

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UN KART ELÉCTRICO PROFESIONAL

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Gonzalo Javier Pariona Pino

ASESOR:

Diego Martin Arce Cigüeñas


Lima, Febrero, 2023

Informe de Similitud

Yo, Diego Martin Arce Cigüeñas, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “Diseño De Un Kart Eléctrico Profesional”, del autor Gonzalo Javier Pariona Pino, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 23/01/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 10 de Febrero del 2023

Apellidos y nombres del asesor: Arce Cigüeñas, Diego Martin	
DNI: 46726472	Firma 
ORCID: 0000-0002-7350-1709	

RESUMEN

La contaminación ambiental es un problema que nos acompaña por mucho tiempo, al cual lamentablemente no le estamos dando la importancia necesaria. Tenemos solo un planeta y tenemos que cuidarlo. La emisión de gases producto de la combustión está impactando gravemente en la capa de ozono causando muchos cambios climáticos a lo largo de todo el mundo. ¿Quién hubiese pensado hace 10 años que en el invierno del 2022 en Lima la población tenga que abrigarse más para combatir el frío?

Dado que se necesita promover con una mayor intensidad y alcance la necesidad del cuidado de la capa de ozono, es importante buscar un espacio que mueva grandes cantidades de personas y pueda impactar sobre toda una industria. Las competencias de autos son un buen candidato, los avances tecnológicos planteados dentro de la industria automotriz provienen muchas veces del desarrollo elaborado para estas carreras.

Tomando en consideración lo planteado anteriormente, la presente tesis desarrolla el diseño de un kart eléctrico destinado a un ambiente competitivo profesional, el cual posea las características establecidas por la entidad que vela por el buen uso de los karts.

El presente documento plantea inicialmente la investigación previa realizada para el desarrollo de ingeniería del vehículo, y un diseño conceptual obtenido por la metodología VDI 2206. Finalmente, se presenta el diseño del kart con un chasis base que trata de incluir la mayor cantidad de baterías posibles (2 bancos de 140 celdas cada uno) para lograr una autonomía de 32 km a 100 km/h (17 km de autonomía por cada motor) y con la posibilidad de hacerle frente a una fuerza de colisión de 155 kN (equivalente a 60 km/h); el vehículo propone una nueva interacción con el piloto a partir de las variaciones significativas del ángulo del pedal de aceleración para desencadenar la potencia pico del motor (100 kW) por un máximo de 10 segundos o cuando este llegue a su temperatura máxima de trabajo.

A mi tío Wilfredo.



INDICE

INTRODUCCIÓN	11
PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.1 Problemática.....	14
1.2 Propuesta solución.....	16
1.3 Objetivo general	17
1.4 Objetivos específicos.....	17
1.5 Metodología	17
1.6 Alcance.....	17
ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1 Sistema integrado.....	19
2.2 Subsistema de chasis	22
2.3 Subsistema de dirección.....	27
2.4 Subsistema de transmisión	30
2.5 Subsistema de aceleración.....	33
2.6 Subsistema de frenado.....	35
2.7 Subsistema de energía	37
2.8 Subsistema de propulsión.....	40
2.9 Subsistema de control.....	41
2.10 Subsistema de recopilación de datos	43
DISEÑO CONCEPTUAL	46
3.1 Requerimientos del sistema.....	46
3.2 Estructura de funciones	47
3.3 Matriz morfológica.....	47
3.4 Evaluación técnica - económica.....	47

3.5 Descripción del concepto de solución óptimo	48
CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DISEÑO DEL CHASIS	49
4.1 Diseño integral	49
4.2 Subsistema de chasis.....	72
DISEÑO DE TRANSMISIÓN, ACELERACIÓN Y FRENADO	79
5.1 Subsistema de transmisión.....	79
5.2 Subsistema de aceleración y frenado	81
DISEÑO DE ENERGÍA Y PROPULSIÓN	85
6.2 Subsistema de propulsión	85
6.1 Subsistema de energía.....	92
ESTIMACIÓN DE COSTOS	98
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES.....	102
TRABAJO FUTURO.....	102
BIBLIOGRAFÍA	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Infografía del Estudio realizado en el Censo 2017.....	15
Figura 1.2: Ranking de Calidad de Aire (1/09/2017)	16
Figura 2.1: Sodi RTX.....	19
Figura 2.2: Ninebot Mini	20
Figura 2.3: Ninebot Gokart Kit.....	20
Figura 2.4: BSR19 SPORTS 25KW (Adult)	20
Figura 2.5: Kreisel Electric Kart.....	21
Figura 2.6: Electric GoKart 2.....	21
Figura 2.7: Electric GT EKart.....	22
Figura 2.8: Análisis de la estructura usando ANSYS	23
Figura 2.9: Estructura del kart	23
Figura 2.10: Vehicle Frama With Seat	24
Figura 2.11: Vehicle frame	24
Figura 2.12: Estructura del kart que incluye otros subsistemas.....	25
Figura 2.13: Chasis con batería integrada y suspensión trasera.....	25
Figura 2.14: Chasis con batería integrada removible.....	26
Figura 2.15: Chasis con batería integrada con el uso de pistones.....	26
Figura 2.16: Estructura básica del Sistema de dirección	27
Figura 2.17: Comparación de los dos sistemas.....	28
Figura 2.18: Yamamiya model	28
Figura 2.19: Esquema del Sistema de dirección	29
Figura 2.20: Sistema de dirección del carro de juguete	29
Figura 2.21: Componentes de dirección de un kart	30
Figura 2.22: Ejemplo de engranajes planetarios.....	31
Figura 2.23: Configuración de Sistema planetario	31
Figura 2.24: Sistema de variación de velocidad	32
Figura 2.25: Relación de transmisión	32
Figura 2.26: Pedal eléctrico de aceleración	33
Figura 2.27: Acelerador de Bosch	33
Figura 2.28: Sistema Rotor - Estator.....	34

