembra.



Figura 47: Cigüeñal 6T-11442-00-001. Este cigüeñal se utilizará de acople estriado hembra (Fuente: Manual Yamaha).

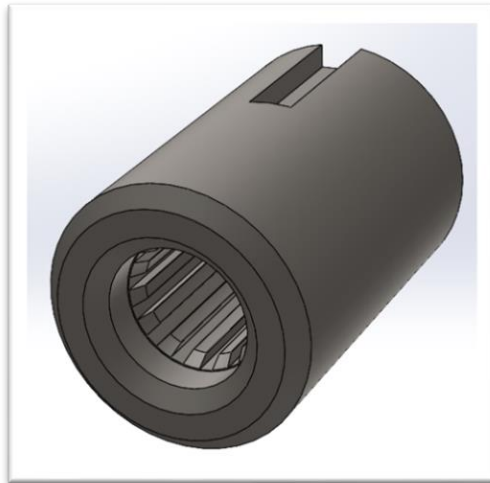


Figura 48: Cilindro estriado hembra después de tornearlo (Fuente: SolidWorks)

Cálculos

Diagrama de cuerpo libre del acople completo y la parte crítica a analizar. A continuación, se expone el diagrama de cuerpo libre de la parte crítica para analizar:

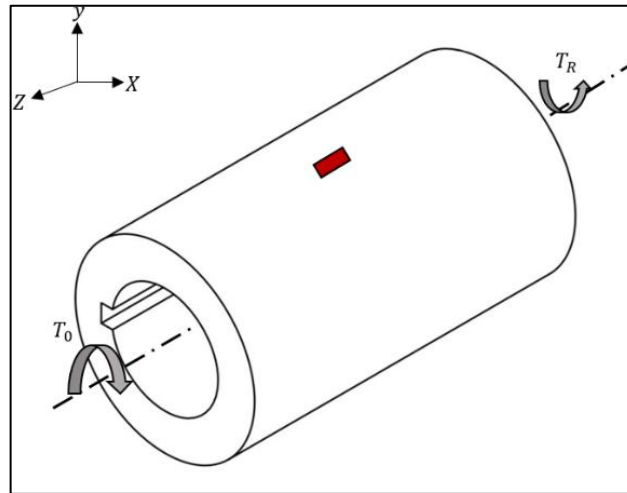


Figura 49: DCL de acople, torque T_0 y reacción T_R , y el elemento infinitesimal se encuentra de color rojo y está en esfuerzo cortante (Fuente: Autor).

La figura anterior es el diagrama del acople completo, donde se puede observar el torque máximo aplicado. El elemento infinitesimal para analizar que se escogió es en medio del acople debido a que en esta parte es donde se centra el esfuerzo cortante. El acople sufre el esfuerzo cortante T_0 , la misma que causa una reacción T_R en la dirección opuesta al torque máximo, que para facilitar la comprensión son denominadas T_0 y T_R en la sección del cálculo de esfuerzos y factor de seguridad

1. Dibujar el elemento infinitesimal, realizar el cálculo de los esfuerzos correspondientes y determinar los factores de seguridad estáticos:

El torque que se aplica en el acople para los cálculos será de 50 [N m] y se encuentra en la superior del acople donde va conectado el eje del motor. Los 50 [N m] se transforma a [N

mm] mediante el factor de conversión de 1000 mm / 1 m. En esta sección se utilizan ecuaciones del libro (Shigleys – Mechanical Engineering 10 th – Capítulo 5)

Datos:

$$T_0 = 50000 [N \text{ mm}]$$

$T_R = \text{Reacción contraria al torque}$

$$d_i = 30.1 [mm]$$

$$D_o = 50.8 [mm]$$

Material:

AISI – 1018 CD

$$S_y = 370 [MPa] (54 [Kpsi])$$

$$S_{UT} = 440 [MPa] (64 [Kpsi])$$

Análisis:

Se escoge un punto de análisis en la sección superior del acople completo.

Elemento infinitesimal:

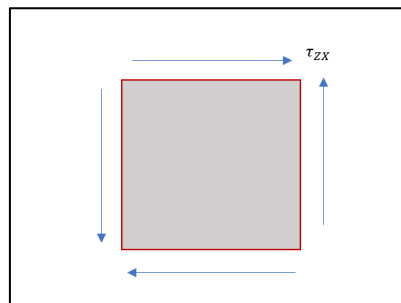


Figura 50: Elemento infinitesimal de la parte superior del acople que va del eje z a x y se encuentra en cortante (Fuente: Autor).

Las siguientes ecuaciones permiten calcular los esfuerzos cortantes y esfuerzos principales (Shigley's, 2015)

Esfuerzos:

τ_{xy} : Esfuerzo por torsión causado por el torque T_o

$$\tau_{xy} = \frac{T_o \cdot r_o}{J}$$

$$r_o = \frac{D_o}{2}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - d_i^4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{(50000 [N \text{ mm}]) \cdot \left(\frac{50.8 [mm]}{2}\right)}{\frac{\pi}{32} (50.8^4 - 30.1^4)} = 2.22 [MPa]$$

Esfuerzos principales:

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde:

$$\sigma_x = 0$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_A, \sigma_B = \pm\sqrt{\tau_{xy}^2} = \pm\sqrt{(2.22)^2} = 2.22 [MPa]$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde:

$$\sigma_x = 0$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\tau_{xy}^2} = \sqrt{(2.22)^2} = 2.22 \text{ [MPa]}$$

Circulo de Mohr:

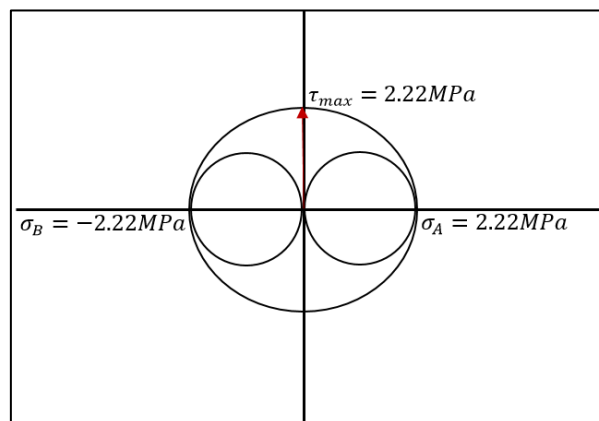


Figura 51: Circulo de Mohr de esfuerzos principales (Fuente: Autor).

Teorías de falla

Las siguientes ecuaciones permiten calcular los siguientes factores de seguridad (Shigley's, 2015)

1. Teoría de Esfuerzo Máximo Cortante (Máximum Shear Strees)

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n}$$

$$n = \frac{S_y}{2\tau_{max}}$$

$$n = \frac{370}{2(2.22)}$$

$$n = 83.33$$

2. Teoría de Distorsión (Distortion Energy)

Von Mises

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2)$$

$$\sigma' = ((2.22)^2 - (2.22)(2.22) + (2.22)^2)$$

$$\sigma' = 4.92 \text{ [MPa]}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{370}{4.92}$$

$$n = 75.20$$

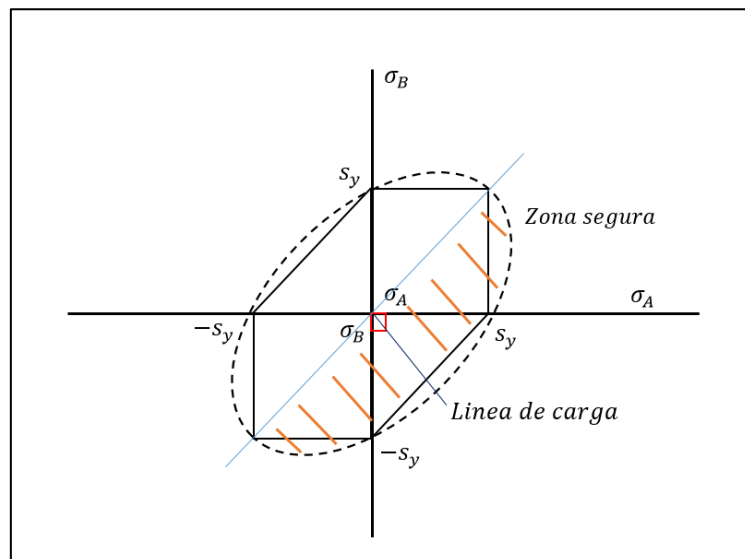


Figura 52: Gráfica de energía de distorsión. La línea de carga nos muestra que según la teoría nuestro diseño del acople se encuentra en zona segura (Fuente: Autor).

2. Determinar los factores de seguridad a fatiga de la parte crítica utilizando teorías adecuadas

Para el siguiente análisis del acople se utilizó las teorías de Goodman y de Gerber. La carga que el eje del motor produce es reversible de tal manera que se diseñó para vida infinita,

pues este acople es pensado para usarse por varios años. El material que conforma el acople es de Acero AISI 1018 CD. Seguido de esto, se encuentra el cálculo del esfuerzo cortante y del esfuerzo cortante amplitud y medio. El concentrador de esfuerzo cortante de fatiga es igual a 1 debido a que no existen concentradores de esfuerzo en el acople completo. En esta sección se utilizan ecuaciones y tablas del libro (Shigleys – Mechanical Engineering 10 th – Capítulo 6)

Datos:

$$T_0 = 50000 [N mm]$$

$T_R =$ *Reacción contraria al torque*

$$d_i = 30.1 [mm]$$

$$D_o = 50.8 [mm]$$

AISI – 1018 CD

$$S_y = 370 [MPa]$$

$$S_{UT} = 440 [MPa]$$

Las siguientes ecuaciones permiten calcular los esfuerzos fluctuantes y factores de fatiga (Shigley's, 2015).

Torque fluctuante:

$$T_{max} = 50000 [N mm]$$

$$T_{min} = 0$$

$$\tau_{max} = \frac{T_{max} \cdot r_o}{J} = \frac{(50000 [N mm]) \cdot \left(\frac{50.8 [mm]}{2}\right)}{\frac{\pi}{32} (50.8^4 - 30.1^4)} = 2.22 [MPa]$$

$$\tau_{min} = \frac{T_{min} \cdot r_o}{J} = 0 \text{ [MPa]}$$

Elemento infinitesimal:

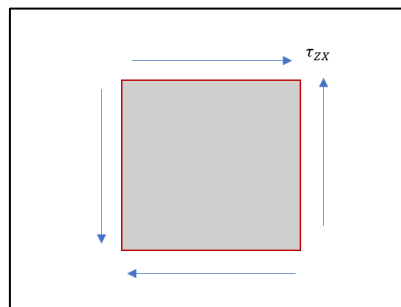


Figura 53: Elemento infinitesimal de la parte superior del acople que va del eje z a x (Fuente: Autor).

Esfuerzos:

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} = \frac{2.22 - 0}{2} = 1.11 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} = \frac{2.22 + 0}{2} = 1.11 \text{ [MPa]}$$

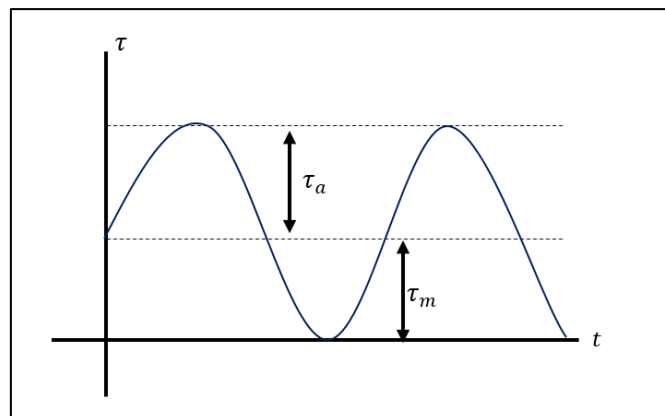


Figura 54: Grafica de esfuerzos fluctuantes amplitud y medio, esto nos muestra que se está analizando con un torque máximo y mínimo para obtener análisis a fatiga (Fuente: Autor).

Concentrador de esfuerzos:

El acople no cuenta con concentradores de esfuerzo en la sección donde se hace el análisis, por lo que se asume:

$$K_{fs} = 1$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e'$$

S_e' = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$$S_e' = 0.5 \cdot S_{ut} = 0.5 \cdot (440) = 220 \text{ [MPa]}$$

k_a = factor de modificación por la condición superficial

Tabla 6-2: se selecciona maquinado (Machined or cold-drawn)

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = a S_{ut}^b$$

$$K_a = 4.51(440)^{-0.265} = \mathbf{0.899}$$

k_b = factor de modificación por el tamaño

Se utiliza la ecuación (6-20)

$$2.49 \leq d \leq 51 \text{ [mm]}$$

$$d = 50.8 \text{ [mm]}$$

$$K_b = 1.24 \cdot d^{-0.107} = 1.24 \cdot (50.8)^{-0.107} = \mathbf{0.815}$$

$k_c = \text{factor de modificación por la carga}$

Se utiliza la ecuación (6-26)

Por torsión se asume un valor de:

$$K_c = 0.59$$

$k_d = \text{factor de modificación por la temperatura}$

Tabla 6-4: no hay efecto de temperatura

$$K_d = 1$$

$k_e = \text{factor de confiabilidad}$

Tabla 6-5: se utiliza una confiabilidad del 95%

$$K_e = 0.868$$

$k_f = \text{factor de modificación por efectos varios}$

No hay efectos misceláneos

$$K_f = 1$$

Solución:

$$S_e = (0.899) \cdot (0.815) \cdot (0.59) \cdot (1) \cdot (0.868) \cdot (1) \cdot (220)$$

$$S_e = 82.55 \text{ [MPa]}$$

$$S_{Se} = 0.577 \cdot S_e = 0.577 \cdot (82.55) = 47.63 \text{ [MPa]}$$

$$S_{Su} = 0.67 \cdot S_{UT} = 0.67 \cdot (440) = \mathbf{294.80 [MPa]}$$

$$S_{Sy} = 0.577 \cdot S_y = 0.577 \cdot (370) = \mathbf{213.49 [MPa]}$$

Teorías de fatiga y factores de seguridad en esfuerzo cortante

Goodman:

$$\eta = \frac{1}{\frac{\tau_a}{S_{Se}} + \frac{\tau_m}{S_{Su}}}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{1.11}{47.63} + \frac{1.11}{294.80}} = \mathbf{36.94}$$

Gerber:

$$\eta = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{Su}}{\tau_m} \right)^2 \frac{\tau_a}{S_{Se}} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\tau_m S_{Se}}{S_{Su} \tau_a} \right)^2} \right]$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left(\frac{294.80}{1.11} \right)^2 \frac{1.11}{47.63} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2(1.11)(47.63)}{(294.80)(1.11)} \right)^2} \right]$$

$$\eta = \mathbf{41.84}$$

Tabla 49: Factores de seguridad del acople con las teorías seleccionadas (Fuente: Autor - Excel).

FACTORES DE SEGURIDAD DEL ACOPLÉ	
Estático	
Maximun Shear Strees	83.33
Distortion Energy	75.20
Fatiga	
Goodman	36.94
Gerber	41.84

Simulaciones

Como carga principal se presenta el acople, el cual soportar todo el torque inicial que produce el motor de 50 000 [N mm]. El material del acople es AISI 1018 CD (Transmisión). Se debe tomar en cuenta que el acople se encuentra restringido en la sección del estriado, debido a que este es el caso más crítico que el acople podría sufrir, en caso de que la hélice del fuera de borda se atasque en uno de sus viajes por el rio. Para simular esto, se modificó a la pieza a que el torque se ubique en la parte donde ingresa el eje del motor.

Esfuerzo de Von Mises:

En la siguiente figura se puede observar el esfuerzo máximo de Von Mises que es de 3.736 [MPa] y se da justo en la sección donde se colocó el elemento infinitesimal.

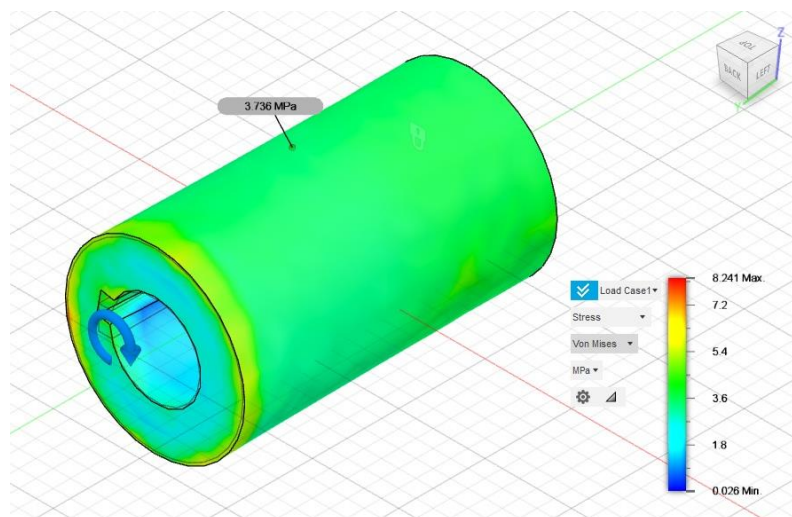


Figura 55: Resultados de la simulación con Von Mises en el acople. El valor obtenido en el punto de análisis seleccionado es de 3.736 y se encuentra en el rango de color verde, eso significa que el valor del esfuerzo se encuentra lejos del crítico

(Fusion 360).

En la siguiente figura, se puede observar los factores de seguridad. El punto de análisis que se escogió tiene un factor de seguridad de 71.84, el cual significa que no va a fallar y tiene vida infinita.