Figura 2.29: Sistema de aceleración de un kart	34
Figura 2.30: Sensores de posición y su ubicación	35
Figura 2.31: Sistema de frenado de un kart	36
Figura 2.32: Estructura del Sistema de frenado	36
Figura 2.33: Ralentizador electromagnético	37
Figura 2.34: Portada del libro	38
Figura 2.35: Topología propuesta	38
Figura 2.36: LG Chem Lithium Ion Battery	39
Figura 2.37: Powerwall	39
Figura 2.38: Sistema de control planteado para el sistema de frenado	41
Figura 2.39: Diagrama de bloques de la propulsión del kart	42
Figura 2.40: Comparación de las velocidades del sistema	43
Figura 2.41: Estructura de control	43
Figura 2.42: BRAIN	44
Figura 2.43: I-Laps en funcionamiento	44
Figura 2.44: Componentes de Race Cloud	45
Figura 3.1: Diagrama de funciones	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.2: Puntuación técnica vs económica	48
Figura 3.3: Concepto de solución óptimo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.4: Primera vista del boceto 3D	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.5: Segunda vista del boceto 3D	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.1: Modelo 3D final del vehículo	50
Figura 4.2: Diagrama de operación	51
Figura 4.3: Arquitectura de Hardware	52
Figura 4.4: Ángulos de ubicación del soporte del eje de dirección.	57
Figura 4.5: Ángulo de caída de los neumáticos del vehículo	58
Figura 4.6: Medidas de neumáticos	58
Figura 4.7: Distribución de pesos del vehículo	60
Figura 4.8: Medidas de una persona de 1.63 m	61
Figura 4.9: Ubicación preliminar del asiento	62
Figura 4.10: Soporte posterior del asiento	62

Figura 4.11: Ubicación de la pantalla	63
Figura 4.12: Compartimiento WA-24F.....	63
Figura 4.13: Paneles aerodinámicos	64
Figura 4.14: Sujeciones de paneles.....	64
Figura 4.15: Diagrama de flujo general	65
Figura 4.16: Diagrama de Sensor Estado y Sensor Movimiento	66
Figura 4.17: Diagrama de flujo Actualizar Pantalla	67
Figura 4.18: Diagrama de flujo de NormalMode.....	68
Figura 4.19: Diagrama de flujo EcoMode	69
Figura 4.20: Diagrama de flujo de IndBateria	70
Figura 4.21: Diagrama de flujo de Ang40 y Ang25	71
Figura 4.22: Diagrama de flujo de VelMin y Ang5.....	72
Figura 4.23: Control del Motor DC	72
Figura 4.24: Chasis del vehículo.....	73
Figura 4.25: DCL de colisión.....	74
Figura 4.26: Parachoques frontal y lateral.....	75
Figura 4.27: DCL del eje posterior.....	77
Figura 5.1: Subsistema de transmisión.....	80
Figura 5.2: Sensor rotatorio	81
Figura 5.3: Ubicación de los pedales	82
Figura 5.4: Ubicación del sensor de aceleración	82
Figura 5.5: Ubicación de la bomba de freno.....	83
Figura 5.6: Freno de disco delantero.....	84
Figura 5.7: Freno de disco posterior	84
Figura 6.1: Subsistema de propulsión.....	86
Figura 6.2: DCL ideal del vehículo.....	87
Figura 6.3: Ubicación del módulo de control	89
Figura 6.4: Soporte del motor	90
Figura 6.5: Motor con su soporte.....	91
Figura 6.6: Ubicación de sensor de velocidad e imanes.....	91
Figura 6.7: Subsistema de energía.....	92

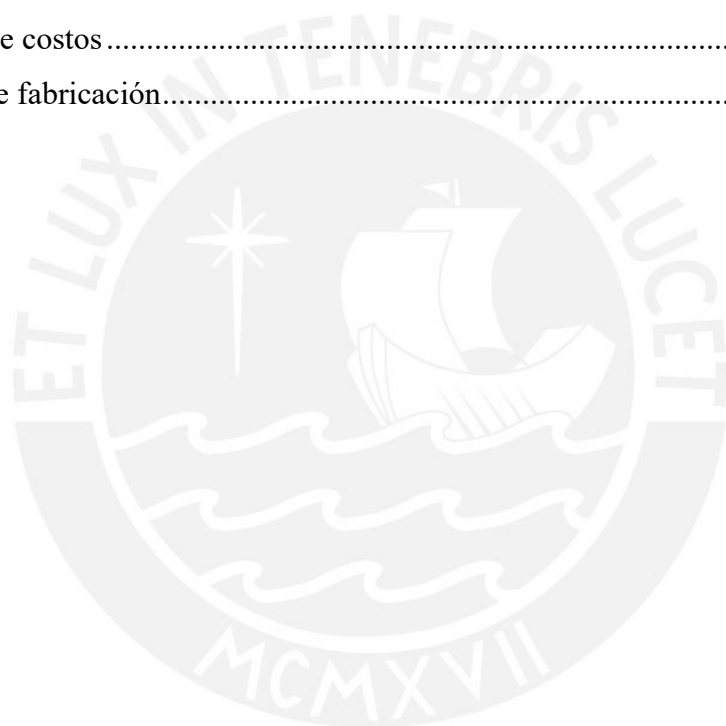
Figura 6.8: Distribución de BMS.....	94
Figura 6.9: Sensor de corriente del BMS.....	95
Figura 6.10: Cargador ELCON PFC5000.....	96
Figura 6.11: Soporte de baterías.	97
Figura 6.12: Distribución de baterías.....	97



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Categorías según CIKFIA.....	18
Tabla 2.2: Resumen de los sistemas integrados.....	22
Tabla 2.3: Resumen de los subsistemas de chasis	27
Tabla 2.4: Resumen de los subsistemas de dirección	30
Tabla 2.5: Resumen de los subsistemas de transmisión	32
Tabla 2.6: Resumen de los subsistemas de aceleración.....	35
Tabla 2.7: Resumen de los subsistemas de frenado.....	37
Tabla 2.8: Resumen de los subsistemas de energía	40
Tabla 2.9: Resumen de los subsistemas de propulsión.....	41
Tabla 2.10: Resumen de los subsistemas de recopilación de datos	45
Tabla 3.1: Solución del subsistema mecánico	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.2: Solución del subsistema de energía	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.3: Solución del subsistema de actuadores.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.4: Solución del subsistema de sensado	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.5: Solución del subsistema de control.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.6: Solución del subsistema de interacción	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.7: Evaluación técnica	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.8: Evaluación económica.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.1: Cantidad de pines.....	53
Tabla 4.2: Comparación de microcontroladores.....	53
Tabla 4.3: Conectores automotrices.....	54
Tabla 4.4: Comparación de pantallas.....	54
Tabla 4.5: Llave de encendido	55
Tabla 4.6: Comparación entre interruptores de encendido.	55
Tabla 4.7: Aceros estructurales.....	56
Tabla 4.8: Material de carrocería	56
Tabla 4.9: Uniones entre elementos.....	57
Tabla 4.10: Tabla comparativa de neumáticos	59
Tabla 4.11: Tabla de variables globales.....	66
Tabla 4.12: Lista de planos de la estructura.....	77

Tabla 6.1: Tabla comparativa de motores.....	87
Tabla 6.2: Comparación entre controladores de motor.....	88
Tabla 6.3: Comparación entre componentes de medición de velocidad.....	89
Tabla 6.4: Valores requeridos del banco de baterías	92
Tabla 6.5: Comparación entre baterías	93
Tabla 6.6: Comparación de arreglo de celdas.....	93
Tabla 6.7: Comparación entre BMS	94
Tabla 6.8: Voltaje y corriente de trabajo de componentes electrónicos	95
Tabla 7.1: Resumen de costos.....	98
Tabla 7.2: Detalle de costos.....	99
Tabla 7.3: Costos de fabricación.....	100



INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema de gran escala que las personas se encuentran destinadas a afrontar para asegurar la supervivencia del ser humano, y es que al sólo poseer un planeta donde vivir queda como única solución el cuidado del mismo. En el presente año, 2020, se está viviendo una pandemia que pone en evidencia la cantidad de contaminación que es producida por el hombre y esto se refleja en la comparación de polución antes y después de los periodos de cuarentena establecidos por cada gobierno.

Es por esto que se propone atacar al menos un foco de contaminación que es el de entretenimiento para así impulsar la iniciativa de seguir buscando soluciones para el cuidado del medio ambiente. Con este propósito el presente documento plantea el desarrollo de un kart eléctrico para el sector profesional y así incentivar tanto a la comunidad automotriz como a los espectadores al cambio y cuidado del ambiente. Para esto el vehículo se basará en las regulaciones propuestas por la CIKFIA (*Commission Internationale de Karting de la Federation Internationale de L'Automobile*) realizando modificaciones en los criterios referentes a motores de combustión interna. Este kart contará con un sistema de propulsión basado en dos motores eléctricos, un banco de baterías reforzado para evitar explosiones ante una colisión y usará un acelerador eléctrico que definirá en qué momentos dar la mayor potencia al motor.

Este trabajo comprende la recopilación de información referente a sistemas anteriormente propuestos relacionados con el tema. Además, se presenta la lista de requerimientos del sistema basada en la CIKFIA, la cual se utilizará para la elaboración del diseño conceptual óptimo basándose en la metodología alemana VDI 2206. Posteriormente, se realizarán los cálculos ingenieriles para determinar las características de la máquina y así poder efectuar las simulaciones

correspondientes para verificar las dimensiones. Finalmente, se elaborarán los planos de la máquina y se realizará una estimación de costos con respecto a la fabricación de la máquina.

En el primer capítulo se detalla la problemática a abarcar, así como cifras representativas del impacto que tiene la misma en el planeta y se describen los objetivos a desarrollar para obtener la propuesta de solución. Finalmente se enlista los pasos a realizar para lograr el diseño de ingeniería de la máquina y el alcance del presente documento.

El segundo capítulo comprende la investigación de tecnología desarrollada hasta el momento que tenga relación con el tema del presente documento. Para lograr una búsqueda más exhaustiva se indaga con respecto a sistemas integrados y se proponen los siguientes subsistemas para ahondar mucho más en el tema: Subsistema de chasis, subsistema de dirección, subsistema de transmisión, subsistema de aceleración, subsistema de frenado, subsistema de energía, subsistema de propulsión, subsistema de control y subsistema de recopilación de datos. Al final de cada recopilación se adjunta una lista comparativa de cada uno de los elementos encontrados.

El tercer capítulo abarca la propuesta de conceptos de solución a la problemática. Para esto se elabora una lista de requerimientos para cada uno de los subsistemas propuestos con anterioridad en base a las normas actualizadas establecidas por la CIKFIA. Con estos requerimientos se procede a elaborar un diagrama de funciones indicando los procesos y energía que se dan al momento de poner en marcha al vehículo. A partir de este diagrama, se plantea una solución para cada proceso propuesto (Anexo C) y se elabora una matriz de conceptos de solución logrando así 3 posibles soluciones (Anexo D). Se realiza una comparación de las 3 soluciones en cuanto a temas técnicos y económicos, y se hace una explicación detallada del concepto de solución óptimo.

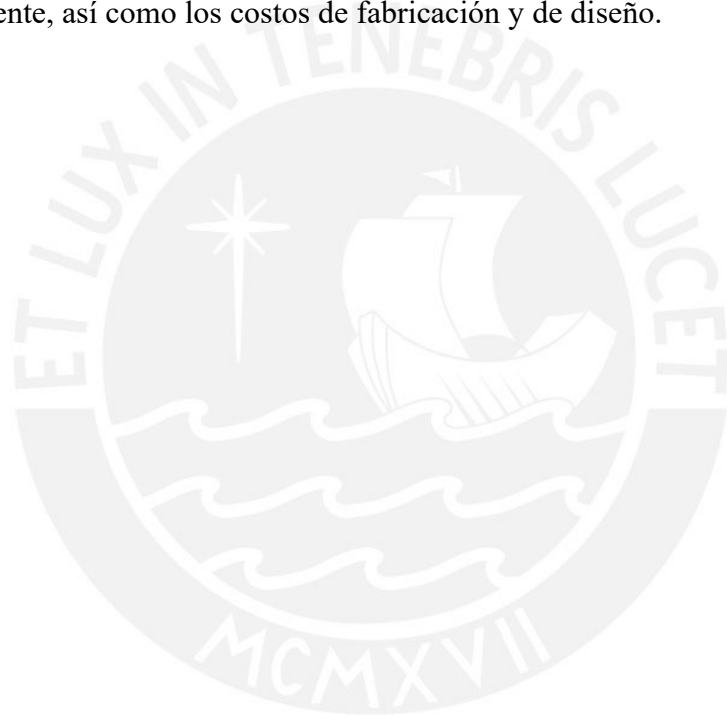
A partir del cuarto capítulo se desarrolla el diseño de ingeniería del vehículo, para mantener un orden se dividirá el diseño en 3 capítulos: características generales y diseño de chasis, diseño de transmisión, aceleración y frenado y diseño de energía y propulsión.

En el cuarto capítulo, se visualiza la lógica de programación, la estructura de control, la dirección del vehículo, la ubicación del asiento y se describen los cálculos realizados para la modificación de la estructura principal incluyendo simulaciones de validación. Adicionalmente, incluye la lista de los planos para la fabricación y ensamblado del vehículo.

El quinto capítulo involucra la selección de los componentes de la transmisión basada en fajas y la selección de los componentes relacionados con los pedales. Cabe destacar que en el transcurso de la tesis sólo se mencionarán dos proveedores debido a que son los que mayor información cuentan sobre las partes que venden, lo que es de gran ayuda para el desarrollo de esta tesis.

El sexto capítulo comprende la selección del motor, el diseño de su soporte, la selección y diseño del banco de baterías a utilizar por el motor y el diseño de sus compartimientos dividiendo las baterías en: baterías extraíbles y baterías no extraíbles.