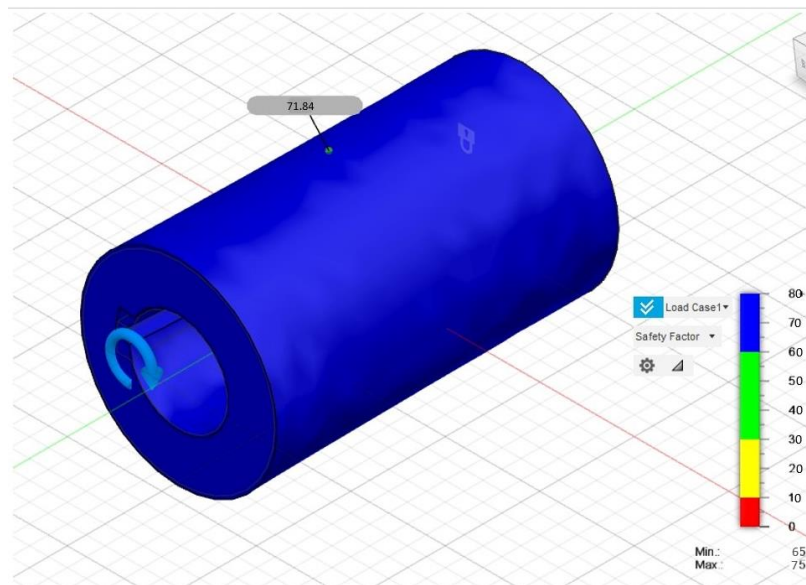


Figura 56: Factor de seguridad en el acople en general. Como se puede observar en la figura, tenemos valores en el rango de color azul y en el punto de análisis seleccionado, eso quiere decir que los F.S están sobredimensionados

(Fusion 360).

En los primeros cálculos manuales se determinó que el esfuerzo de Von Mises calculado en el elemento infinitesimal es de 4.92 [MPa] y el factor de seguridad obtenido con la teoría de energía de deformación es de 75.20 (todo se encuentra en análisis estático). El factor de seguridad a fatiga obtenido de los cálculos manuales es de 41.84 y se calculó con la teoría de Gerber. En la simulación del acople presentó que el esfuerzo de Von Mises en el elemento infinitesimal seleccionado alcanzado es de 3.74 [MPa] y un factor de seguridad de 78.46. Existe un error porcentual de 4.15% en la diferencia de los cálculos de los factores de seguridad (todo

en estático), lo cual quiere decir que la diferencia no es mucha y existe una gran aproximación entre estos dos valores.

El punto de interés para comparar los valores calculados es en el elemento infinitesimal. Esta diferencia se debe por las secciones creadas para la simulación. En los lados del elemento infinitesimal se encuentra dos agujeros de diferente diámetro. Esto significa que hay un concentrador de esfuerzo que está afectando los resultados. Esto explicaría por qué la simulación tiene un mayor factor de seguridad con respecto a lo calculado, así mismo con los esfuerzos de la simulación y lo calculado.

Informe de diseño de sistema de refrigeración de controlador y motor eléctrico.

Primero se procede a realizar un análisis termodinámico para aproximar el flujo volumétrico de agua del río que se debe introducir al sistema para disipar el calor producido por el controlador y por el motor eléctrico; una vez obtenidos los dos valores se procederá a elegir el mayor flujo y trabajar con ese valor para el análisis global del sistema de refrigeración. En la siguiente imagen se muestra la posición del controlador dentro del fuera de borda para facilitar el entendimiento del componente a ser refrigerado.

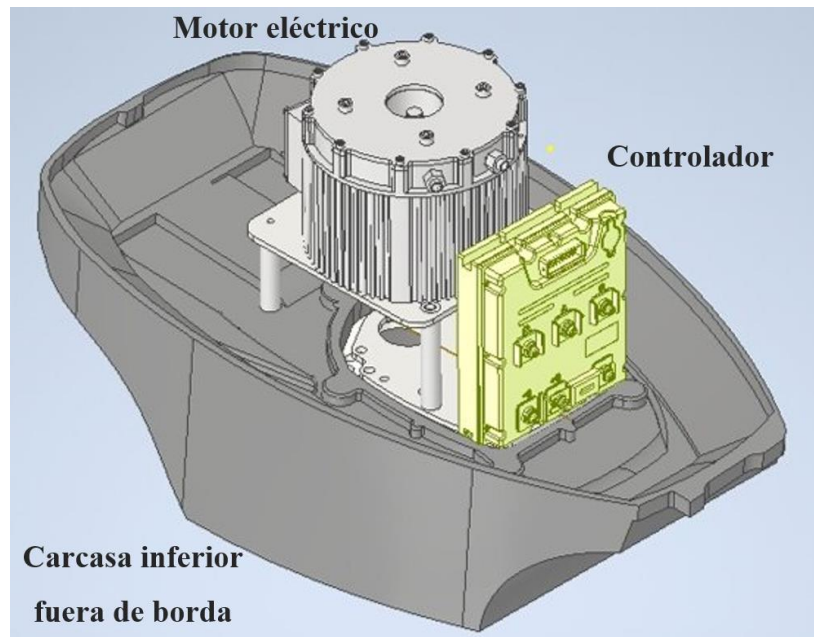


Figura 57: Controlador eléctrico dentro de fuera de borda.

El componente que se encuentra de color palo de rosa representa al controlador eléctrico; además se muestra la posición respecto al motor eléctrico y la base del sistema. Este es alimentado con 10000 [W] directo de las baterías que se encuentran en la base de la embarcación; adicional la eficiencia depende de la temperatura a la cual se encuentra; para las primeras aproximaciones se toma una eficiencia del 70% lo cual representa pérdidas de 3000 [W] y se comprueba si el sistema de refrigeración permite disipar esa cantidad de calor generada y si no es así entonces se procede a encontrar la eficiencia mínima que puede tener el controlador antes de que el sistema de refrigeración deje de ser funcional. Además, se conoce por parte de Kara Solar que la eficiencia del motor eléctrico es de 92% lo cual entrega una pérdida de 800 [W]; la cual se disipará mediante el fluido que sale del controlador.

Ecuación de la conservación de la energía. (Cengel, 2018).

$$\dot{E}_{out} - \dot{E}_{in} = \dot{W}$$

$$\dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) = \dot{W}$$

Donde:

- \dot{m}_1 : flujo másico a la entrada
- \dot{m}_2 : flujo másico a la salida
- h : entalpía a la entrada y salida
- V : velocidad a la entrada y salida
- g : gravedad
- $z_2 - z_1$: diferencia de alturas
- \dot{W} : energía calórica entregada al sistema

Para el estudio del controlador se utiliza el caso más crítico el cual genera 3000 [W] en pérdidas de calor; mientras que el motor eléctrico 800 [W].

Suposiciones:

- Sistema en estado estable
- Propiedades del fluido constantes
- Propiedades de los materiales constantes
- Velocidad a la entra y salida del sistema constante
- Despreciar diferencia de alturas

Resolución:

Primero para determinar la temperatura de salida del sistema se utiliza la siguiente relación; es importante recalcar que el valor de la temperatura de salida no debe ser mayor al valor de temperatura máximo que el sistema puede soportar, si la temperatura es mayor entonces se debe cambiar las condiciones del sistema hasta que el sistema converja (Shabany, 2010).

$$T_{out} = T_{in} + \frac{\dot{W}}{\rho * \dot{Q} * C_p} < T_{max}$$

Donde:

- T_{out} : temperatura a la salida del intercambiador de calor
- T_{in} : temperatura a la entrada del intercambiador de calor
- ρ : densidad del agua
- \dot{Q} : flujo volumétrico
- C_p : calor específico del fluido
- T_{max} : temperatura máxima del sistema

Considerando que el flujo másico se relaciona con el flujo volumétrico mediante la densidad del material se tiene la siguiente expresión (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2012).

$$\dot{m} = \rho \dot{Q}$$

Por consiguiente, la expresión de temperatura de salida del intercambiador de calor queda expresada como:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{\dot{W}}{\dot{m} * C_p} < T_{max}$$

Además, al ser un sistema abierto y que no tiene almacenamiento de flujo masico en el mismo se puede decir que el flujo masico de entrada es igual al flujo masico de salida; y este a su vez se considera como flujo masico \dot{m} .

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

Después de las suposiciones del enunciado se obtiene la siguiente expresión resumida:

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_1}$$

Se considera un valor de temperatura de salida de $T_{out} = 40$ [°C] valor igual al de la temperatura máxima del sistema del controlador y para el motor eléctrico se considera $T_{out} = 70$ [°C]. Con estos valores de temperatura se procede a encontrar el valor de la entalpía a la salida del sistema. La temperatura de entrada al sistema del controlador es de $T_{in} = 16$ [°C] y de $T_{in} = 40$ [°C] para el motor eléctrico (Cengel, 2018).

Tabla 50: Entalpía del agua a distintas temperaturas.

Temperatura [°C]	Entalpía $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
16	62.98
40	167.53
70	293.07

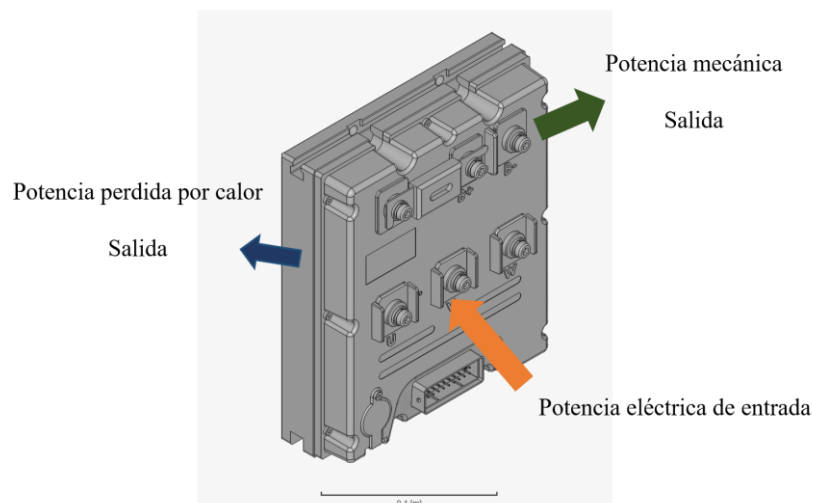


Figura 58: Esquema de controlador de motor eléctrico.

Controlador:

$$\dot{m} = \frac{3.00 [kW]}{(167.53 - 62.98) \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = 28.69 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Motor eléctrico:

$$\dot{m} = \frac{0.8 [kW]}{(293.07 - 167.53) \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = 6.37 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

El valor de flujo masico que se utiliza para los cálculos posteriores y simulaciones es el mayor entre los dos anteriormente calculados. Se determina si la temperatura de salida del sistema es la adecuada para este flujo másico. El calor específico del agua se considera el promedio, $C_p = 4.20 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right]$.

$$T_{out} = 16 [^\circ C] + \frac{3.00 [kW]}{34.43 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] * 4.20 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right]} = 36.75 [^\circ C] > 35 [^\circ C]$$

Por lo tanto, este flujo masico no es adecuado así que se define un flujo masico mayor para asegurar una transferencia de calor adecuada.

$$\dot{m} = 77.00 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

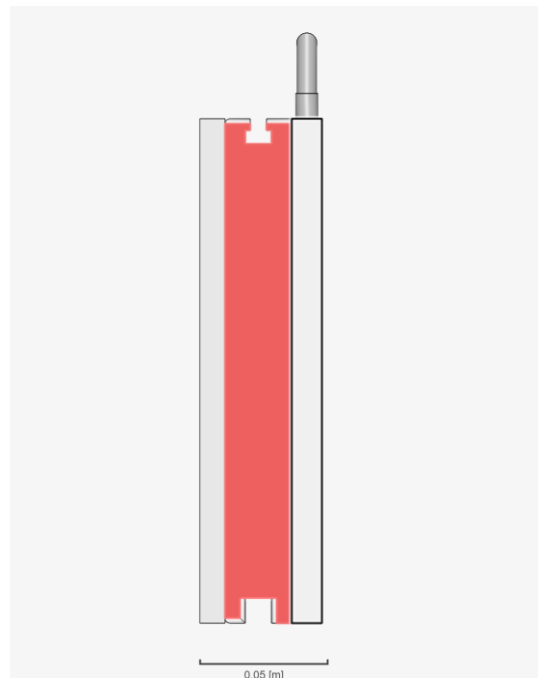
$$T_{out} = 16 [^\circ C] + \frac{3.00 [kW]}{77.00 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] * 4.20 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right]} = 25.28 [^\circ C] < 35 [^\circ C]$$

Una vez determinado el valor de la temperatura y su respuesta favorable se procede a determinar el caudal necesario y por ende la velocidad del fluido al ingresar al controlador.

$$\dot{Q} = 77.00 * 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 4.62 \left[\frac{l}{min} \right]$$

$$V = 2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Al determinar los valores de flujo másico de agua para cada condición inicial, se procede a realizar una simulación mediante Simscale con dos “cooling blocks” conectados en serie al controlador del motor eléctrico en ambos lados del eje simétrico. Para facilidad de cálculo computacional se debe realizar una vista simétrica del controlador y sus componentes; se realiza la simulación de la sección izquierda y se define simetría para encontrar la respuesta en el total del sistema.



*Figura 59: Configuración de componentes de controlador (controlador, disipador y "cooling block")
Vista lateral.*

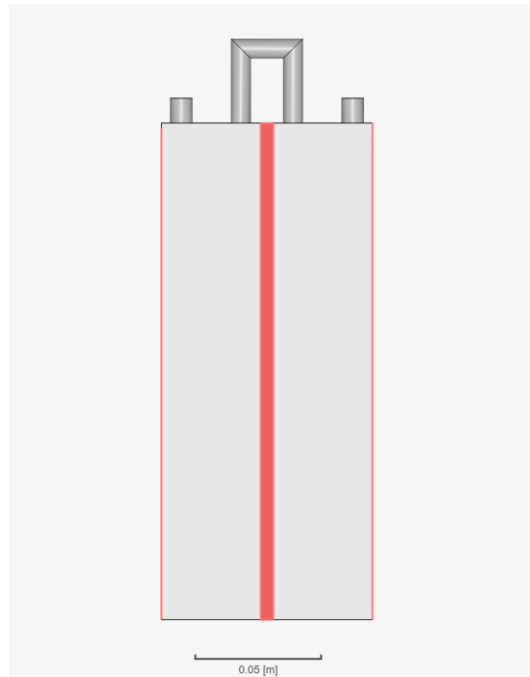


Figura 60: Configuración de componentes de controlador. Vista frontal.

La carga térmica que se debe disipar se coloca en el controlador como un generador de calor; además se torna que las paredes que no tengan contacto con otros componentes como adiabáticas ya que se desea disipar el calor mediante el sistema de refrigeración implementado y no con el exterior. El calor generado se define como absoluto ya que va a ser constante durante el análisis. En la ilustración se representa de color azul la fuente de generación de calor; además, la fuente de calor se define como 1500 [W] ya que al colocar el eje de simetría esta carga de genera en ambos lados lo cual da una carga de calor de 3000 [W].

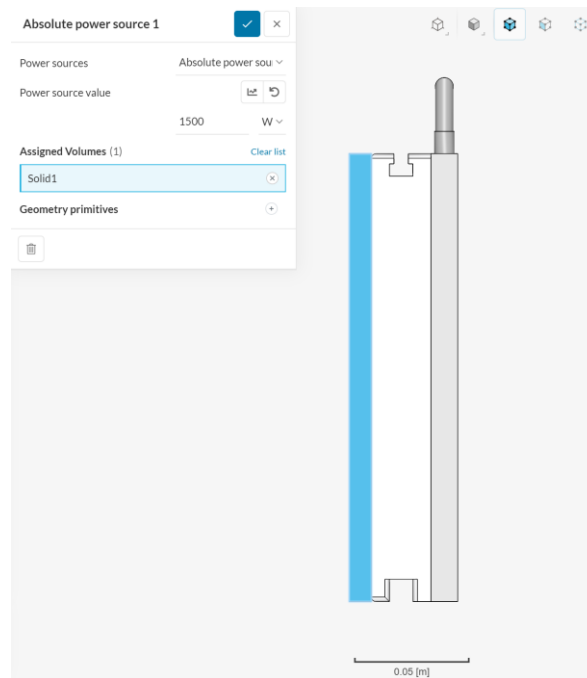


Figura 61: Controlador que genera calor por pérdidas. Configuración en SimScale.

El trayecto del fluido está definido por la geometría de los “cooling block” como se ilustra a continuación. El fluido se define como agua a una temperatura de 16 [°C]. Como se puede apreciar en la ilustración el trayecto en continuo (serie) entre los dos componentes; con una sola entrada y una salida después del disipador.

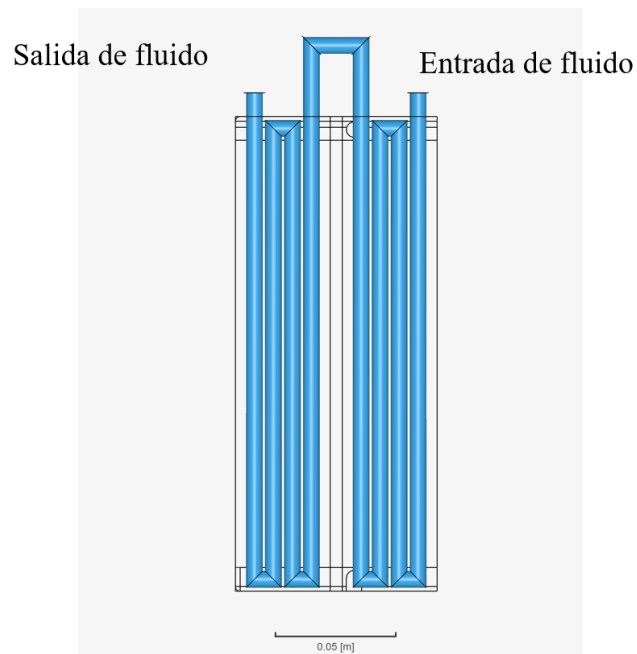


Figura 62: Región del fluido a través de los "cooling blocks"; configuración en serie. Región delimitada en Simscale

A continuación, se definen las condiciones de contorno del sistema, entre estas están: velocidad de entrada del fluido de $v_{in} = 2.00 \left[\frac{m}{s} \right]$ (valor determinado en el área de cálculos), presión de salida (presión atmosférica), paredes adiabáticas del controlador; ya que se va a disipar todo el calor mediante los disipadores y caras de simetría.