Finalmente, el séptimo capítulo presenta a detalle la lista de costos de cada uno de los capítulos descritos anteriormente, así como los costos de fabricación y de diseño.



CAPÍTULO 1

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realizará una descripción del proyecto con respecto a su planteamiento y elaboración. En un inicio se explica la problemática a la que está enfocado el proyecto y se propone una solución que ataca directamente a la misma. Finalmente, se proponen los objetivos a desarrollar para la elaboración de la solución y el alcance del proyecto.

1.1 Problemática

Una de las problemáticas que más preocupación causa actualmente es la contaminación ambiental; esta ha afectado el planeta de tal manera que está llegando a un punto de no retorno. Según *Australian Academy of Science* en su publicación sobre el cambio climático, desde sus inicios la tierra ha pasado por muchos cambios: variaciones de los gases de efecto invernadero, la evolución de los seres vivos, impacto de meteoros, entre otros. Todas y cada una de estas variaciones ha contribuido positiva y negativamente en el tiempo de vida estimado del planeta. Desde un enfoque orientado a la variación de los gases de efecto invernadero se puede observar que la temperatura que generan estos gases en el planeta ha aumentado en 5°C desde sus inicios y esto se complementa con la disminución del espesor de la capa de ozono que protege el planeta (*Australian Academy of Science*, 2015).

Dando hincapié a la contaminación, según el Ministerio de Ambiente (MINAM) “El Perú es un país vulnerable a los efectos del cambio climático” (Ministerio de Ambiente, 2015). En un artículo presentado por el MINAM se refieren a las emisiones de GEI (Gases de Efecto invernadero) en el Perú como representantes de menos del 1% emitido mundialmente, sin embargo, recalcan el

incremento de estas en un 40% en los últimos 15 años (Ministerio de Ambiente, 2013). Como es de conocimiento, los gases de efecto invernadero son aquellos que permiten que el planeta no se enfríe manteniendo una temperatura promedio y por lo tanto creando la posibilidad de vida en el planeta. Estos gases al aumentar ocasionan que la temperatura promedio aumente, lo cual modifica las condiciones de vida de todos los seres vivos.

Dentro de las actividades que generan mayor contaminación en el ámbito peruano se encuentra encabezando la lista, la contaminación generada por los medios de transporte. Un estudio realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) reveló que en el Censo Nacional 2017 (Figura 1.1) se logró una reducción de 32 toneladas en la emisión de PM2,5 gracias a una orden de no circulación con una duración de ocho horas (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, 2017).

El PM2,5 es referido al material particulado respirable presente en el aire y puede tener diferentes tamaños menores a 10 micras, se caracteriza por su gran toxicidad que afecta a la salud humana, adicionalmente cuentan con la capacidad de permanencia en el aire por periodos largos y se desplazan distancias muy amplias (Ecologistas en acción, 2008).



Figura 1.1: Infografía del Estudio realizado en el Censo 2017

Fuente: SPDA

Actualmente existe un proyecto en curso nombrado “*The World Air Quality Project*” creado en Beijing, el cual estudia la contaminación del aire a nivel mundial y realiza mediciones constantes

mediante la distribución de medidores en todo el mundo, que cuenta con un ranking de calidad de aire. En el ranking (Figura 1.2) se observa a Perú en el puesto 6 como país de mayor contaminación de aire.

 Turquía	500
 Israel	270
 Estados Unidos	250
 China	233
 Chile	198
 Perú	173
 Indonesia	172

Figura 1.2: Ranking de Calidad de Aire (1/09/2017)

Fuente: The World Quality Project.

Dentro del sector de entretenimiento se encuentra una actividad que está en auge de crecimiento y que está relacionada directamente con el transporte, esta es el manejo de karts. Un kart es un vehículo monoplaza con chasis tubular accionado por un motor de combustión interna a tracción trasera, este vehículo no cuenta con carrocería ni con suspensión (CIKFIA, 2019) y dado que estos karts trabajan a base de motores de combustión, aportan a la contaminación ambiental. Si bien al momento de comparar la emisión de gases que produce un auto con la de un kart esta será mucho menor, en el rubro automovilístico es de importancia la innovación para un desarrollo sostenible. Esto aplica tanto para el sector amateur/recreativo como para el sector profesional.

Por lo tanto, dado a que el sector profesional es más frecuente que el amateur, se propone diseñar un kart profesional que funcione a base de un motor eléctrico, de modo que cumpla con los requerimientos necesarios para poder ser operado en las competencias elaboradas por la *Commission Internationale de Karting de la Federation Internationale de L'Automobile* (CIKFIA), específicamente en el Grupo 1, cuyos competidores se caracterizan por tener motores de mayor potencia y sistemas de mayor complejidad para aumentar la seguridad del vehículo: Frenos de disco en ambos ejes, uso de pedales sin cables, secciones tubulares de mayor sección, entre otros.

1.2 Propuesta solución

En la presente tesis se propone el diseño de un kart impulsado por dos motores eléctricos que poseen un banco de baterías incorporado en su chasis y un sistema de control para mejorar la distribución de energía proporcionada por el banco de baterías. De esta manera, se trata el concepto

de mejora de autonomía del kart a través de la reducción de peso y el monitoreo de energía proporcionada por el banco de baterías.

1.3 Objetivo general

Diseñar de un kart profesional a base de un motor eléctrico que cumpla con los requerimientos establecidos para el Grupo 1: KZ1 de la FIA.

1.4 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de chasis y verificar por simulación en software de elementos finitos
- Seleccionar el sistema de dirección y transmisión
- Seleccionar los elementos para el sistema de aceleración y frenado
- Seleccionar el sistema de propulsión y el sistema de energía
- Estimar costos de diseño y fabricación del kart eléctrico

1.5 Metodología

La presente tesis hace uso de la norma alemana VDI 2206 para obtener un diseño conceptual óptimo y luego se realizarán los cálculos ingenieriles para la obtención del diseño final. La norma comprende lo siguiente:

- Estudio de la tecnología desarrollada hasta el momento.
- Elaboración de lista de requerimientos (Según CIKFIA).
- Elaboración de un diagrama de funciones.
- Elaboración de una matriz morfológica (con 3 soluciones) y evaluación técnica-económica de las mismas para obtener un concepto de solución.
- Realización de cálculos mecánicos, electrónicos y de control necesarios para determinar las características de la máquina.
- Verificación de las partes mecánicas por medio de software de elementos finitos.
- Elaboración de planos y estimación de costos de fabricación.