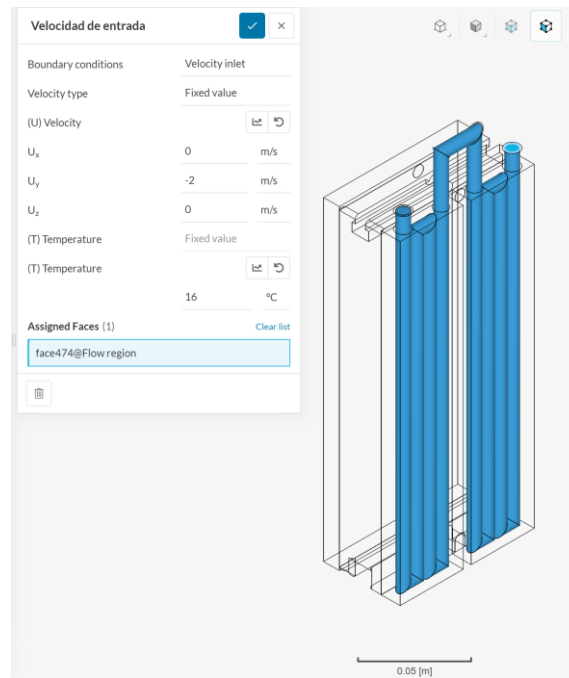


Figura 63: Velocidad y temperatura del fluido a la entrada del "cooling block"; configuración en serie.

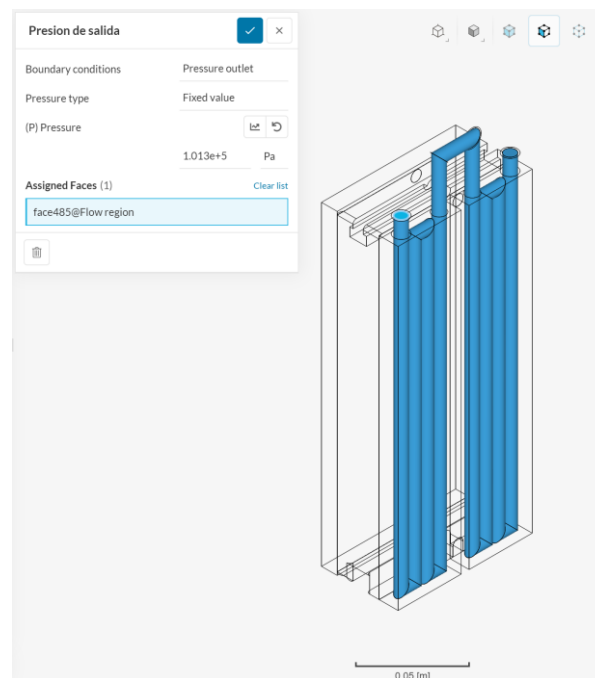


Figura 64: Presión a la salida del sistema de "cooling block"; configuración en serie.

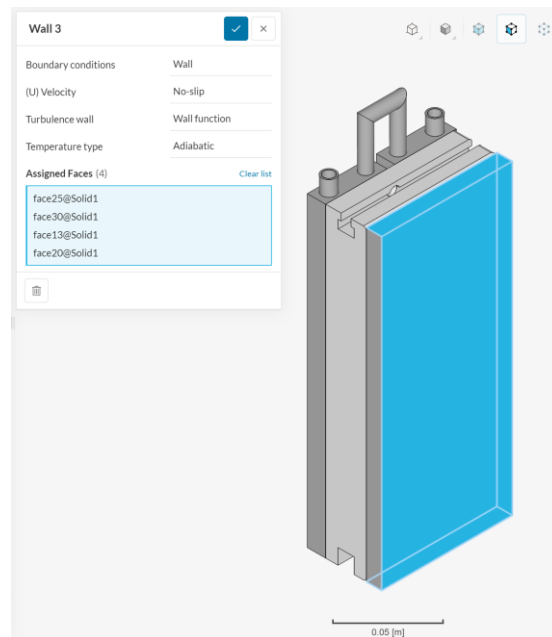


Figura 65: Superficies del controlador que se consideran adiabáticas; configuración en serie. Las superficies azules se configuran como adiabáticas en SimScale

En la ilustración anterior se definen las superficies del sistema que se consideran como superficies adiabáticas; solo se consideran las cuatro caras que se definen en el sistema debido a que la cara interna (no marcada de azul) genera el plano de simetría. En cuanto al plano de simetría se define de la siguiente manera y así se puede programar una matriz de simetría la cual reduce el gasto computacional de la resolución del sistema.

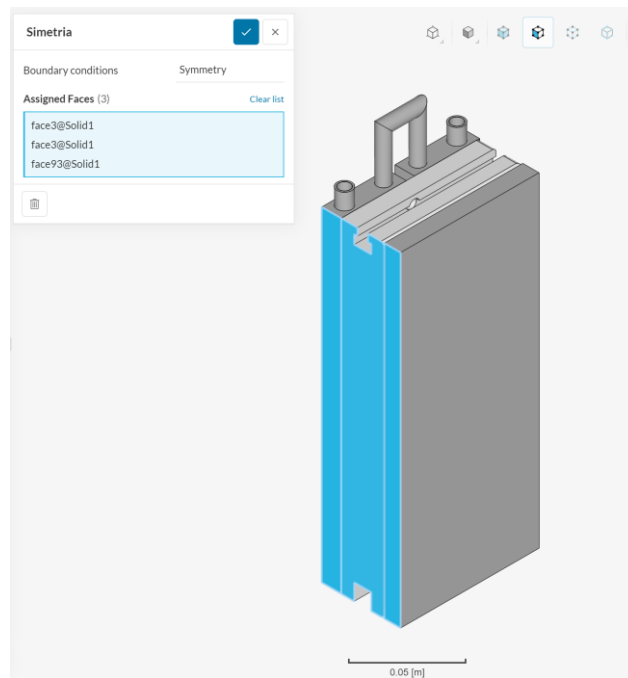


Figura 66: Superficies que generan el plano de simetría; configuración en serie. Las superficies azules crean el plano de simetría en SimScale.

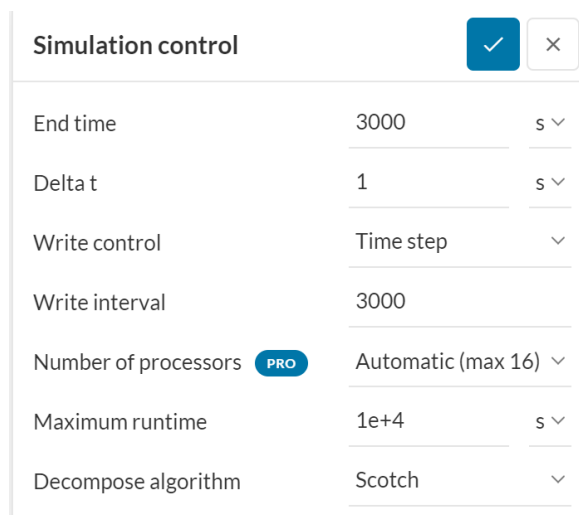


Figura 67: Parámetros de control de simulación.

Se define un tiempo de simulación de 3000 [s] ya que se determinó que dentro de este tiempo se llega a estabilidad en el sistema. Una vez definidos los parámetros antes mencionados se realiza el análisis mediante SimScale el cual otorga los siguientes resultados.

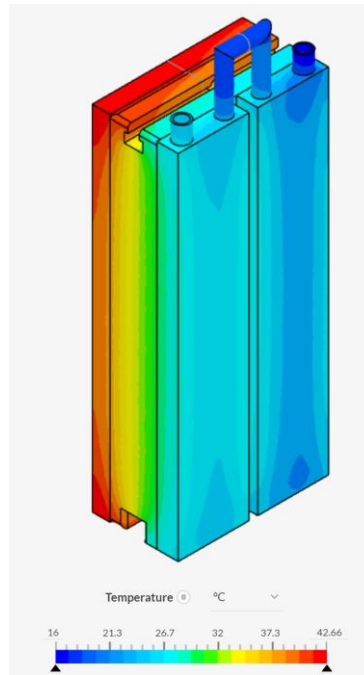
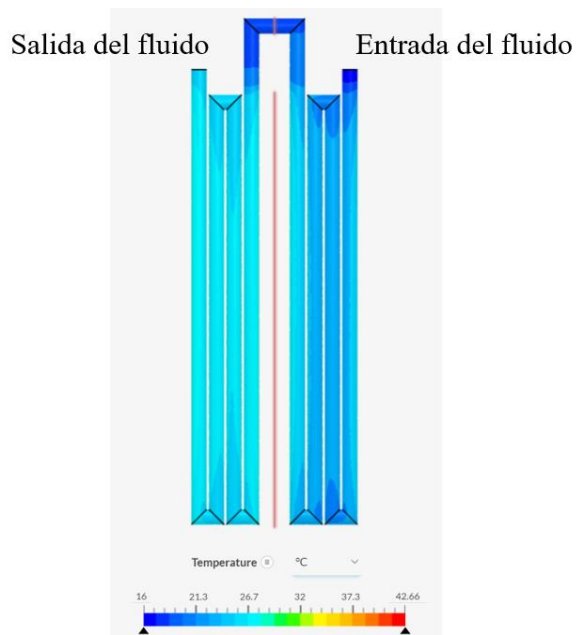


Figura 68: Distribución de temperatura después de simulación; configuración en serie. Vista isométrica. Temperatura de controlador superior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.



Figura 69: Distribución de temperatura después de simulación, configuración en serie. Vista lateral. Temperatura de controlador superior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.

En la figura anterior se muestran los resultados de la distribución de temperatura del sistema después de la simulación en la cual se visualiza un color rojo cuando la temperatura es más elevada y un azul cuando esta decae; como se aprecia la temperatura máxima es de 42.66 [°C] que se encuentra en el controlador.



*Figura 70: Distribución de temperatura en el fluido después de simulación; configuración en serie.
Vista frontal.*

En la figura anterior se observa la distribución de temperatura en el fluido que ingresa a los cooling blocks; en este caso la conexión es en serie y la temperatura a la salida del fluido es de 28.12 [°C].

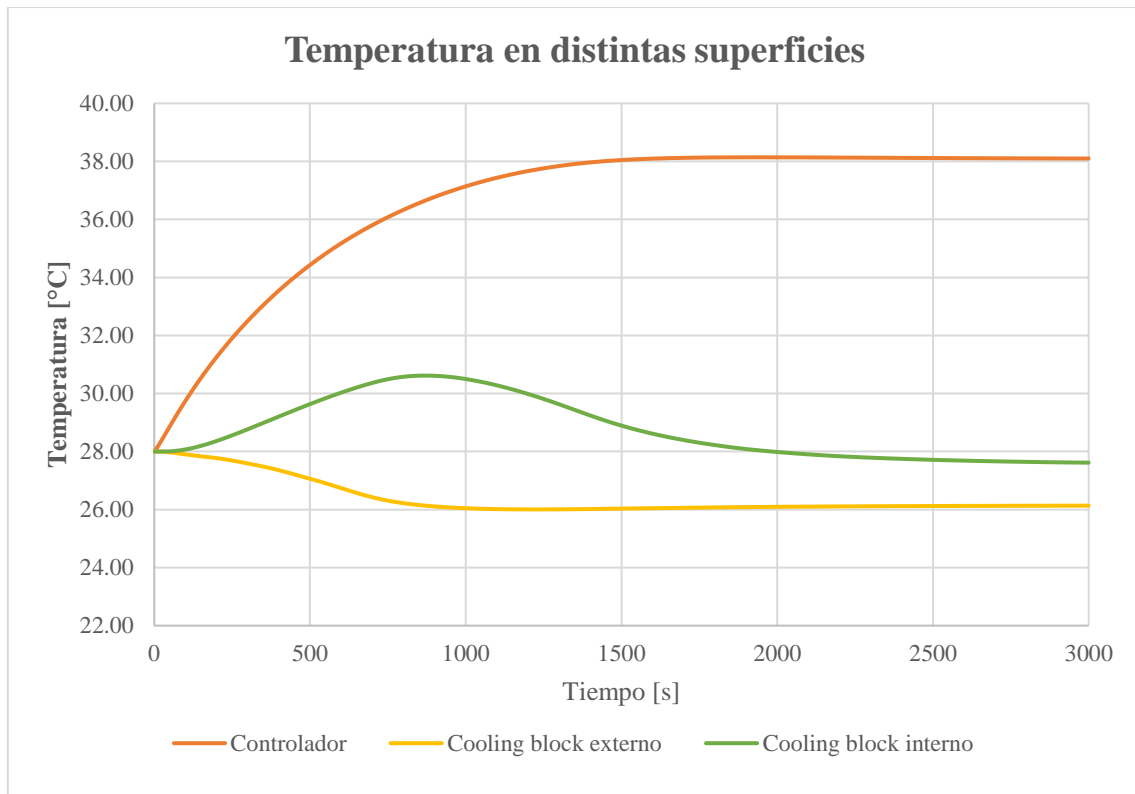


Figura 71: Temperatura en cada superficie; configuración en serie. La temperatura que controla es la del controlador que se encuentra sobre los 36 [°C] (temperatura límite para superficie)

Como se aprecia en la figura anterior la temperatura de la superficie del controlador eléctrico sobrepasa la temperatura objetivo; con lo cual se opta por una configuración en la cual el sistema de refrigeración se conecta en paralelo y de esta manera se aumenta la tasa de extracción de calor y temperaturas más bajas. A continuación, se presenta la configuración y los resultados otorgados por SimScale; además, la configuración y del sistema se mantiene en cuanto a condiciones iniciales.

Configuración del trayecto del fluido conectado en paralelo; se encuentra conectado con una sola entra, mientras que las mangueras de salida se representan por una doble manguera que se proyectan hacia la parte posterior de la ilustración.

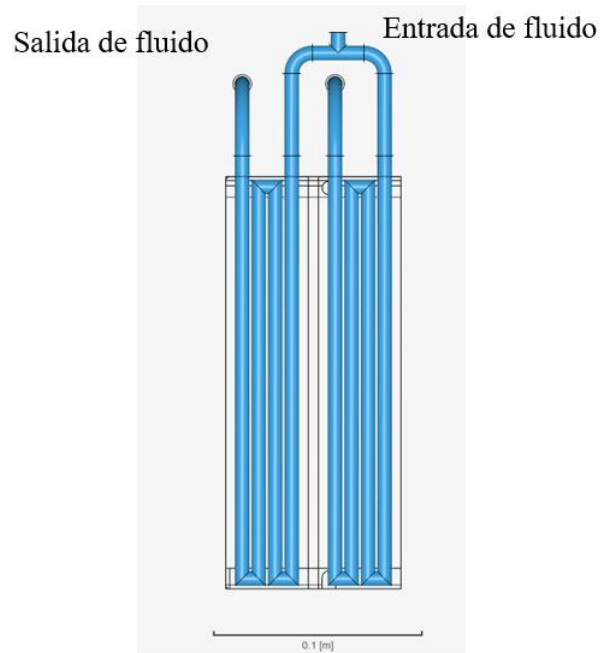


Figura 72: Región del fluido a través de los "cooling blocks"; configuración en paralelo.

Después de correr la simulación con los parámetros antes mencionados se obtiene los siguientes resultados.

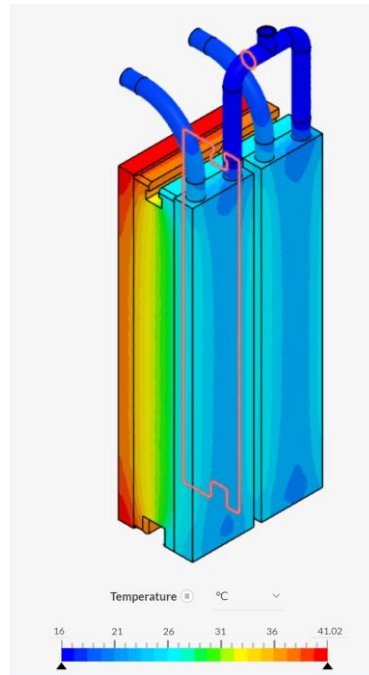


Figura 73: Distribución de temperatura después de simulación; configuración en paralelo. Vista isométrica. Temperatura de controlador superior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.

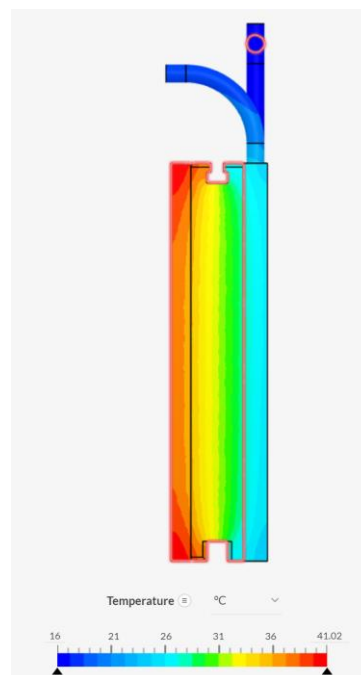


Figura 74: Distribución de temperatura después de simulación, configuración en paralelo. Vista lateral. Temperatura de controlador superior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.

En las figuras anteriores se muestran los resultados de la distribución de temperatura del sistema después de la simulación en la cual se visualiza un color rojo cuando la temperatura es más elevada y un azul cuando esta decae; como se aprecia la temperatura máxima es de 41.02 [°C] que se encuentra en el controlador.

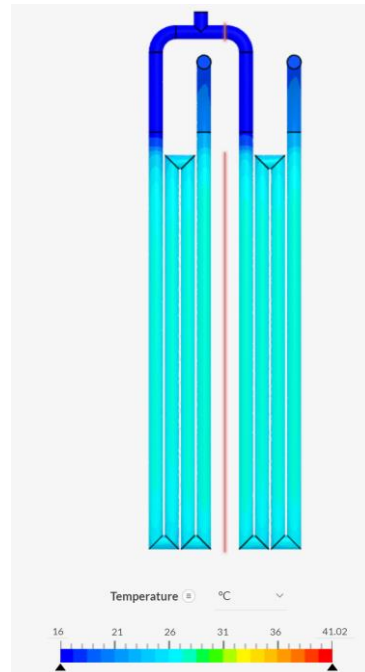


Figura 75: Distribución de temperatura en el fluido después de simulación; configuración en paralelo. Vista frontal.