1.6 Alcance

El alcance abarca el desarrollo ingenieril y la estimación de costos, incluyendo la elaboración de planos y verificación de algunos sistemas por medio de software de elementos finitos, mas no abarca su implementación.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

El rubro de entretenimiento automotriz posee diferentes campos dependiendo de las características del vehículo usado en las competencias: dimensiones, potencia, torque, peso, dirección, suspensión, transmisión, entre otros. El *Karting* se encuentra dentro de estos campos y se caracteriza por poseer un bajo peso, el uso de mecanismos simples y una estructura tubular.

La CIKFIA, encargada de establecer las regulaciones para el uso correcto de los karts, establece los siguientes grupos especificados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Categorías según CIKFIA

	Nombre	Cilindrada
Grupo 1	KZ1	125cc
	Superkart	250cc
Grupo 2	KZ2	125cc
	OK	125cc
	OK-Junior	125cc
Grupo 3	Mini	60cc

Fuente: Elaboración propia

En la presente sección se desarrolla la investigación previa acerca de temas relacionados con el desarrollo de la presente tesis. Se presentan productos actuales, patentes, tesis y publicaciones. Esta información será de ayuda para el diseño del sistema propuesto. Para su desarrollo se va a dividir la investigación en los siguientes temas: Sistema integrado, sistema de chasis, sistema de

dirección, sistema de transmisión, sistema de aceleración, sistema de frenado, sistema de energía, sistema de propulsión, sistema de control y sistema de recopilación de datos.

2.1 Sistema integrado

Los presentes sistemas son alternativas de solución a la problemática de la contaminación ambiental. Se presenta un modelo comercial destinado al sector amateur, así como un modelo comercial que puede alcanzar mayores velocidades y posee mayor potencia. Por otro lado, se presenta un diseño innovador a través de un kit que se acopla a un vehículo de dos ruedas. Finalmente, se presentan 3 proyectos que se han desarrollado en diferentes partes del mundo, de los cuales uno es una tesis y otro es un proyecto que será usado para facilitar el lanzamiento de una competencia relacionada con los vehículos eléctricos.

2.1.1 Producto: Sodi RTX

La empresa Sodikart presenta un kart eléctrico comercial (Figura 2.1) con características personalizables para mejorar la comodidad en la experiencia del usuario. Cuenta con un motor desarrollado específicamente para el manejo de karts y sigue las recomendaciones establecidas por la *Commission Internationale de Karting* de la FIA (CIK-FIA). El kart cuenta con la opción de uso de baterías de Litio o con el uso de baterías de estado sólido.



Figura 2.1: Sodi RTX

Fuente: Sodikart

2.1.2 Producto: Xiaomi Ninebot Electric Gokart

El kart elaborado por Xiaomi con la colaboración de Segway ofrece un diseño ergonómico y adaptable a cualquier persona. La empresa propone una idea muy creativa en el diseño: El sistema de propulsión es un vehículo ligero de dos ruedas (Figura 2.2) que se acopla a la parte trasera del kart (Figura 2.3) realizando el trabajo de las ruedas.



Figura 2.2: Ninebot Mini

Fuente: Xiaomi

Adicionalmente, ofrece la posibilidad de ser utilizado por personas entre 130 a 190 centímetros (cm) con un peso máximo de 100 kilogramos (kg) y la variación de la velocidad máxima hasta 24 kilómetros por hora (km/h).



Figura 2.3: Ninebot Gokart Kit

Fuente: Segway

2.1.3 Producto: BSR19 SPORTS 25KW

La empresa Blue Shock Race cuenta con un kart eléctrico (Figura 2.4) empleado para el ámbito profesional. El sistema de propulsión permite velocidades de 135 km/h y aceleración de 0 a 100 km/h en 3.3 segundos. La batería cuenta con una duración máxima de 30 minutos cuando el motor es usado a máxima potencia y también posee carga rápida de baterías.



Figura 2.4: BSR19 SPORTS 25KW (Adult)

Fuente: Blue Shock Race

2.1.4 Proyecto: Kreisel Electric Kart

La empresa alemana Kreisel, dedicada a la transición de vehículos a sistemas eléctricos, propone un kart eléctrico (Figura 2.5) con un record mundial de 3.1 segundos de 0 a 100 km/h. Este vehículo está energizado con 1188 celdas de litio que generan 13kWh, el peso del mismo está optimizado a 65 kg.



Figura 2.5: Kreisel Electric Kart

Fuente: Kreisel Electric

2.1.5 Proyecto: Electric GoKart 2

Proyecto elaborado por la empresa EV-Fun. La empresa propone un Kart eléctrico propulsado por dos motores, obteniendo un total de 136 hp (Figura 2.6). Adicionalmente, la empresa ha publicado al público toda la información referente al diseño de este kart.



Figura 2.6: Electric GoKart 2

Fuente: EV-Fun

2.1.6 Proyecto: Electric GT EKart

Kart eléctrico (Figura 2.7) elaborado para la inauguración del evento “*The Electric GT Karting Championship*”. No existe información detallada del kart, sin embargo, en la página web de la competencia se pueden encontrar datos característicos del kart, que son: Velocidad máxima: 130

km/h, Potencia: 50 hp, Aceleración: 3.1 segundos de 0 a 100 km/h, Peso: 109 kg y Batería: 4.2 kW.h.



Figura 2.7: Electric GT EKart

Fuente: GT Karting Championship

2.1.7 Tabla resumen de los sistemas integrados

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Resumen de los sistemas integrados

	Sodi RTX	Xiaomi Ninebot	BSR19 Sports	Kreisel Electric Kart	Electric GoKart 2	Electric GT EKart
Precio	-	\$800	-	-	-	-
Aceleración 0-100km/h	-	No llega	3.3 s	3.1 s	3.4 s	3.1 s
Capacidad de Batería	-	-	-	13 kW.h	2.56 kW.h	4.2 kW.h
Peso	180 kg	28 kg	-	65 kg	-	109 kg
Potencia	-	1 HP	33.5 HP	67 HP	136 HP	50 HP
Velocidad máxima	-	24 km/h	135 km/h	-	130 km/h	150 km/h
Autonomía	-	15 km	30 min	80 min	25 km	-

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Subsistema de chasis

A continuación, se documenta la información obtenida relacionada con las configuraciones de chasis que se han desarrollado para ser usadas en los karts.

2.2.1 Publicación A: “Material Based FEA Analysis of a Go-Kart Chassis: A Comparative Study” (Attarde, Chougule y Magdum, 2018)

La publicación abarca el diseño de la estructura de un kart mediante el uso del software CAD y el uso del software ANSYS para el análisis de elementos finitos (Figura 2.8). También propone 6 tipos de materiales, dentro de los cuales uno es la fibra de carbono, cada uno de estos materiales será evaluado usando el programa anterior.