En la figura anterior se observa la distribución de temperatura en el fluido que ingresa a los cooling blocks; en este caso la conexión es en serie y la temperatura a la salida del fluido es de 27.23 [°C].

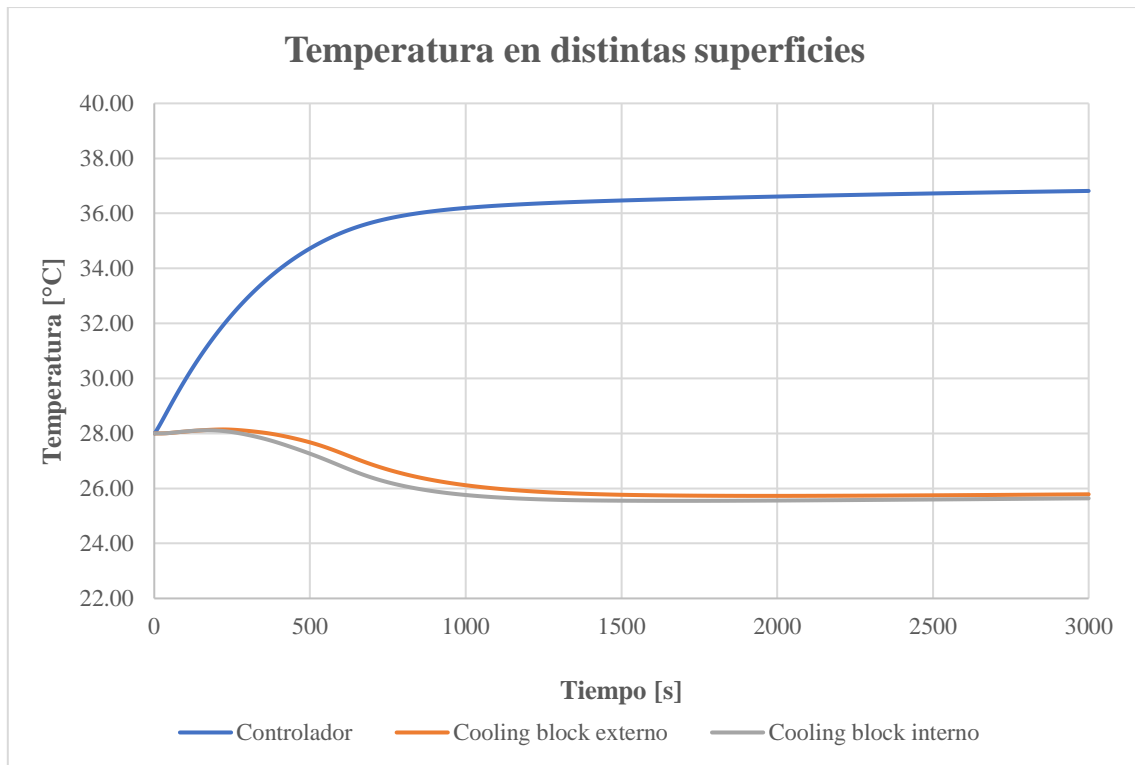


Figura 76: Temperatura en cada superficie; configuración en paralelo. La temperatura que controla es la del controlador que se encuentra sobre los 36 [°C] (temperatura límite para superficie)

En ninguno de los dos escenarios de distribución del sistema (serie y paralelo) se logró retirar el calor necesario del sistema; lo que indica que este sistema tiene un rango menor al esperado inicialmente ya que se colocó una eficiencia del 70% para el controlador; en la siguiente simulación se muestra el valor máximo de pérdida de calor del controlador eléctrico que se puede disipar mediante este sistema de refrigeración con las condiciones iniciales mencionadas.

Para este proceso iterativo se tomaron las mismas condiciones anteriores del sistema en paralelo el cual otorga una mayor eficiencia en cuanto a la disipación de calor; el único valor que sufre cambios es la potencia del controlador que es disipada en forma de calor; ya que se va cambiando los valores para determinar el valor con el cual la temperatura máxima del sistema es inferior a 40 [°C]; este valor se estabilizó 2800 [W].

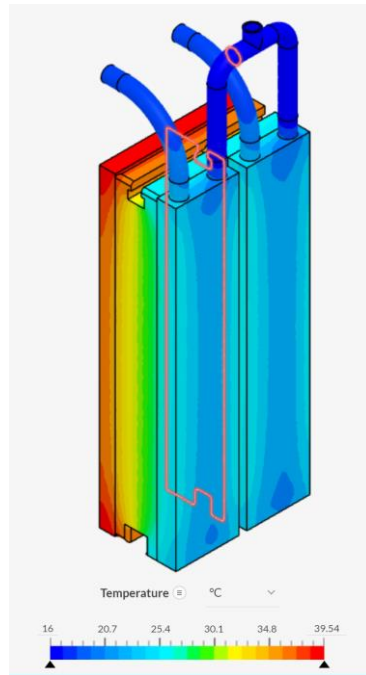


Figura 77: Distribución de temperatura a 2800[W]; configuración en paralelo. Vista isométrica. Temperatura de controlador inferior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.

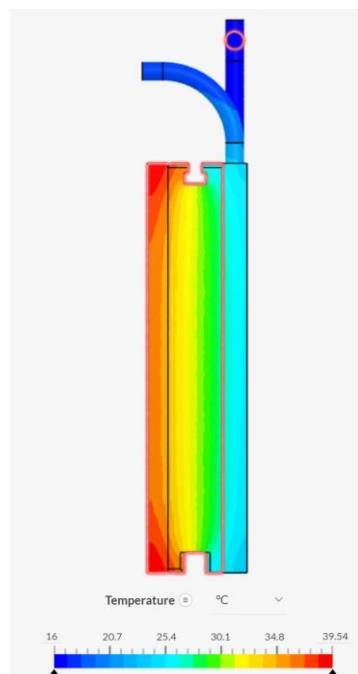


Figura 78: Distribución de temperatura a 2800[W], configuración en paralelo. Vista lateral. Temperatura de controlador inferior a 40 [°C]; se marca de color rojo la sección más caliente.

En las figuras anteriores se aprecia la distribución de temperatura del sistema cuando la eficiencia del controlador es de 72%; la temperatura máxima es de 39.54 [°C].

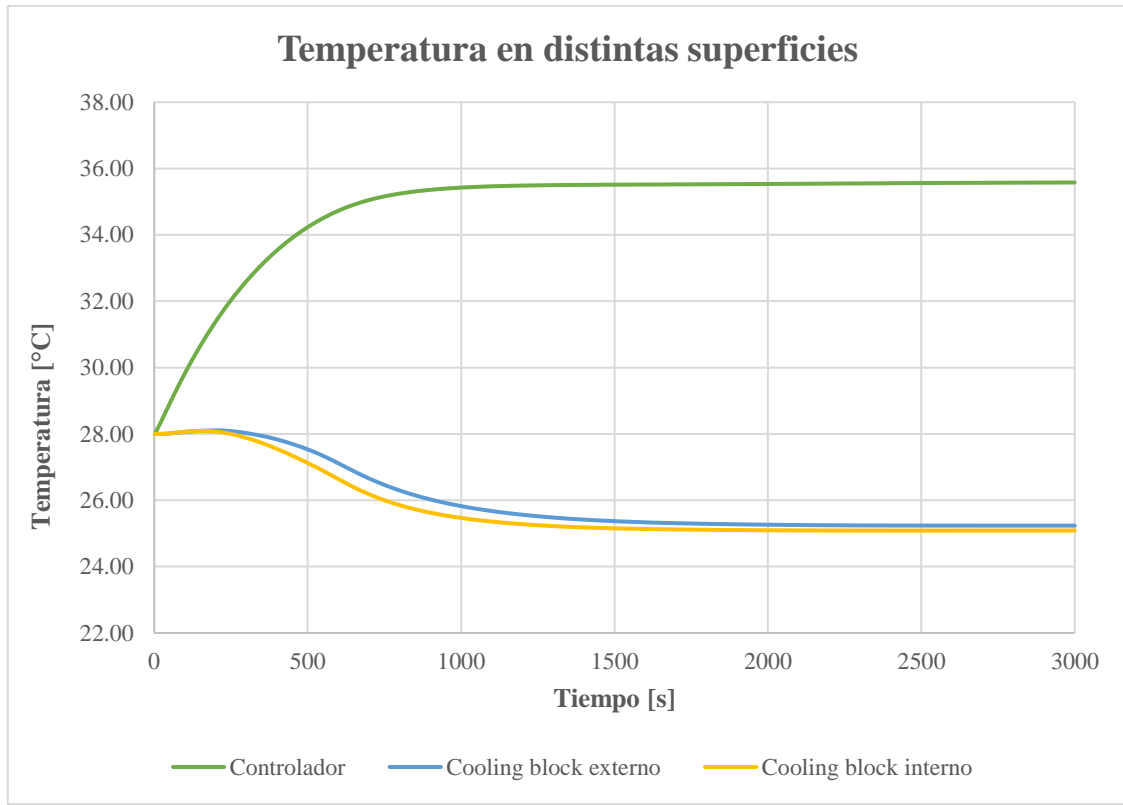


Figura 79: Temperatura en cada superficie a 2800[W]; configuración en paralelo. La temperatura que controla es la del controlador que se encuentra inferior a los 36 [°C] (temperatura límite para superficie)

Una vez determinado los cálculos manuales y simulaciones del sistema de refrigeración del controlador y el motor eléctrico se proceden a determinar la curva de cabeza de la bomba de agua del sistema que debe alimentar al sistema de refrigeración. La función de la bomba es tomar agua del reservorio (rio Pastaza) y moverlo a través de los diferentes componentes del sistema de refrigeración hasta su desfogue en el mismo río.

Componentes del sistema de tuberías y dimensiones:

- 0.6 [m] tubería de cobre $\phi = 0.007$ [m]
- 0.5 [m] tubería de plástico $\phi = 0.007$ [m]
- 4 “cooling block”
- 3 conexiones tipo “Y”

Para determinar la relación con la cual se aproxima la curva del sistema que relaciona la cabeza de bomba con el flujo volumétrico del fluido se debe aplicar la ecuación de la energía entre dos superficies libres, como se muestra en el esquema siguiente. Para la resolución de esta sección se utilizan unidades de sistema inglés para facilitar los cálculos y se entrega una gráfica en función de un caudal en $\left(\frac{l}{min}\right)$ y cabeza de bomba en [m].

Ecuación de la energía para dos superficies abiertas (Bergman, Lavine, Incropera, & Dewitt, 2012):

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_a = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \sum f \frac{l}{D} \left(\frac{V^2}{2g}\right) + \sum K_L \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

Donde:

- p_1 y p_2 : presión en la superficie del reservorio de agua y presión en la superficie a la salida del sistema
- γ : peso específico del agua (se considera del peso específico del agua no va a tener un cambio considerable a lo largo del sistema)
- V_1 y V_2 : velocidad del fluido a la entrada y salida del sistema
- $z_2 - z_1$: diferencia de altura entre la entrada y la salida del fluido en el sistema
- h_a : cabeza de bomba
- g : gravedad
- f : factor de fricción de las tuberías
- l : longitud total del sistema
- D : diámetro de las tuberías
- K_L : coeficiente de pérdidas por componentes del sistema.

Suposiciones:

- Sistema en estado estable
- Propiedades del fluido constantes
- Propiedades de los materiales constantes
- Velocidad a la entra y salida del sistema constante

Resolución:

Debido a las suposiciones del problema se puede reduce la ecuación de la energía a lo siguiente:

$$h_a = z_2 - z_1 + \sum f \frac{l}{D} \left(\frac{V^2}{2g} \right) + \sum K_L \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$h_a = z_2 - z_1 + \frac{V^2}{2g} \left(\sum f \frac{l}{D} + \sum K_L \right)$$

Además, para encontrar la curva de funcionamiento de la bomba se debe realizar la relación entre el caudal y la velocidad del fluido (Cengel, 2018):

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q : caudal del sistema

A : área transversal de la tubería

Reemplazando la relación del caudal con la relación de cabeza de bomba se obtiene la siguiente relación:

$$h_a = z_2 - z_1 + \frac{Q^2}{2g * A^2} \left(\sum f \frac{l}{D} + \sum K_L \right)$$

La diferencia de altura entre la toma de agua y la salida es $z_2 - z_1 = 2.00 [ft]$; el caudal Q es la variable independiente mientras que h_a corresponde a la variable dependiente. La gravedad se considera como $g = 32.20 \left[\frac{ft}{s^2} \right]$ y el área al cuadrado se define como $A^2 = 1.73 * 10^{-7} [ft^2]$. Una vez aclarado esto se procede a determinar las perdidas menores y mayores del sistema sin considerar el área y la velocidad del sistema (Munson, 2016).

$$l_m = \sum K_L$$

Tabla 51: Coeficiente de perdidas menores.

Componentes	K_L
Conexión 1	0.45
Conexión 2	0.40
3 "Y"	0.60
4 Cooling block	2.40

$$l_m = 3.85$$

En cuanto a las perdidas mayores o perdidas debido a la rugosidad del sistema de tuberías se tienen la siguiente relación, la cual se va a dividir en tres componentes debido a los distintos tipos de tuberías que existen dentro del sistema global (cobre (l_{MCu}), plástico (l_{MP}) y aluminio (l_{MAI})) (Munson, 2016).

$$l_M = \sum f \frac{l}{D} = l_{MCu} + l_{MP} + l_{MAI}$$

Tabla 52: Factor de fricción tomada del diagrama de Moody.

Material	$\frac{\epsilon}{D}$	f	$l [m]$
Cobre	0.0371	0.032	0.60
Plástico	-	0.028	0.50
Aluminio	0.0371	0.035	3.12

$$l_M = 2.74 + 2.00 + 15.60$$

$$l_M = 20.34$$

Una vez obtenidos todos los valores antes descritos se encuentra que la relación de la curva del sistema está definida por la siguiente expresión:

$$h_a = 2 [ft] + 2.18 * 10^6 Q^2$$

Con esta relación se procede a encontrar la curva del sistema.

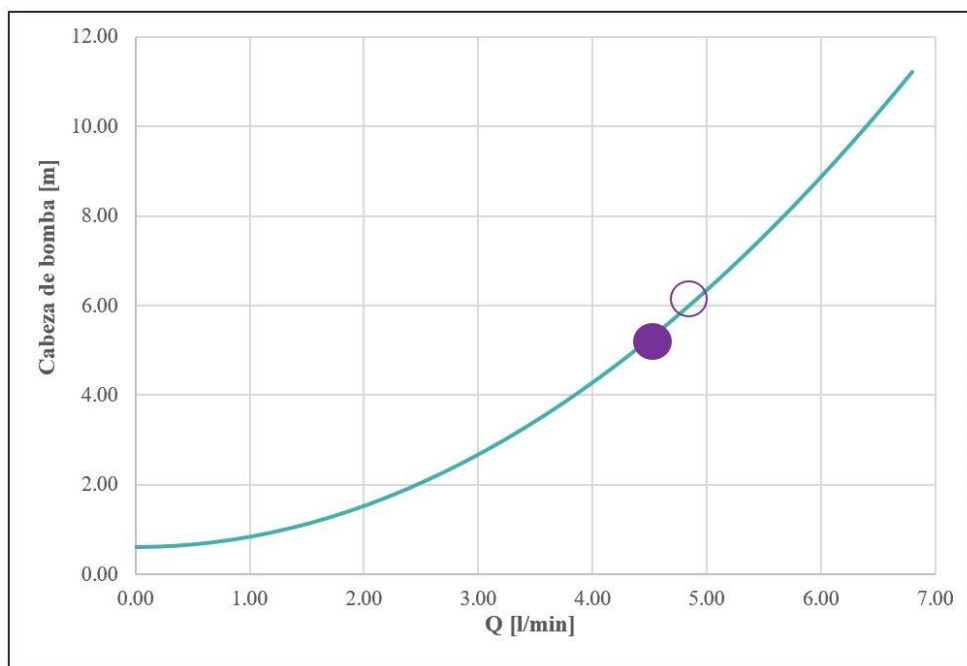


Figura 80: Curva de funcionamiento del sistema a distintos caudales. El punto morado indica el punto de funcionamiento mínimo del sistema; después de la prueba del fuera de borda el punto mínimo es punto con filo morado.

ANEXO D: GESTIÓN DE PROYECTO

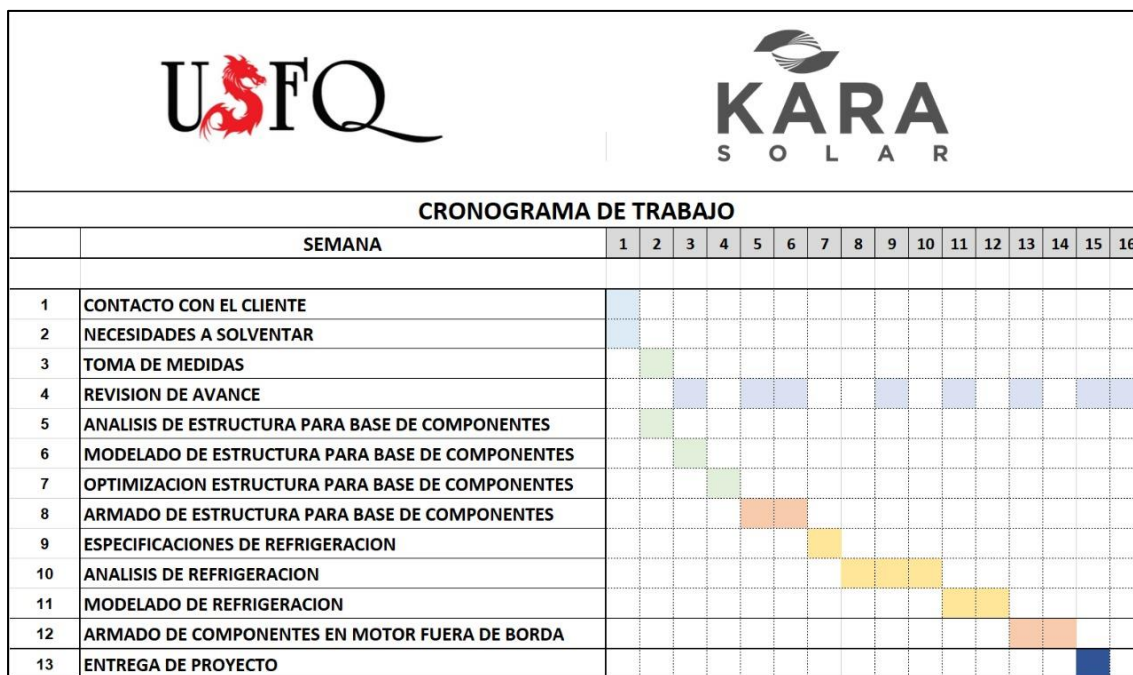


Figura 81: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.

Tabla 53: Componentes, tecnología de fabricación o adquisición, entidad responsable y precio.

Cantidad	Componente	Tecnologías de fabricación	Entidad	Precio
1	Cigüeñal 6T-11442-00-001	Compra Nacional	Almacén el Benjamín	\$ 110.00
-	Cigüeñal 6T-11442-00-001	Desbaste en torno	Mantenimiento Mecánica Mena	\$ 25.00
1	Amoladora con disco de piedra de 7 [in]	Compra Nacional	Mantenimiento Mecánica Mena	\$ 7.50
-	Cigüeñal y cilindro estriado	Prensado hidráulico	Torno Otavalo	\$ 15.00
1	Acero de transmisión de 2 [in]	Compra Nacional	Torno Otavalo	\$ 10.00
4	Cooling block	Compra Internacional	Amazon	\$ 55.43
2	Pasta térmica Noctua (10 [g])	Compra Internacional	Amazon	\$ 53.29
6	Conexiones de cobre "Y"	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 15.46
2	Reductores de diámetro de cobre	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 7.17
30	Abrazaderas de 1/2 [in]	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 13.44
3 [m]	Manguera de Vinil	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 2.69
1	Machuelo 1/2 [in]	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 15.00

2	Teflón	Compra Nacional	Sumhidro	\$ 2.00
16	Tuerca Alta 5/16 Galvanizada	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 12.80
1	Varilla Roscada 5/16 x 1 [m]	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 1.70
1	Machuelo 8 x P1.25 [mm]	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 7.02
1	Broca H.S.S. 6.75	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 1.50
10	Tuerca Galvanizada 5/16	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 0.69
10	Arandela Plana Galvanizada 5/16	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 0.60
4	Perno Hexagonal Inox 8 x 80	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 2.88
1	Varilla Roscada Inox M5 x 1 [m]	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 5.95
4	Arandela Plana Inoxidable 8 [mm]	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 0.32
4	Tuerca Inoxidable 6 P1.00	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 0.64
4	Arandela Plana Inoxidable ¼	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 0.32
1	Broca H.S.S. Alpen 6 [mm]	Compra Nacional	Anclajes del Valle	\$ 2.20
1	675*245*6 [mm] PL	Corte Laser	Oxicortes	\$ 15.89
5.3	Corte Laser/minuto LASER 6 [mm] 2 FIG +PERF	Corte Laser	Oxicortes	\$ 40.00
1	235*210*6 [mm] LASER FIG + PERF	Corte Laser	Oxicortes	\$ 23.60

1	SERV CORTE LASSER PERF EN PL	Corte Laser	Oxicortes	\$ 3.00
1	Perfil Barra Redonda Acero 1018 3/4 2.23 [kg]	Compra Nacional	Ferretería Cano	\$ 7.20
1	Perfil Barra Redonda Acero 1018 3/4 2.23 [kg]	Compra Nacional	Ferretería Cano	\$ 7.20
8	Columnas Huecas/Roscadas	Compra Nacional	GMC Constr. Met.	\$ 25.00
1	Empaque Eje/Base	Compra Nacional	Luis Ochoa	\$ 10.00

Minuta de reuniones

Tabla 54: Minuta de reuniones.

	Tipo de reunión	MM/DD/AAAA	Hora de inicio	Hora Fin	Tiempo	Actividades
1	Reunión virtual	8/26/2021	15:00:00	16:30:00	1:30:00	Primera reunión kara solar: Establecer problema - Objetivos - Metas - Restricciones de diseño.
2	Reunión presencial kara	9/2/2021	9:30:00	13:00:00	3:30:00	Extracción del motor de combustión - Toma de medidas del chasis - Clasificación de pernos - Socialización con el personal del Kara Solar.
3	Reunión virtual	9/17/2021	9:30:00	11:30:00	2:00:00	Revisión de medidas y organización - Ensamble del entregable 2.2 (Estado del arte).
4	Reunión virtual	9/23/2021	10:00:00	11:00:00	1:00:00	Actividades futuras y discusión de posibles alternativas para la base y el sistema de refrigeración.
5	Reunión virtual	9/23/2021	19:00:00	20:00:00	1:00:00	Organización final de criterios ponderados
6	Reunión virtual	9/24/2021	9:30:00	11:30:00	2:00:00	Organización de equipo y actividades - Ensamble del documento para el entregable de Criterios Ponderados.
7	Reunión virtual	9/27/2021	11:30:00	12:53:00	1:23:00	Revisión final del entregable 4. Discusión de la mejor alternativa para la base y el acople.
8	Reunión virtual	9/27/2021	19:00:00	22:00:00	3:00:00	Revisión final del entregable 4. Discusión de la mejor alternativa para el sistema de refrigeración.
9	Reunión virtual	9/28/2021	18:10:00	19:00:00	0:50:00	Reunión con Juan Sebastián para aclarar problemas internos del grupo - Establecer

						reglas y normas a cumplir - Organización según habilidades.
10	Reunión virtual	9/29/2021	11:30:00	12:30:00	1:00:00	Reporte de actividades.
11	Reunión virtual	9/29/2021	17:00:00	19:00:00	2:00:00	Lluvia de ideas para generar un título del proyecto - Aclaración de dudas para la solicitud de graduación.
12	Reunión virtual	10/6/2021	11:30:00	14:30:00	3:00:00	Organización de los cálculos a realizarse para el sistema de acople y para la base - Opiniones de Josué (Cliente)
13	Reunión virtual	10/6/2021	17:00:00	18:00:00	1:00:00	Organización de los cálculos a realizarse para el sistema del sistema de refrigeración - Clase informativa por parte de Josué (Master en diseño mecánico)
14	Reunión virtual	10/13/2021	11:30:00	11:40:00	0:10:00	Video llamada para que los integrantes que no estuvieron presentes puedan observar los avances del grupo.
15	Reunión presencial Kara	10/13/2021	10:00:00	15:00:00	5:00:00	Prueba del primer prototipo de la base - Lluvia de ideas para el centrador de las dos placas - Toma de medidas para la implementación del acople.
16	Reunión virtual	10/15/2021	14:30:00	16:00:00	1:30:00	Reunión con Juan Sebastián: Corrección del entregable 6 - Problemas con los factores de seguridad.
17	Reunión virtual	10/18/2021	19:00:00	20:30:00	1:30:00	Corrección general de trabajos: Entregable 6 - Aclaración de dudas para la corrección del entregable 5
18	Reunión presencial Kara	10/20/2021	9:00:00	14:00:00	5:00:00	Prueba de la bomba del fuera de borda: Toma de datos del caudal - Revisión de los componentes - Cotización de repuestos.
19	Reunión presencial	10/21/2021	9:00:00	13:00:00	4:00:00	Retirar placas (fuera de horario) - Dibujo de bocetos para el acople y para los cambios a la base.

20	Reunión presencial	10/22/2021	10:00:00	13:00:00	3:00:00	Adquisición de la varilla de acero de transmisión - Corte de varillas para columnas - Maquinado de los dos tipos de columnas (taller USFQ)
21	Reunión virtual	10/23/2021	11:00:00	14:00:00	3:00:00	Organización para ensamble de la base - Lluvia de ideas para diseño, cálculos y simulaciones del acople.
22	Reunión presencial Kara	10/27/2021	9:00:00	13:00:00	4:00:00	Toma de medidas precisas siguiendo las tolerancias propuestas - Toma de fotografías del fuera de borda para realizar el diseño 3D
23	Reunión virtual	11/9/2021	15:00:00	14:30:00	1:30:00	Corte de placas (retirar del local)
24	Reunión presencial Kara	11/10/2021	9:00:00	13:00:00	4:00:00	Ensamble de la estructura de la base - Prueba con el motor sin conectar al fuera de borda directamente.
25	Reunión virtual	11/13/2021	10:00:00	12:00:00	2:00:00	Descripción de acople nuevo - Descripción de placa nueva (simulación)
26	Reunión presencial Kara	11/14/2021	9:30:00	14:00:00	4:30:00	Prueba de bomba del fuera de borda (no hay impeler) - Intento con impeler de otro fuera de borda - Toma de medidas de caudal.
27	Reunión virtual	11/24/2021	11:30:00	12:20:00	0:50:00	Reunión para lluvia de ideas para la realización del poster para la feria de ingeniería.
28	Reunión virtual	11/24/2021	19:00:00	21:00:00	2:00:00	Revisión del poster - Correcciones a cargo de Juan Sebastián - Organización de imágenes y texto.
29	Reunión virtual	10/26/2021	8:00:00	13:00:00	5:00:00	Reunión para la revisión del documento de riesgos e indicadores - Elaboración de tablas - Organización del equipo para cada asignación.
30	Reunión virtual	11/30/2021	13:00:00	16:00:00	3:00:00	Reunión para la distribución dibujos mecánicos - Pedido y compra de empaquetados faltantes - Compra de pasta para empaque.

31	Reunión presencial USFQ	12/1/2021	9:00:00	16:00:00	7:00:00	Transporte del fuera de borda desde la fundación hacia los talleres de la USFQ - Ensamble del sistema de refrigeración con el fuera de borda presente.
32	Reunión virtual	12/6/2021	10:00:00	13:00:00	3:00:00	Manufactura de la base para el controlador - Organización para el diseño de un soporte que logre amortiguar los componentes.
33	Reunión virtual	12/6/2021	15:00:00	18:00:00	3:00:00	Reunión con Luis Castellanos para revisión y corrección de planos: Planchas, columnas, acople, estriado, chavetas y de conjunto.
34	Reunión presencial USFQ	12/7/2021	8:00:00	15:00:00	7:00:00	Armado del soporte del controlador - Ensamble en el fuera de borda. (No se realizan pruebas)
35	Reunión presencial	12/8/2021	9:00:00	13:00:00	4:00:00	Reunión en el potrero junto a todo el personal de Kara Solar - Prueba de la base con los componentes conectados - Exposición del fuera de borda en funcionamiento.
36	Reunión presencial Kara	12/10/2021	9:00:00	17:00:00	8:00:00	Correcciones fugas en el sistema de refrigeración - Adquisición de piezas faltantes y cambio de piezas de la bomba - Compra de varillas roscadas para el ensamble de la base para el controlador (correcciones).
37	Reunión virtual	12/12/2021	16:00:00	17:00:00	1:00:00	Organización de los componentes para poder conectar al sistema eléctrico sin riesgos y realizar pruebas de refrigeración.
38	Reunión presencial Kara	12/14/2021	9:00:00	16:00:00	7:00:00	Pruebas de todo el sistema en funcionamiento - Retroalimentación del equipo de Kara Solar.
39	Reunión virtual	12/17/2021	8:00:00	14:00:00	6:00:00	Organización del documento final - Organización de cada entregable y corrección de estos - Ensamble del documento final.
40	Reunión virtual	12/18/2021	12:00:00	13:30:00	1:30:00	Revisión borrador - Tabla de pruebas - Referencias - Descripción de resultados - Discusión de resultados.

41	Reunión virtual	12/18/2021	21:00:00	23:00:00	2:00:00	Revisión borrador
42	Reunión virtual	12/19/2021	9:00:00	17:00:00	8:00:00	Preparación de la exposición final del producto - Lluvia de ideas para organización de diapositivas - Organización del tiempo permitido.
43	Reunión virtual	12/19/2021	20:00:00	23:00:00	3:00:00	Práctica para la presentación - Reunión del equipo para organización de vestimenta.
44	Reunión virtual	12/20/2021	8:00:00	13:00:00	5:00:00	Práctica de exposición.
45	Reunión virtual	12/22/2021	15:00:00	16:30:00	1:30:00	Corrección del entregable final a cargo de Juan Sebastián - Lluvia de ideas para una mejor organización del documento - Edición del documento bajo las ideas aportadas.

Facturas

No Factura	Componente	Cantidad	Costo	Costo total
001-002-000001056	Pesa	1	\$ 98.91	\$ 98.91
001-002-000015899	Plancha de Acero PL 6 mm	1	\$ 14.19	\$ 14.19
001-002-000015899	Corte laser	5	\$ 6.73	\$ 35.67
001-002-000016004	Plancha de Acero PL 6 mm	1	\$ 21.07	\$ 21.07
001-002-000016004	Corte laser	1	\$ 2.68	\$ 2.68
001-001-000001304	Cilindrado desbaste y roscado de columnas	8	\$ 3.13	\$ 25.00
001-001-000004344	Empaque de caucho	1	\$ 10.00	\$ 10.00
002-100-000011630	Tuerca alta	16	\$ 0.71	\$ 11.36
002-100-000011630	Varilla Roscada	1	\$ 1.52	\$ 1.52
002-100-000011661	Machuelo	1	\$ 6.27	\$ 6.27
002-100-000011661	Broca	1	\$ 1.34	\$ 1.34
002-100-000011709	Perno hexagonal	4	\$ 0.67	\$ 2.68
002-100-000011709	Varilla Roscada Inox	1	\$ 5.31	\$ 5.31
002-100-000011709	Arandela	4	\$ 0.07	\$ 0.28
002-100-000011709	Tuerca Inox	4	\$ 0.14	\$ 0.56
002-100-000011709	Arandela	4	\$ 0.07	\$ 0.28
002-100-000011709	Broca H.S.S.	1	\$ 1.96	\$ 1.96
001-002-000132568	Barra Redonda	2	\$ 7.15	\$ 14.30
			Valor Total	\$ 154.47
			Total + IVA	\$ 283.79

Tabla 55: Resumen de facturas



ALMACÉN EL BENJAMÍN

RUC: 0992257385001

Emisor: ALMACEN EL BENJAMIN ALBENJA S.A.

RUC: 0992257385001

Matriz: ESMERALDAS / ESMERALDAS / SIMON PLATA TORRES / AV. JAIME HURTADO Y CALLE C

Correo: g_zambra@hotmail.com

Teléfono: 0997235407

Obligado a llevar contabilidad: SI

Agente de Retención

Resolución Nro. NAC-DNCRASC20-0000001

FACTURA No.001-002-000001056

Número de Autorización:

1611202101099225738500120010020000010562142126519

Fecha y hora de Autorización:

16/11/2021 11:08:37

Ambiente: PRODUCCION

Emisión: NORMAL

Clave de Acceso:



1611202101099225738500120010020000010562142126519

Razón Social: FUNDACION KARA SOLAR

RUC/CI: 1792918006001

Dirección: JULIO ZALDUMBIDE N-24 Y RUBIO DE AREVALO

Teléfono: 0993700028

Fecha Emisión: 16/11/2021

Correo:

fundacionkarasolar@gmail.com

Código Principal	Cantidad	Descripción	Detalles Adicionales	Precio Unitario	Descuento	Total
66T11442000	1.00	PESA # 4 40X. FIG 3#5. 66T-11442-0000 40X1-6E		98.21	\$0.00	\$98.21

Información Adicional			
Descripción	PAGO CON TRANSFERENCIA		
Formas de pago			
Otros con Utilización del Sistema Financiero	\$110.00	0 días	

Subtotal Sin Impuestos:	\$98.21
Subtotal 12%:	\$98.21
Subtotal 0%:	\$0.00
Subtotal No Objeto IVA:	\$0.00
Descuentos:	\$0.00
ICE:	\$0.00
IVA 12%:	\$11.79
Servicio %:	\$0.00
Valor Total:	\$110.00



CADENA JARAMILLO MARIA ALEJANDRA

OXICORTES

Dir Matriz: AV PALMERAS N 48-80 Y ELOY ALFARO

Dir Sucursal:

Teléfono: 2275163

Contribuyente Especial Nro:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

AGENTE DE RETENCIÓN No. Resolución: 1

R.U.C.: 1715182588001

FACTURA

No. **001-002-000015899**

Número de Autorización:

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN:

2021-12-31T00:00:00

Ambiente: Producción

Emisión: Normal

CLAVE DE ACCESO:

1111202101171518258800120010020000158991234567810



Razón Social/ Nombres y Apellidos: PROAÑO AVILES JUAN SEBASTIAN
 Identificación: 1803882727 Vendedor:
 Fecha Emisión: 11/11/2021 Guía Remisión: 001-001-000000000

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL
1,00	675 * 245 * 6 mm PL	14,1928	0,00	14,19
5,30	Corte Láser/minuto LASER 6 MM 2 FIG + PERF	6,7385	0,00	35,71

Información Adicional del Cliente
 Dirección: TUMBACO
 Teléfono: 0998251225
 Email: jsproano@usfq.edu.ec; JTALVAREZ@ESTUD.USFQ.EDU.EC

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
01-SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	55.89	0	Días

Notas:

SUBTOTAL 12 %	49,90
SUBTOTAL 0%	0,00
SUBTOTAL No Objeto De IVA	0,00
SUBTOTAL Exento De IVA	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	49,90
TOTAL DESCUENTO	0,00
ICE	0,00
IVA 12 %	5,99
IRBPNR	0,00
PROPIÑA	0,00
VALOR TOTAL	55,89
(-)Descuento Solidario 2% IVA	0,00
VALOR A PAGAR	55,89



CADENA JARAMILLO MARIA ALEJANDRA
OXICORTES
 Dir Matriz: AV PALMERAS N 48-80 Y ELOY ALFARO
 Dir Sucursal:
 Teléfono: 2275163
 Contribuyente Especial Nro:
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: Si
 AGENTE DE RETENCIÓN No. Resolución: 1