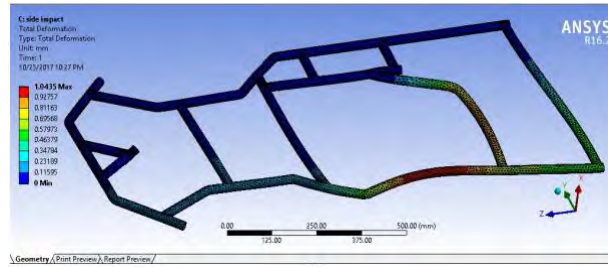


Figura 2.8: Análisis de la estructura usando ANSYS

Fuente: EBSCO Host

2.2.2 Publicación B: “Multi-body elastic simulation of a go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance” (Mirone, 2010)

El desarrollo de la publicación trata el diseño de un kart de bajo costo cuyo material de fabricación de la estructura es ASTM A284 (Figura 2.9). La estructura se somete a diferentes pruebas físicas para evaluar la rigidez de la misma, y también se le hace un análisis dinámico.

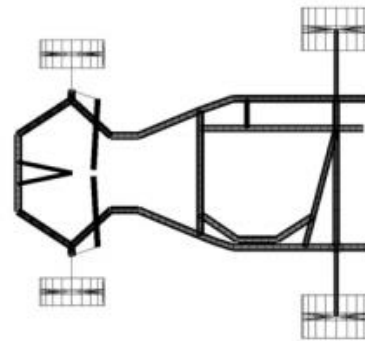


Figura 2.9: Estructura del kart

Fuente: Springer Link

2.2.3 Patente A: “Vehicle Frame With Seat” (Llweyn y Howard, 2016)

La patente desarrolla una estructura tubular de dos niveles (Figura 2.10) que cuenta con un espacio definido para el asiento del piloto. Adicionalmente, posee un sistema integrado de dirección a base de manubrios.

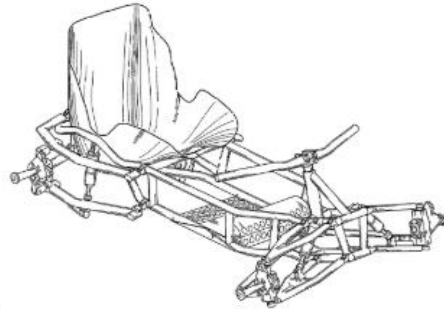


Figura 2.10: Vehicle Frama With Seat

Fuente: United States Patent

2.2.4 Patente B: “Vehicle Frame” (Llweyn y Howard, 2017)

La estructura desarrollada en la patente (Figura 2.11) muestra un chasis tubular que integra tanto la dirección del vehículo como la suspensión del mismo. Cabe destacar que la estructura cuenta con una separación en la parte posterior.

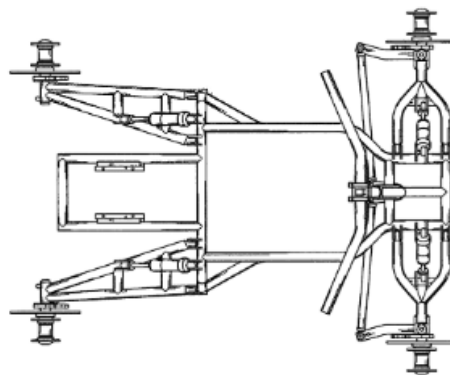


Figura 2.11: Vehicle frame

Fuente: United States Patent

2.2.5 Patente C: “Kart Chassis With Increased Impact Resistance, and Corresponding Kart” (Gergaud, 2017)

Patente de la empresa SODIKART que abarca el desarrollo de un chasis tubular que está reforzado para poder soportar mayores deformaciones (Figura 2.12). Esta patente también incluye el sistema de dirección del kart, un par de pedales regulables, frenos de disco en las llantas posteriores y el asiento del piloto.

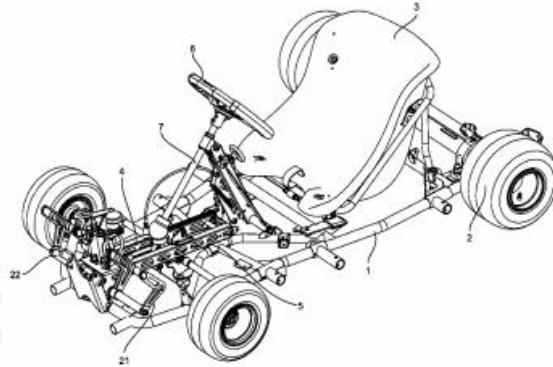


Figura 2.12: Estructura del kart que incluye otros subsistemas

Fuente: United States Patent

2.2.6 Patente D: “Battery Powered Model Car” (Miles 1994)

La patente presenta un vehículo con suspensión trasera energizado con un banco de baterías acoplado en el chasis (Figura 2.13). La suspensión se ubica de tal manera que no tiene contacto directo con las baterías.

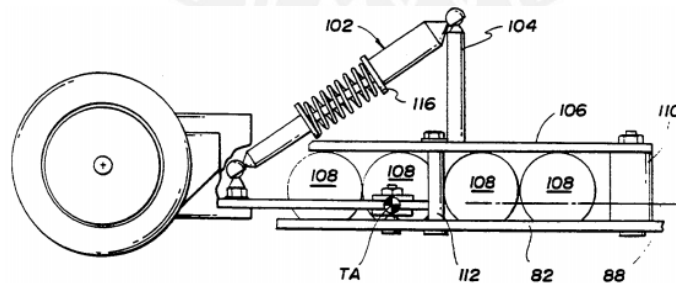


Figura 2.13: Chasis con batería integrada y suspensión trasera

Fuente: United States Patent

2.2.7 Patente E: “Electric Vehicle Chassis With Removable Battery Module And a Method for Battery Module Replacement” (Chaney, 2007)

La patente desarrolla un chasis removible que se encuentra acoplado a una caja que almacena un banco de baterías (Figura 2.14). La caja forma parte del chasis y por lo tanto contempla poder soportar las cargas que causa un vehículo.

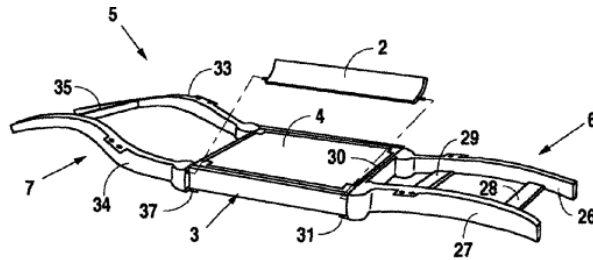


Figura 2.14: Chasis con batería integrada removible

Fuente: United States Patent

2.2.8 Patente F: “Vehicle Battery Decking Device” (Lucid y Brown, 1994)

La patente desarrolla la integración de un banco de baterías a un chasis a través del uso de pistones (Figura 2.15). Estos últimos se pueden ajustar aumentando o disminuyendo su longitud según conveniencia.