R.U.C.: 1715182588001
FACTURA
 No. **001-002-000016004**
 Número de Autorización:
 1711202101171518258800120010020000160041234567819
FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN:
 2021-11-17T12:48:11
Ambiente: Producción
Emisión: Normal
CLAVE DE ACCESO:
 1711202101171518258800120010020000160041234567819

Razón Social/ Nombres y Apellidos: PROAÑO AVILES JUAN SEBASTIAN
 Identificación: 1803882727 Vendedor:
 Fecha Emisión: 17/11/2021 Guía Remisión: 001-001-000000000

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL
1,00	275 x 210 x 6 mm 1 ASFR FIC + DFRF	21,0704	0,00	21,07
1,00	SERV CORTE LASSER PERF EN PL	2,6786	0,00	2,68

Información Adicional del Cliente
 Dirección: TUMBACO
 Teléfono: 0998251225
 Email: jsproano@usfq.edu.ec; JITALVAREZ@ESTUD.USFQ.EDU.EC

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
01-SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	26.60	0	Días

Notas:

SUBTOTAL 12 %	23,75
SUBTOTAL 0%	0,00
SUBTOTAL No Objeto De IVA	0,00
SUBTOTAL Exento De IVA	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	23,75
TOTAL DESCUENTO	0,00
ICE	0,00
IVA 12 %	2,85
ERBPNR	0,00
PROPINA	0,00
VALOR TOTAL	26,60
(-) Descuento Solidario 2% IVA	0,00
VALOR A PAGAR	26,60



MOLINA CABRERA GERARDO LEONIDAS
 Dirección: Oriental Mariana de Jesús 3 y Circunvalación
 Telf. (03) 2374086 - 0996375357 • RIOBAMBA - ECUADOR

FACTURA N° 001 - 001
000001304
 RUC. 0602936965001
 AUT. SRI. 1128901025

Señor (es): Juan Sebastian Proaño
 Fecha: 26 - NOVIEMBRE - 2021
 R.U.C.I.: 1803882727 Guía de Remisión:
 Dirección: tumbaco Teléfono: 0998251225

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
	CUADRADO 8 COLUMNAS		25,00
	DESBASTE		
	ROSCADO		

FORMA DE PAGO	EFFECTIVO	DINERO ELECTRÓNICO	TARJETA CRÉDITO/DÉBITO	OTROS	SUB TOTAL \$
					25,00
					IVA TARIFA 0% \$
					DESCUENTO \$
					IVA TARIFA 12% \$
					IMPORTE DEL IVA \$
					VALOR TOTAL \$ 25,00

ORIGINAL: Adquirente / COPIA: Emisor DOCUMENTO CATEGORIZADO: NO

ORTIZ BUENAVENTURA JOSÉ LEONARDO • IMP. ENC. OFFSET "ORTIZ" / 030 2865475
 R.U.C. 0800605386001 • AUT. 1386 • DEL 1301 AL 1400 • F. Autorización: 13/10/2021
 Emisión válida hasta: 13 DE OCTUBRE DEL 2022
 FIRMAS AUTORIZADAS: [Firma] RECIBI CONFORME: [Firma]



R.U.C.: 1714404116001

FACTURA

No. 002-100-000011661

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN
1111202101171440411600120021000000116611234567019

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 12/11/2021 09:18:27.000

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

1111202101171440411600120021000000116611234567019

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE

Dirección: CUMBAYA, ELOY ALFARO OE 1-26 Y CHIMBORAZO
Matriz:

Dirección Sucursal:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD NO

Razón Social / Nombres y Apellidos: JUAN SEBASTIAN PROANO Identificación: 1803882727

Fecha Emisión: 11/11/2021 Guía Remisión:

Dirección TUMBACO

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio Sin Subsidio	Descuento	Precio Total
MUNC8125		1	MACHUELO SKC UNC 8 X P1 25MM				6,27	0,00	0,00	0	6,27
BHSS1675		1	BROCA H.S.S TITANUM 6.75				1,34	0,00	0,00	0	1,34

Información Adicional

Dirección TUMBACO

Varios CONTRIBUYENTE REGIMEN MICROEMPRESAS

Teléfono 0998251225

Email JSROANO@USFQ.EDU.EC

SUBTOTAL 12%	7,61
SUBTOTAL IVA 0%	0,00
SUBTOTAL NO OBJETO IVA	0,00
SUBTOTAL EXENTO IVA	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	7,61
DESCUENTO	0,00
ICE	0,00
IVA 12%	0,91
IRPFNR	0,00
PROFPA	0,00
VALOR TOTAL	8,52

Forma de Pago	Valor
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	8,52

VALOR TOTAL SIN SUBSIDIO	0,00
AHORRO POR SUBSIDIO: (Incluye IVA cuando corresponda)	0,00



R.U.C.: 1714404116001

FACTURA

No. 002-100-000011709

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN
1611202101171440411600120021000000117091234567011

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 17/11/2021 12:10:36.000

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

1611202101171440411600120021000000117091234567011

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE

MARICELA REYES TIGUA - ANCLAJES DEL VALLE

Dirección: CUMBAYA, ELOY ALFARO OE 1-26 Y CHIMBORAZO
Matriz:

Dirección Sucursal:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD NO

Razón Social / Nombres y Apellidos: JUAN SEBASTIAN PROANO Identificación: 1803882727

Fecha Emisión: 16/11/2021 Guía Remisión:

Dirección TUMBACO

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio Sin Subsidio	Descuento	Precio Total
PHIM80		4	PERNO HEXAGONAL				0,67	0,00	0,00	0	2,67
VROB1		1	VARILLA ROSCADA INOX.				5,31	0,00	0,00	0	5,31
ARAP8M		4	ARANDELA PLANA				0,07	0,00	0,00	0	0,29
TIM61		4	TUERCA INOXIDABLE 6				0,14	0,00	0,00	0	0,57
ARAP14		4	ARANDELA PLANA				0,07	0,00	0,00	0	0,29
BHSSASME		1	BROCA H.S.S ALPEN SPRINT				1,96	0,00	0,00	0	1,96



N° FACTURA

001-002-000132568

AMBIENTE: PRODUCCION
EMISIÓN NORMAL

Cliente: PROAÑO AVILES JUAN SEBASTIAN **CVRUC:** 1803882727
Dirección: TUMBACO **Fecha:** 9/11/2021
Teléfono: 0998251225 **Correo:** jsproeno@usfq.edu.ec **Pago:** EFECTIVO
Vendedor: robert **N°** 0911202101179215386700120010020001325688252687114
Cajero: CECY **Observación:**
AGENTE DE RETENCIÓN: RESOLUCIÓN Nro. NAC-DNCRASC20-00000001

CCDIGO	PRODUCTO	CANT.	PRECIO	%	TOTAL
26655-053	PERFIL BARRA REDONDA ACERO AISI 1018 C/METRO 3/4 - 2.23KLOS	1.00	7.15	10.0	6.43

Ferretería Cano
José Cano e Hijos S.C.C.
CANCELADO

SIETE DÓLARES CON VEINTE CENTAVOS


Firma Autorizada


Firma Cliente

SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL 12%	6.43
DESCUENTO	0.71
IVA 12.	0.77
TOTAL	7.20

Nota: De conformidad a lo dispuesto en el Art.50 del Régimen tributario interno, referente a las Retenciones de IVA e impuesto a la Renta, le recordamos que el plazo de entrega de estos Documentos ya sea estas Electrónicas o Físicas es de 5 Días posterior a la Fecha de Emisión de la Factura Según la ley "Es obligación de sujeto pasivo (Cliente) entregar al emisor dentro de los plazos establecidos de la Retención por tanto, los saldos generados por este concepto deberán ser cancelados por Usted sin protesta y a la brevedad posible para evitar retrasos en sus pedidos.

ANEXO E: CÓDIGOS PARA SIMULACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL

Programa EES cálculo de fuerzas cortantes:

```
Function FuerzaX(Force,angle,x,y,Tx,Ty)
  "Zona 1"
  if (x<Tx) AND (y>Ty) then FuerzaX = Force*cos(90[deg]-angle)
  "Zona 2"
  if (x<Tx) AND (y<Ty) then FuerzaX = -1*Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 3"
  if (x>Tx) AND (y<Ty) then FuerzaX = -1*Force*cos(90[deg]-angle)
  "Zona 4"
  if (x>Tx) AND (y>Ty) then FuerzaX = Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 5"
  if (x=Tx) AND (y>Ty) then FuerzaX = Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 6"
  if (x=Tx) AND (y<Ty) then FuerzaX = -1*Force*cos(180[deg]-(90[deg]+angle))
```

End

```
Function FuerzaY(Force,angle,x,y,Tx,Ty)
  "Zona 1"
  if (x<Tx) AND (y>Ty) then FuerzaY = Force*sin(90[deg]-angle)
  "Zona 2"
  if (x<Tx) AND (y<Ty) then FuerzaY = Force*sin(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 3"
  if (x>Tx) AND (y<Ty) then FuerzaY = -1*Force*sin(90[deg]-angle)
  "Zona 4"
  if (x>Tx) AND (y>Ty) then FuerzaY = -1*Force*sin(180[deg]-(90[deg]+angle))
  "Zona 5"
  if (x=Tx) AND (y>Ty) then FuerzaY = 0
  "Zona 6"
  if (x=Tx) AND (y<Ty) then FuerzaY = 0
```

End

M_M = 50000 [N mm]

"Distancias torque"

DT_x=115

DT_y=103

DT=sqrt(DT_x^2+DT_y^2)

"Distancias 1"

D1_x=16 [mm]

D1_y=31 [mm]

D1=sqrt(D1_x^2+D1_y^2)

D1T_x=DT_x-D1_x

D1T_y=DT_y-D1_y

D1T=sqrt(D1T_x^2+D1T_y^2)

"Distancias 2"

D2_x=95 [mm]

D2_y=31 [mm]

D2=sqrt(D2_x^2+D2_y^2)

D2T_x=DT_x-D2_x

D2T_y=DT_y-D2_y

D2T=sqrt(D2T_x^2+D2T_y^2)

"Distancias 3"

$$D3_x=215 \text{ [mm]}$$

$$D3_y=28 \text{ [mm]}$$

$$D3=\sqrt{D3_x^2+D3_y^2}$$

$$D3T_x=DT_x-D3_x$$

$$D3T_y=DT_y-D3_y$$

$$D3T=\sqrt{D3T_x^2+D3T_y^2}$$

"Distancias 4"

$$D4_x=15 \text{ [mm]}$$

$$D4_y=174 \text{ [mm]}$$

$$D4=\sqrt{D4_x^2+D4_y^2}$$

$$D4T_x=DT_x-D4_x$$

$$D4T_y=DT_y-D4_y$$

$$D4T=\sqrt{D4T_x^2+D4T_y^2}$$

"Distancias 5"

$$D5_x=94 \text{ [mm]}$$

$$D5_y=175 \text{ [mm]}$$

$$D5=\sqrt{D5_x^2+D5_y^2}$$

$$D5T_x=DT_x-D5_x$$

$$D5T_y=DT_y-D5_y$$

$$D5T=\sqrt{D5T_x^2+D5T_y^2}$$

"Distancias 6"

$$D6_x=215 \text{ [mm]}$$

$$D6_y=178 \text{ [mm]}$$

$$D6=\sqrt{D6_x^2+D6_y^2}$$

$$D6T_x=DT_x-D6_x$$

$$D6T_y=DT_y-D6_y$$

$$D6T=\sqrt{D6T_x^2+D6T_y^2}$$

"DS medios de la placa"

$$Dc_x=115$$

$$Dc_y=103$$

"//////////"

$$\alpha_1=\arccos(\text{abs}(D1T_x)/D1T)$$

$$\alpha_2=\arccos(\text{abs}(D2T_x)/D2T)$$

$$\alpha_3=\arccos(\text{abs}(D3T_x)/D3T)$$

$$\alpha_4=\arccos(\text{abs}(D4T_x)/D4T)$$

$$\alpha_5=\arccos(\text{abs}(D5T_x)/D5T)$$

$$\alpha_6=\arccos(\text{abs}(D6T_x)/D6T)$$

"/////"

$$F_1=(M_M \cdot D1T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_2=(M_M \cdot D2T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_3=(M_M \cdot D3T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_4=(M_M \cdot D4T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_5=(M_M \cdot D5T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_6=(M_M \cdot D6T)/(D1T^2+D2T^2+D3T^2+D4T^2+D5T^2+D6T^2)$$

$$F_1x=\text{FuerzaX}(F_1,\alpha_1,D1_x,D1_y,Dc_x,Dc_y)$$

$$F_1y=\text{FuerzaY}(F_1,\alpha_1,D1_x,D1_y,Dc_x,Dc_y)$$

$$F_2x=\text{FuerzaX}(F_2,\alpha_2,D2_x,D2_y,Dc_x,Dc_y)$$

$$F_{2y} = \text{FuerzaY}(F_2, \alpha_2, D2_x, D2_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{3x} = \text{FuerzaX}(F_3, \alpha_3, D3_x, D3_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{3y} = \text{FuerzaY}(F_3, \alpha_3, D3_x, D3_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{4x} = \text{FuerzaX}(F_4, \alpha_4, D4_x, D4_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{4y} = \text{FuerzaY}(F_4, \alpha_4, D4_x, D4_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{5x} = \text{FuerzaX}(F_5, \alpha_5, D5_x, D5_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{5y} = \text{FuerzaY}(F_5, \alpha_5, D5_x, D5_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{6x} = \text{FuerzaX}(F_6, \alpha_6, D6_x, D6_y, Dc_x, Dc_y)$$

$$F_{6y} = \text{FuerzaY}(F_6, \alpha_6, D6_x, D6_y, Dc_x, Dc_y)$$

Resultados completos programa EES, cálculo de fuerzas en columnas

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$\alpha_1 = 36.03$ [deg]	$\alpha_2 = 74.48$ [deg]	$\alpha_3 = 36.87$ [deg]	$\alpha_4 = 35.37$ [deg]	$\alpha_5 = 73.74$ [deg]	$\alpha_6 = 36.87$ [deg]	D1 = 34.89 [mm]
D1T = 122.4 [mm]	D1T _x = 99 [mm]	D1T _y = 72 [mm]	D1 _x = 16 [mm]	D1 _y = 31 [mm]	D2 = 99.93 [mm]	D2T = 74.73 [mm]
D2T _x = 20 [mm]	D2T _y = 72 [mm]	D2 _x = 95 [mm]	D2 _y = 31 [mm]	D3 = 216.8 [mm]	D3T = 125 [mm]	D3T _x = -100 [mm]
D3T _y = 75 [mm]	D3 _x = 215 [mm]	D3 _y = 28 [mm]	D4 = 174.6 [mm]	D4T = 122.6 [mm]	D4T _x = 100 [mm]	D4T _y = -71 [mm]
D4 _x = 15 [mm]	D4 _y = 174 [mm]	D5 = 198.6 [mm]	D5T = 75 [mm]	D5T _x = 21 [mm]	D5T _y = -72 [mm]	D5 _x = 94 [mm]
D5 _y = 175 [mm]	D6 = 279.1 [mm]	D6T = 125 [mm]	D6T _x = -100 [mm]	D6T _y = -75 [mm]	D6 _x = 215 [mm]	D6 _y = 178 [mm]
Dc _x = 115 [mm]	Dc _y = 103 [mm]	DT = 154.4 [mm]	DT _x = 115 [mm]	DT _y = 103 [mm]	F ₁ = 84.44 [N]	F _{1x} = -49.67 [N]
F _{1y} = 68.29 [N]	F ₂ = 51.55 [N]	F _{2x} = -49.67 [N]	F _{2y} = 13.8 [N]	F ₃ = 86.22 [N]	F _{3x} = -51.73 [N]	F _{3y} = -68.98 [N]
F ₄ = 84.6 [N]	F _{4x} = 48.98 [N]	F _{4y} = 68.98 [N]	F ₅ = 51.73 [N]	F _{5x} = 49.67 [N]	F _{5y} = 14.49 [N]	F ₆ = 86.22 [N]
F _{6x} = 51.73 [N]	F _{6y} = -68.98 [N]	M _M = 50000 [N-mm]				

No unit problems were detected.

Calculation time = .1 sec.

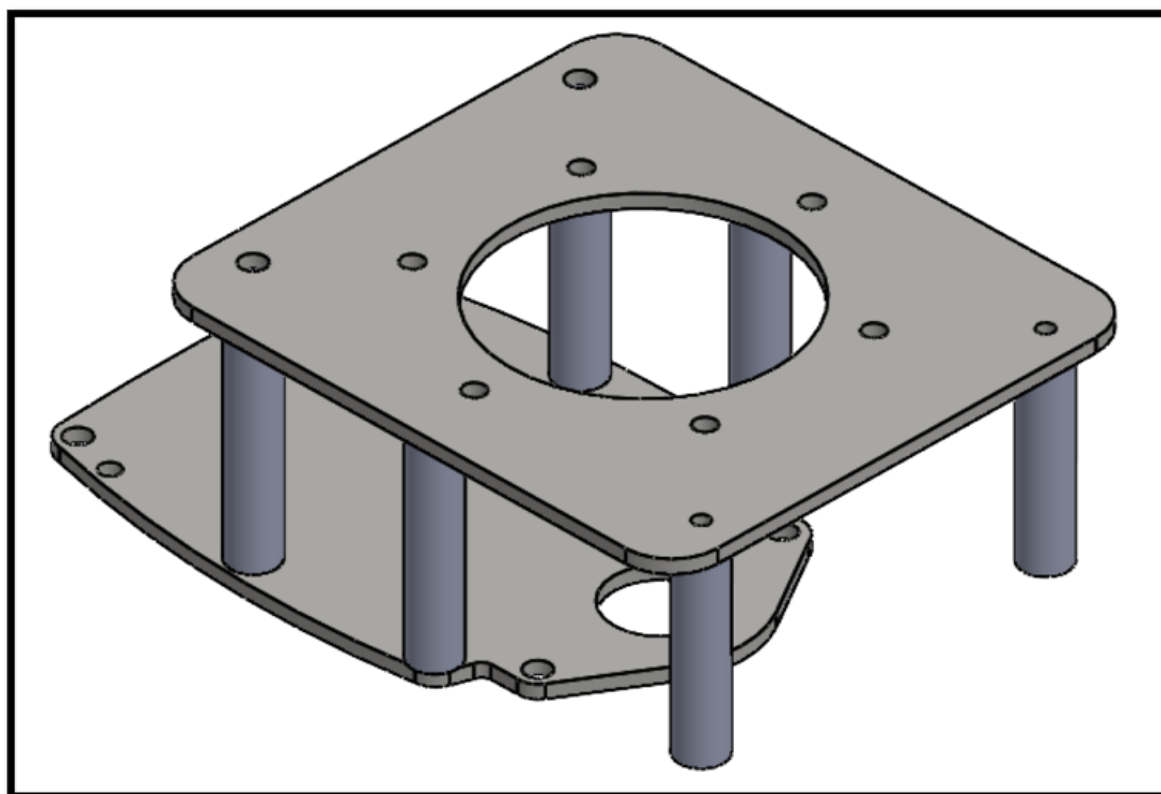
Programa para configuración Arduino sistema de control

```
1
2 #include <Servo.h>
3
4 Servo serv1;
5 int sensorValue = 0;
6 double engrados =0;
7 void setup()
8 {
9   pinMode(A0, INPUT);
10  pinMode(13, OUTPUT);
11  pinMode(12, OUTPUT);
12 }
13 void loop()
14 {
15 //sensor de temperatura respuesta pin A0
16   sensorValue = analogRead(A0);
17   if(sensorValue<=174){
18 //apaga ventilador si supera 174 (35 grados centrigrdos)
19     digitalWrite(13,0);
20     digitalWrite(12,0);
21   }
22   else{
23 //prende ventilador si supera 174 (35 grados centrigrdos)
24     if(sensorValue>174){
25       digitalWrite(13,1);
26       digitalWrite(12,1);
27     }
28   }
29   delay(100);
30 }
```

**ANEXO F: MANUALES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE
DISPOSITIVOS**

Base

BASE



MODELO 100-000-BFB

MANUAL DE INSTRUCCIONES

BASE 001-000-BFB

POR FAVOR LEER TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR ESTE DISPOSITIVO

¡ADVERTENCIA!

Este dispositivo es un prototipo que no ha sido probado durante jornadas largas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Revisar el torque de los pernos que anclan la base al chasis.
- Revisar el torque de los pernos que anclan el motor a la base.
- Verificar que no existan filtraciones de agua por los dos empaques del chasis hacia la base.

PRECAUCIONES IMPORTANTES

Cuando use/ensamble este producto, siga las siguientes precauciones básicas de seguridad, con el fin de salvaguardar su integridad y evitar lesiones:

LEA TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR/ENSAMBLAR SU DISPOSITIVO

- Use guantes con recubrimiento de polímeros.
- Use gafas de protección.
- Desenchufe el cable de poder que alimenta el sistema eléctrico.
- Evite mojar cualquier dispositivo eléctrico.
- Mantener fuera del alcance de los niños.
- El motor tiene un peso de 25kg, manipularlo con precaución.
- No use el dispositivo para otra función que no sea la que está descrita en este manual.
- Los pernos se ajustan con un torquímetro.
- No use el dispositivo por mas de 18 horas consecutivas.

ESTA UNIDAD ESTÁ DISEÑADA PARA EL USO EN EL FUERA DE BORDA YAMAHA E40XMH

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA

En caso de surgir dudas o requerir información adicional, así como si desea saber mas sobre nuestro servicio, no dude en contactarnos:

Quito – Ecuador

Tomás Álvares

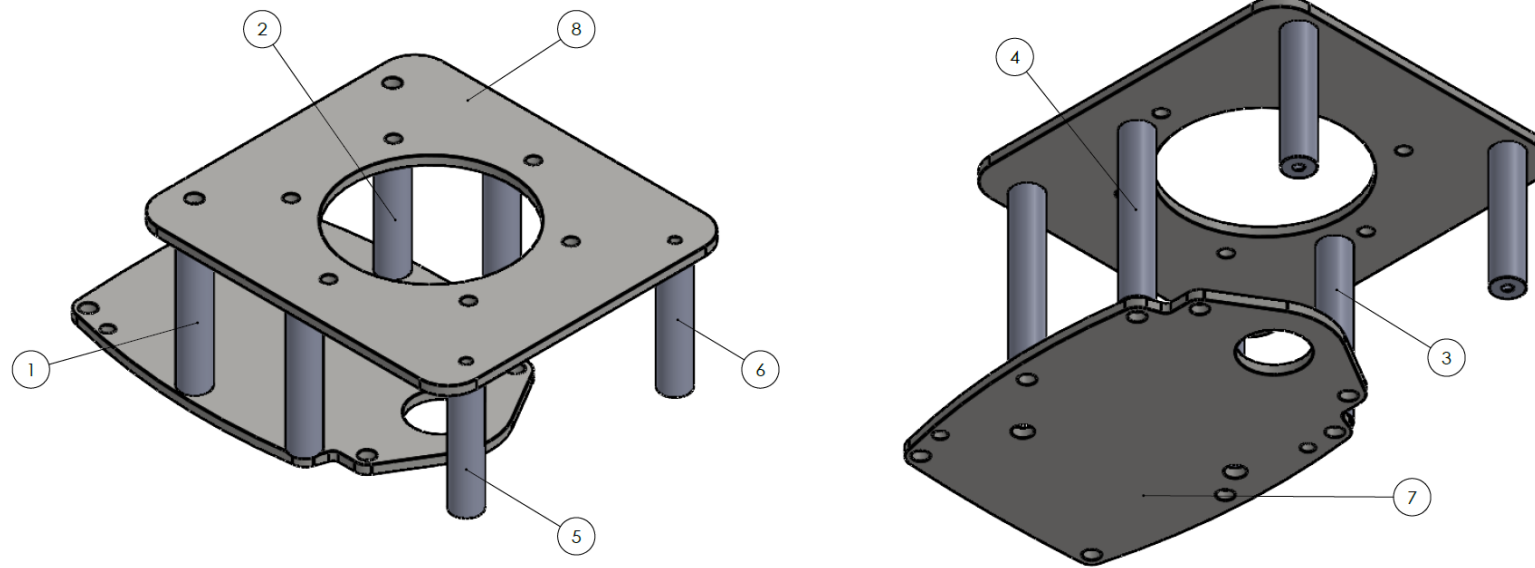
0984313543 talvares@estud.usfq.edu.ec

Riobamba – Ecuador

Francisco Arias

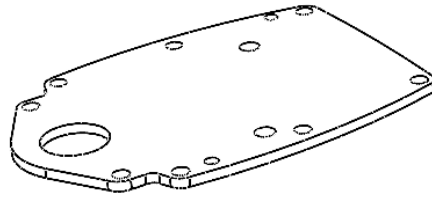
0984691616 farias@estud.usfq.edu.ec

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

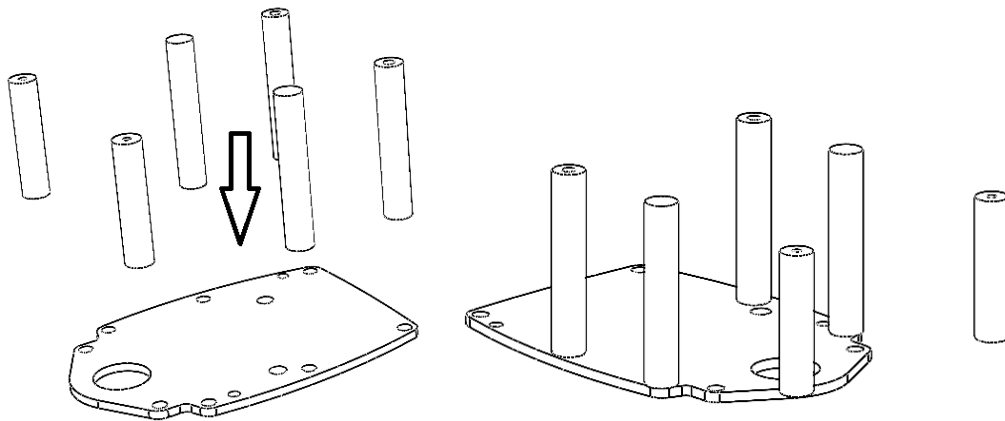
**LISTA DE PARTES**

ITEM	CANT.	CÓDIGO DE PARTE	DESCRIPCIÓN
8	1	001-005-SSM	Plancha de acero de 6mm de ancho que soporta el motor.
7	1	001-004-SIM	Plancha de acero de 6mm de ancho que ancla el soporte al chasis.
6	2	001-001-VCHP	Columna Hueca de longitud 9 mm y ancho 5 mm.
5	2	001-001-VCHP	Columna Hueca de longitud 9 mm y ancho 5 mm.
4	2	001-003-VCR	Columna con rosca M8 x 1.25 de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
3	2	001-003-VCR	Columna con rosca M8 x 1.25 de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
2	2	001-002-VCHG	Columna Hueca de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.
1	2	001-002-VCHG	Columna Hueca de longitud 11 mm y ancho 5/16 in.

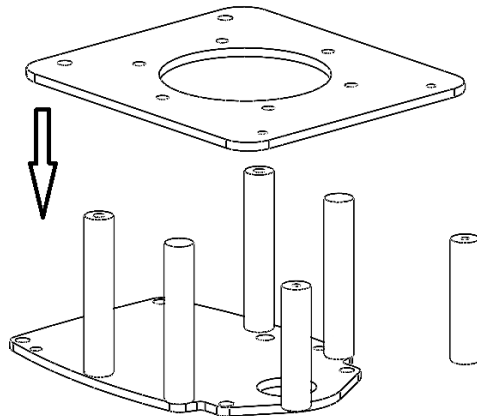
ENSAMBLAJE DEL DISPOSITIVO



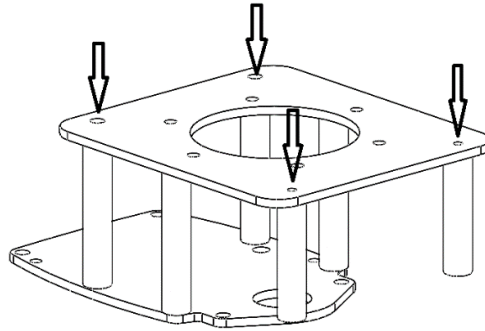
1. Coloque la placa 001-004-SIM en el chasis del fuera de borda.



2. Coloque las columnas como se indica en la figura, se debe seguir la secuencia que se determina en la sección “Descripción del Dispositivo”.



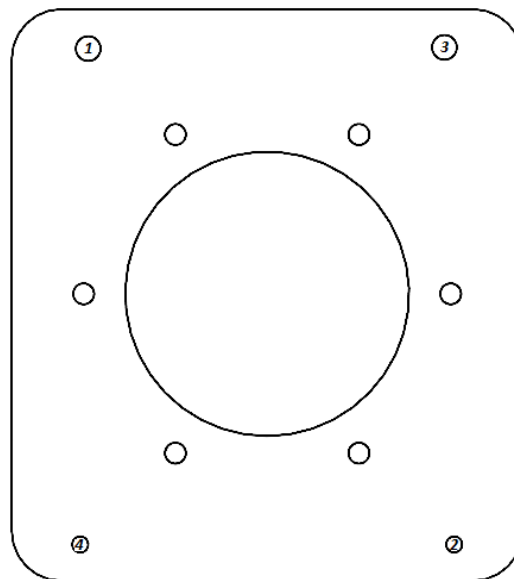
3. Coloque la placa 001-005-SSM sobre las columnas. (Los orificios pequeños coinciden con las columnas pequeñas)



1. Insertar las varillas roscadas en los orificios como se señala en la figura.

INSTRUCCIONES IMPORTANTES PARA EL AJUSTE DE PERNOS DE ANCLAJE AL CHASIS

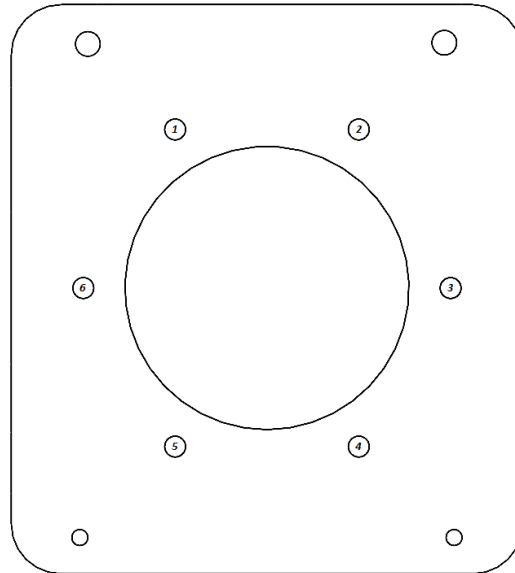
- Los pernos se ajustan con un torquímetro.
- La secuencia de ajuste es 1-2-3-4. (Observar la Figura)



- El ajuste se realiza en dos partes:
 - Primera fase: 40Nm
 - Segunda fase: 75 Nm

INSTRUCCIONES IMPORTANTES PARA EL AJUSTE DE PERNOS DE ANCLAJE DEL MOTOR

- Los pernos se ajustan con un torquímetro.
- La secuencia de ajuste es 1-4-2-5-3-6. (Observar la Figura)



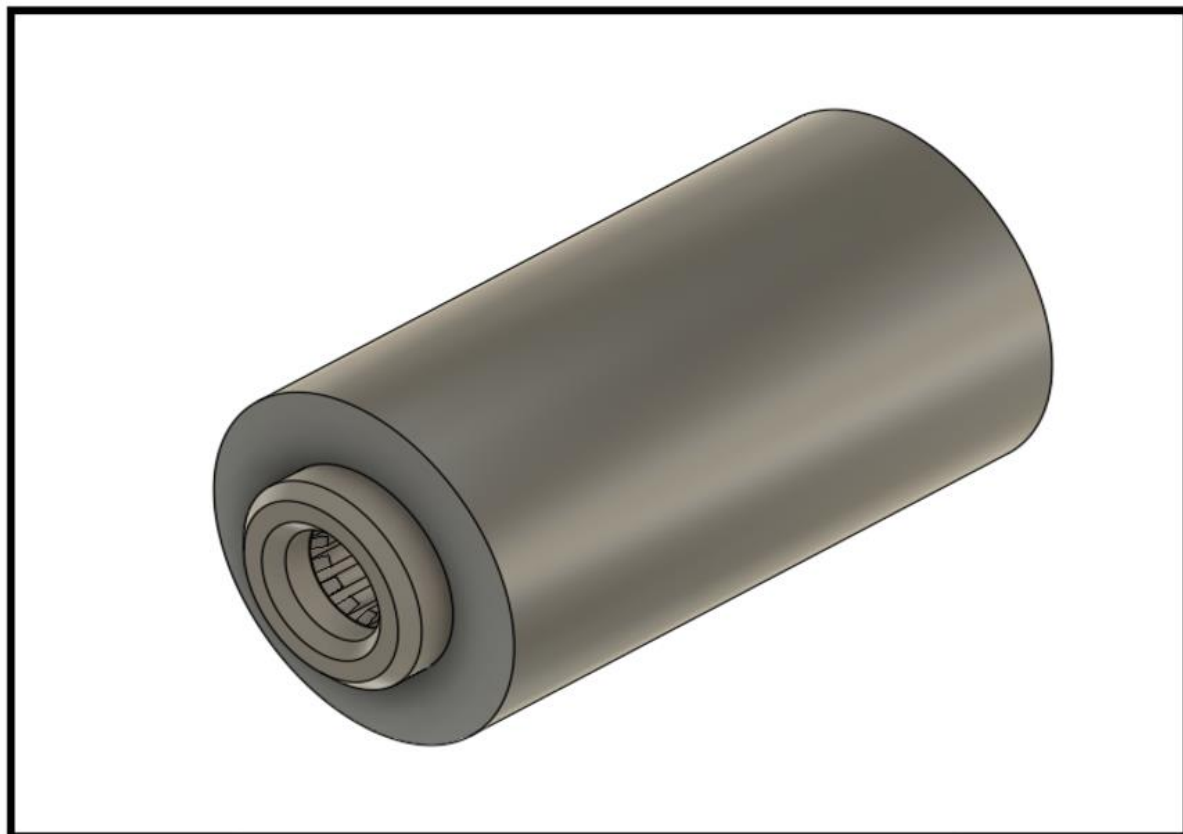
- El ajuste se realiza en dos partes:
 - Primera fase: 20Nm
 - Segunda fase: 45 Nm

MANTENIMIENTO DEL DISPOSITIVO

- Revisar periódicamente el ajuste de los pernos con un torquímetro.
- La secuencia de revisión es la misma que para ensamblar.
- Pulverizar cada uno de los componentes con grafito disuelto en aceite mineral, de modo que todo quede cubierto de este material para evitar óxido.
- Revisar el correcto funcionamiento del sistema de sellado, que no existan filtraciones de agua hacia el interior de la parte superior del fuera de borda.

Acople

ACOPLE



MODELO 002-000-CP

MANUAL DE INSTRUCCIONES

ACOPLE 002-000-CP

POR FAVOR LEER TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR ESTE DISPOSITIVO

¡ADVERTENCIA!

Este dispositivo es un prototipo que no ha sido probado durante jornadas largas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Revisar que no existan juego entre el acople y el eje del motor eléctrico.
- Revisar que no existan juego entre el acople y el eje del fuera de borda.
- Verificar que no existan filtraciones del lubricante.
- Precautelar atrapamientos al momento de ensamblar el dispositivo.

PRECAUCIONES IMPORTANTES

Cuando use/ensamble este producto, siga las siguientes precauciones básicas de seguridad, con el fin de salvaguardar su integridad y evitar lesiones:

LEA TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR/ENSAMBLAR SU DISPOSITIVO

- Use guantes con recubrimiento de polímeros.
- Use gafas de protección.
- Desenchufe el cable de poder que alimenta el sistema eléctrico del motor.
- Evite mojar cualquier dispositivo eléctrico.
- Mantener fuera del alcance de los niños.
- El motor tiene un peso de 25kg, manipularlo con precaución o pedir ayuda a otra persona.
- No use el dispositivo para otra función que no sea la que está descrita en este manual.
- Tener cerca la chaveta del motor eléctrico para que no se pierda.