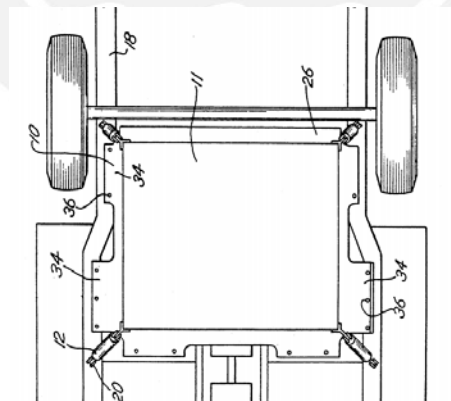


Figura 2.15: Chasis con batería integrada con el uso de pistones

Fuente: United States Patent

2.2.9 Tabla resumen de los subsistemas de chasis

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Resumen de los subsistemas de chasis

	Pub. A	Pub. B	Pat. A	Pat. B	Pat. C	Pat. D	Pat. E	Pat. F
Sistema de amortiguamiento	×	×	×	✓	×	✓	×	-
Batería integrada	×	×	×	×	×	✓	✓	✓
Estructura Tubular	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×
Dirección integrada	×	×	✓	✓	✓	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Subsistema de dirección

En este acápite se encuentra documentada la información recopilada sobre los sistemas de dirección. Cabe destacar que el sector de karting no requiere de sistemas tan complejos debido a la necesidad de realizar reparaciones rápidas en competencias y a la cantidad de colisiones que se originan.

2.3.1 Publicación C: “Vehicle Dual-Redundancy Electronic Steering Wheel System” (Wang, Mi, Cai, Lian y Chen, 2017)

La publicación abarca el estudio de una dirección electrónica usada para operar un vehículo (Figura 2.16). La publicación propone una retroalimentación en base a torques para que el piloto pueda tomar las decisiones correctas al momento de manejar.

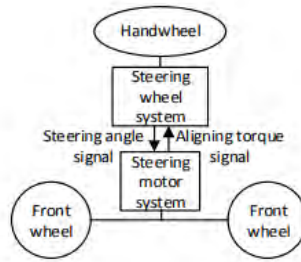


Figura 2.16: Estructura básica del Sistema de dirección

Fuente: Research Gate

2.3.2 Publicación D: “Initial Estimates in the Design of Rack-and-Pinion Steering Linkages” (Simionescu y Smith, 2000)

La publicación abarca el estudio de una nueva disposición de elementos para un sistema de dirección basado en piñón y cremallera, propone partir desde el centro de la cremallera y no desde los costados como comúnmente se realiza (Figura 2.17).

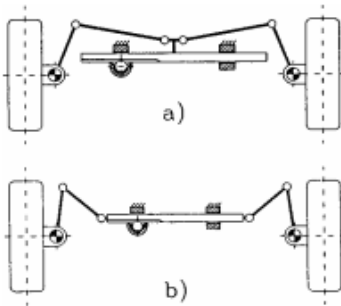


Figura 2.17: Comparación de los dos sistemas

Fuente: Research Gate

2.3.3 Publicación E: “Design of steering mechanism and control of nonholonomic trailer systems” (Nakamura, Ezaki, Tan y Chung, 2001)

La publicación trata del estudio del movimiento realizado por los tráileres y el control que se le puede aplicar a estos (Figura 2.18). Lo que se rescata de esta publicación es uno de los sistemas mencionados que es el “Yamamiya model” que es una patente de 1990. Esta patente abarca el movimiento conjunto de ruedas traseras y delanteras.

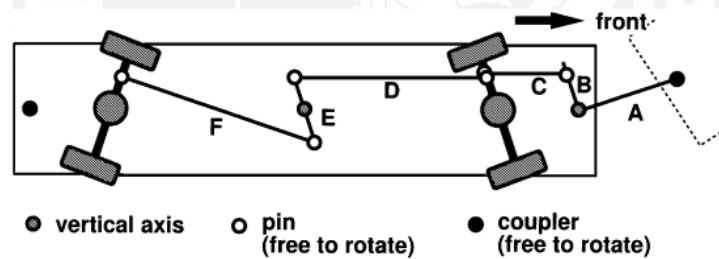


Figura 2.18: Yamamiya model

Fuente: IEEE

2.3.4 Patente G: “Precision Electro-Hydraulic Actuator Positioning System” (Spadafora, 2003)

Se desarrolla un sistema hidráulico junto con un sistema de control integrado para poder establecer el correcto funcionamiento del actuador hidráulico utilizado (Figura 2.19).

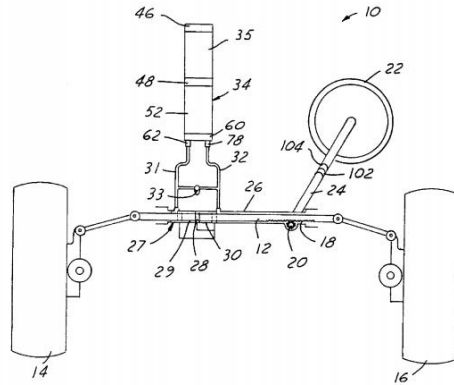


Figura 2.19: Esquema del Sistema de dirección
Fuente: United States Patent

2.3.6 Patente H: “Toy Car Racer With Self-Steering Mechanism” (Okamoto, 1977)

Patente que abarca el funcionamiento de un carro de juguete (Figura 2.20). El juguete posee un mecanismo simple a base de un motor y un tornillo como eje. Se rescata la idea empleada para el mecanismo.

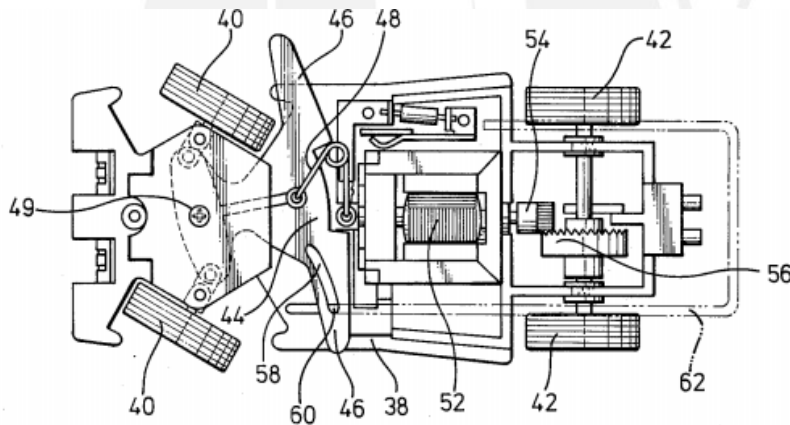


Figura 2.20: Sistema de dirección del carro de juguete
Fuente: United States Patent

2.3.5 Artículo A: “Sistema de Dirección de un Kart” (DMK Racing, 2019)

En la página web de la empresa DMK Racing, que vende componentes para karts, se encontró un artículo referido a la composición del sistema de dirección de un kart, estos poseen volante, columna de dirección, varillas de dirección y manguetas (Figura 2.21).