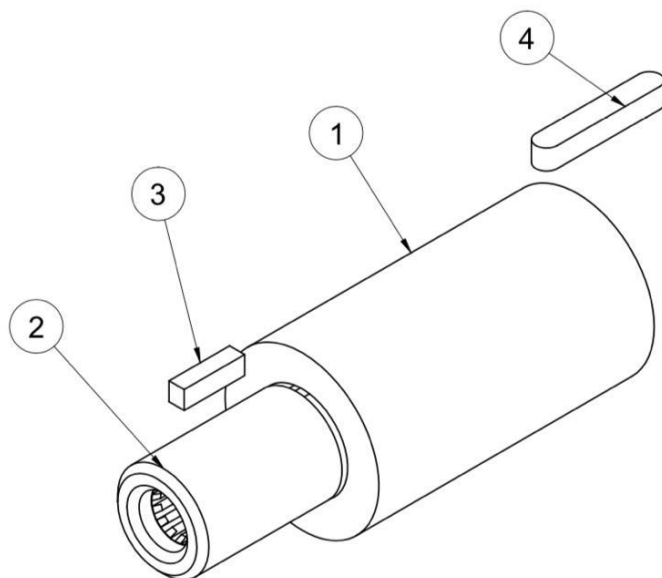
ESTA UNIDAD ESTÁ DISEÑADA PARA EL USO EN EL FUERA DE BORDA YAMAHA E40XMH

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA

En caso de surgir dudas o requerir información adicional, así como si desea saber más sobre nuestro servicio, no dude en contactarnos:

Otavaló – Ecuador

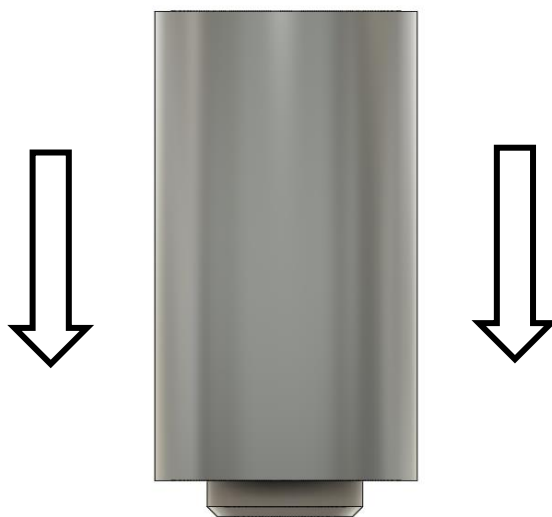
DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO



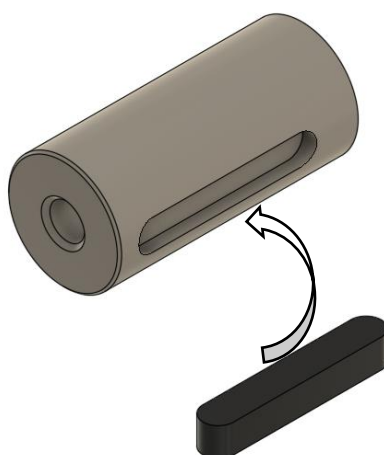
Lista de Piezas		
N° de elementos	Descripción	Cantidad
4	Chaveta acople base	1
3	Chaveta para acople estriado	1
2	Estriado	1
1	Acople	1

ENSAMBLAJE DEL DISPOSITIVO

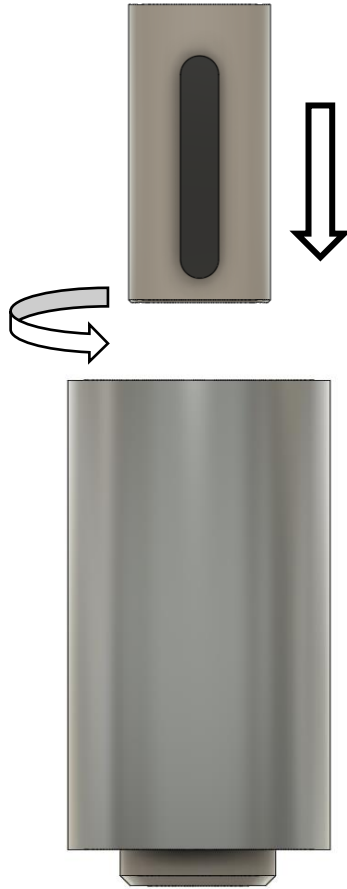
NOTA: Tener en cuenta que la parte del cilindro estriado ya viene instalado junto con la chaveta, este proceso fue realizado con prensa de 5 toneladas.



1. Coloque el acople 002-000-CP en el eje estriado con la parte del estriado en dirección hacia abajo.
2. Una vez que se encuentre ubicado, hacer presión con ambas manos hasta que el eje llegue al tope del acople.



1. Colocar la chaveta dentro del eje del motor, guiándose por la forma de la chaveta.



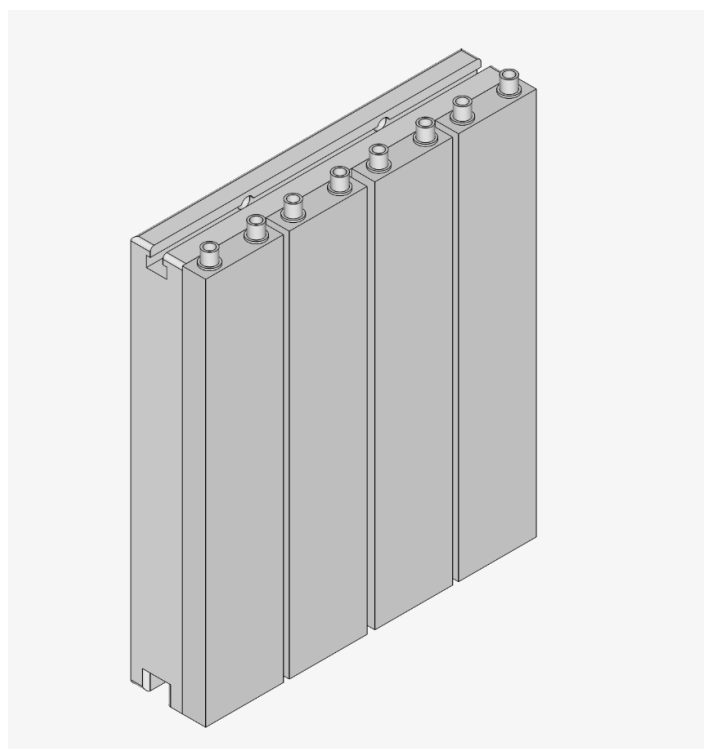
2. Una vez que se tenga las dos partes listas, tanto la chaveta como el acople, es necesario la ayuda de otra persona quien sostenga el motor mientras le van colocando el eje junto con la chaveta dentro del acople.
(Nota: es necesario girar el acople o el eje hasta que encaje dentro del chavetero)

MANTENIMIENTO DEL DISPOSITIVO

- Revisar periódicamente el ajuste de la chaveta.
- La secuencia de revisión es la misma que para ensamblar.
- Es necesario colocar grasa pasta (grasa para automotriz) en la parte del ingreso del estriado, en la chaveta del eje del motor y en el eje del motor.

Sistema de refrigeración

Sistema de Refrigeración



MODELO 003-002-SR

MANUAL DE INSTRUCCIONES

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 003-000-SR

POR FAVOR LEER TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR ESTE DISPOSITIVO

¡ADVERTENCIA!

Este dispositivo es un prototipo que no ha sido probado durante jornadas largas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Bajo ningún concepto se puede filtrar líquido y estar en contacto con los componentes electrónicos.**
- Revisar el torque del acople que conecta las mangueras con la base.
- Realizar limpieza interna de mangueras y conexiones.
- Verificar que no existan filtraciones de agua por los dos empaques del chasis hacia la base.

PRECAUCIONES IMPORTANTES

Cuando use/ensamble este producto, siga las siguientes precauciones básicas de seguridad, con el fin de salvaguardar su integridad y evitar lesiones:

LEA TODAS LAS INSTRUCCIONES ANTES DE USAR/ENSAMBLAR SU DISPOSITIVO

- Use guantes con recubrimiento de polímeros.
- Use gafas de protección.
- Desenchufe el cable de poder que alimenta el sistema eléctrico.
- Evite mojar cualquier dispositivo eléctrico.
- Mantener fuera del alcance de los niños.
- El controlador es un dispositivo que se debe manejar con precaución.
- No use el dispositivo para otra función que no sea la que está descrita en este manual.
- Use guantes de látex para manipular pasta térmica.
- Revise siempre las conexiones de las mangueras.

ESTA UNIDAD ESTÁ DISEÑADA PARA EL USO EN EL FUERA DE BORDA YAMAHA E40XMH

SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA

En caso de surgir dudas o requerir información adicional, así como si desea saber mas sobre nuestro servicio, no dude en contactarnos:

Quito – Ecuador

Vinicio Bravo

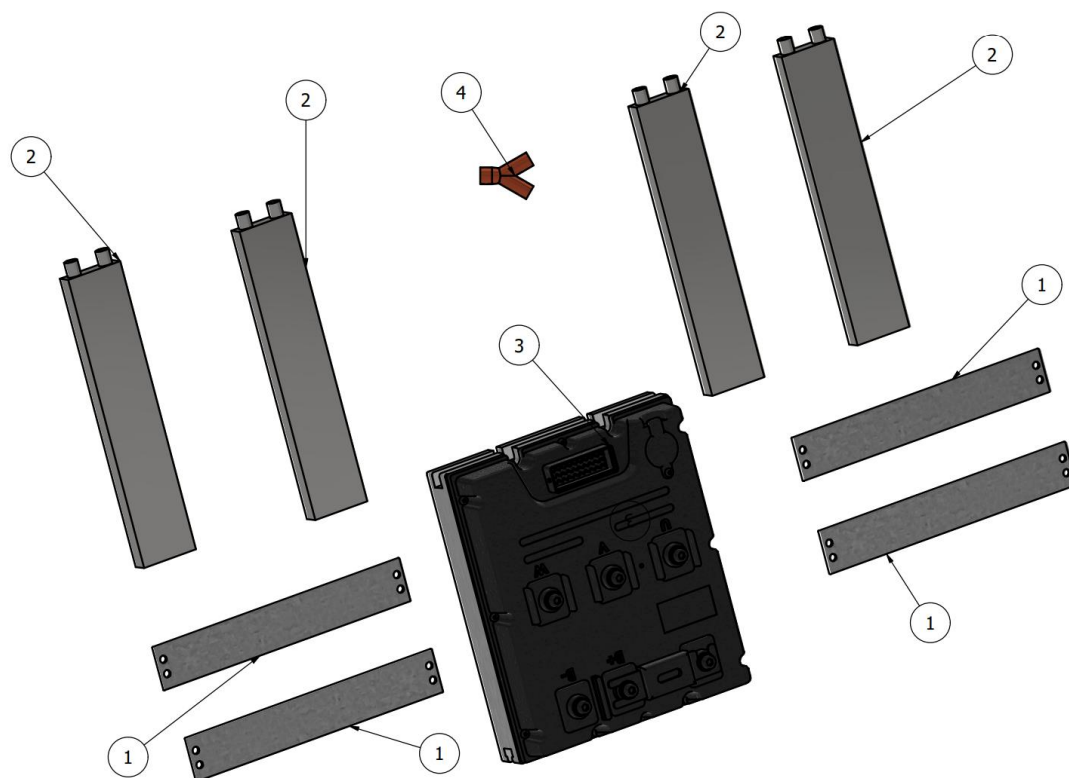
0961128223 vfbravo@estud.usfq.edu.ec

Tumbaco – Ecuador

Esteban Jara

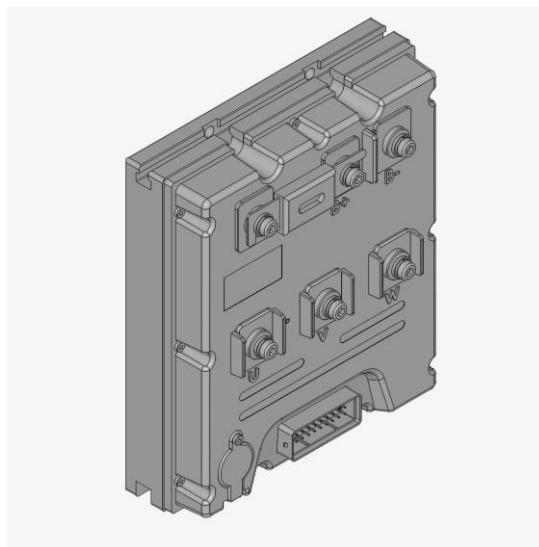
0984368935 ejara172@hotmail.com

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

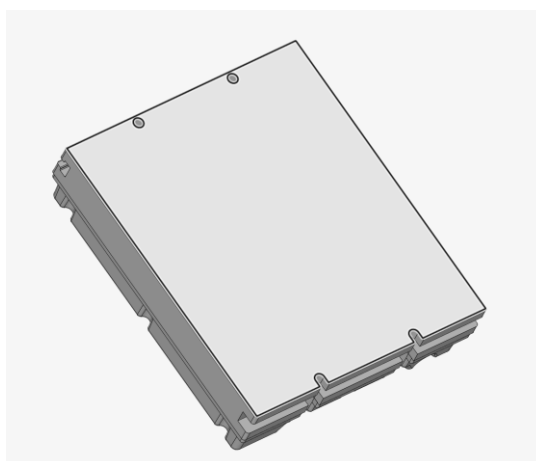
**LISTA DE PARTES**

ITEM	CANT.	CÓDIGO DE PARTE	DESCRIPCIÓN
1	4	003-002-SR	Plancha de acero 6mm de espesor
2	4	003-001-SR	Cooling block 170x40mm de aluminio
3	1	N/A	Controlador de 10kW
4	6	N/A	Conexiones en "Y" de cobre
5	2	N/A	Reductores de diametro de cobre

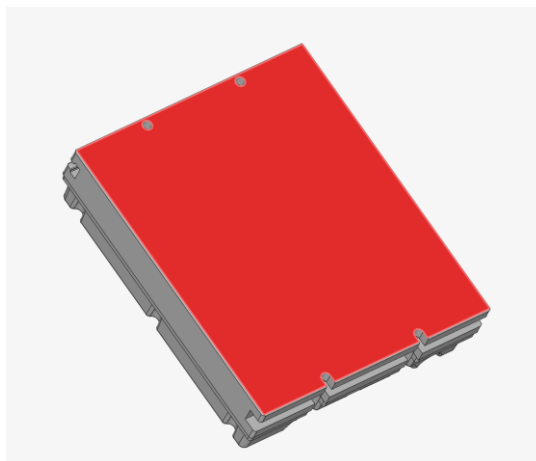
ENSAMBLAJE DEL DISPOSITIVO



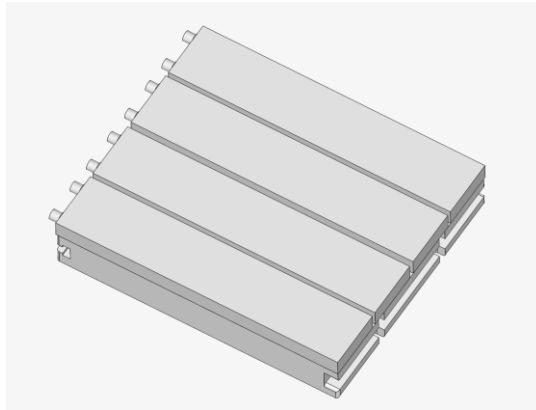
1. Coloque controlador 10kW en una superficie fija para evitar que se caiga.
2. Con los panos que viene con la pasta térmica Noctua 2.5gr realizar la limpieza de la superficie donde se va a colocar la pasta térmica.



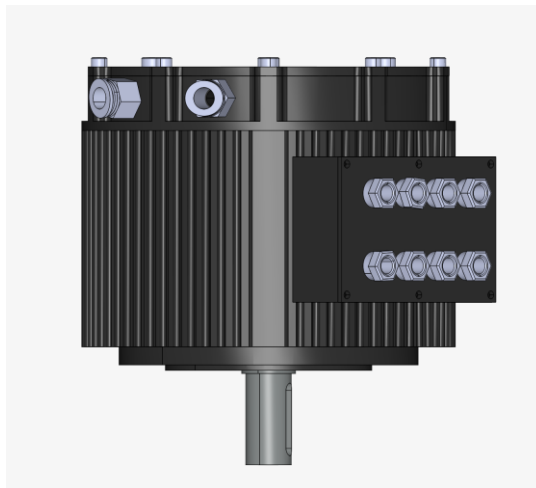
3. Colocar gotas de pasta térmica en la superficie roja.



1. Limpiar superficie de adherencia en cooling blocks
2. Colocar cooling blocks en la parte posterior del controlador.



3. Colocar mangueras en terminales de los cooling blocks con una configuración en paralelo y, además, conectar mangueras mediante conexiones “Y” de cobre.
4. Conectar con mangueras de vinil motor eléctrico.



5. Finalmente, conectar mangueras a placa base y colocar componentes en base de fuera de borda.

MANTENIMIENTO DEL DISPOSITIVO

- Revisar periódicamente las conexiones tanto de cobre como las de aluminio por posibles fugas de fluido.
- La secuencia de revisión es la misma que para ensamblar.
- Realizar limpieza superficial de los componentes para mejorar su funcionamiento.
- Revisar el correcto funcionamiento del sistema de sellado, que no existan filtraciones de agua hacia el interior de la parte superior del fuera de borda.
- Limpiar cada 3 meses los filtros de la parte inferior del fuera de borda.
- Realizar una limpieza interna cada 6 meses de los componentes con vinagre blanco para eliminar impurezas en el interior.
- Realizar una limpieza interna cada 6 meses de los componentes con agua a presión, de esta manera se evitan sedimentaciones en el interior de las mangueras.