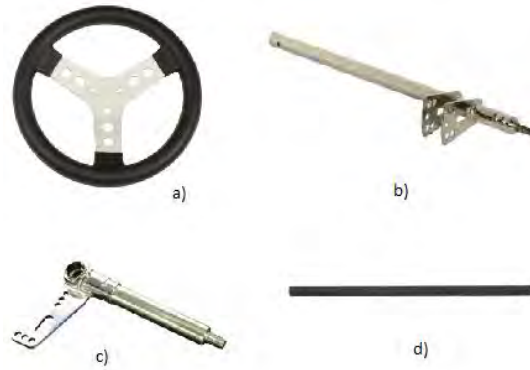


Figura 2.21: Componentes de dirección de un kart

Leyenda: a) Volante, b) Columna de dirección, c) Mangueta, d) Varilla de dirección

Fuente: DMK Racing

2.3.6 Tabla resumen de los subsistemas de dirección

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Resumen de los subsistemas de dirección

	Pub. C	Pub. D	Pat. F	Pat. G	Pat. H	Art. A
Tipo de dirección	Eléctrica	Mecánica	Mecánica	Eléctrica	Mecánica	Mecánica
Año	2017	2000	2001	2003	1977	2019

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Subsistema de transmisión

A continuación, se presenta la información obtenida a partir de un proceso de investigación de sistemas de transmisión.

2.4.1 Libro: “Encyclopedia of Automotive Engineering” (Crolla, 2015)

El libro le dedica un capítulo a la teoría y a las consideraciones con respecto al diseño de transmisiones planetarias (Figura 2.22), titulado “*Automatic Transmissions-Gear Train Combinations, Components, Design Considerations, Hydraulic System, Packaging, Manufacturing, Assembly*”. Adicionalmente tiene una sección donde detalla temas de manufactura y ensamblado.

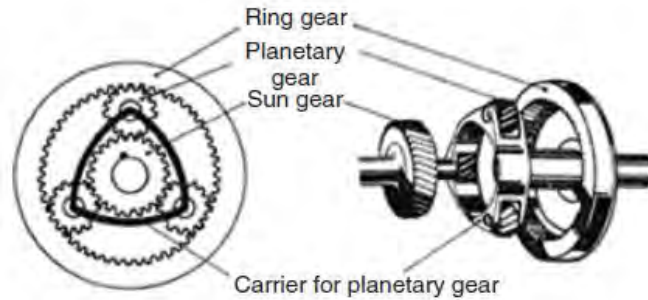


Figura 2.22: Ejemplo de engranajes planetarios

Fuente: Extraído de Crolla, 2015

2.4.2 Tesis A: “Analysis and Design of a Gear Shifting Mechanism for Transmission Based Actuators” (Bhargava, 2003)

La tesis presentada desarrolla el diseño de una transmisión basada en actuadores (TBA) la cual consiste de un sistema compuesto por 3 etapas de engranajes planetarios (DVT). La TBA realiza el cambio de grandes cantidades de torque por su equivalencia en velocidad (Figura 2.23).

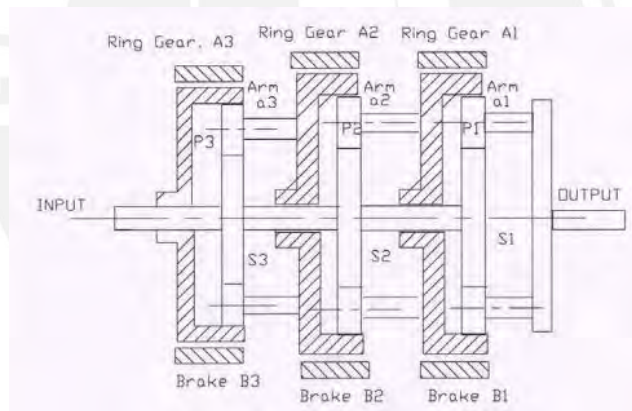


Figura 2.23: Configuración de Sistema planetario

Fuente: Tesis Bhargava, 2003

2.4.3 Tesis B: “Diseño del sistema de Transmisión de un Kart con motor de 4 tiempos” (Ruiz, 2017)

La tesis abarca el diseño de un variador de velocidad para cualquier kart (Figura 2.24), el motor de este debe de ser de menos de 15 caballos de fuerza. El objetivo de esta tesis es proporcionar mayor aceleración y velocidad a los vehículos que se encuentran fuera de la línea de competición y que requieran de un menor mantenimiento.

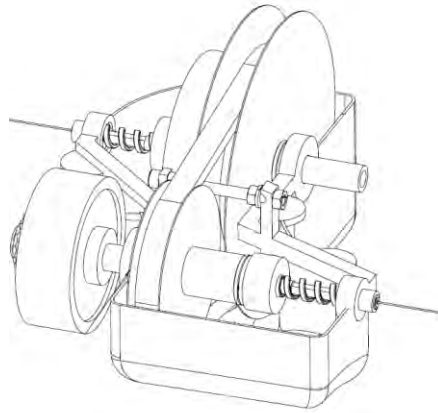


Figura 2.24: Sistema de variación de velocidad

Fuente: Tesis Ruiz, 2017

2.4.4 Artículo B: “Relación de transmisión en el Kart: piñón y corona” (Zenit, 2017)

La empresa Zenit publicó el siguiente artículo referente a la transmisión usada actualmente en los karts (Figura 2.25). Esta transmisión cuenta con un par de engranajes dispuestos a cierta relación de transmisión y que se encuentran unidos con una cadena.

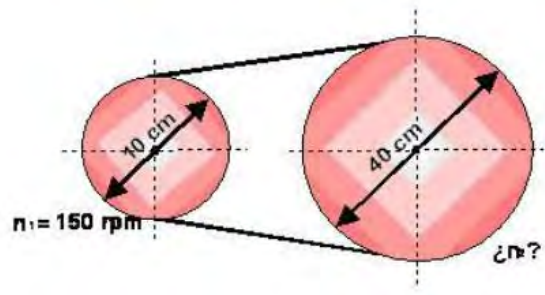


Figura 2.25: Relación de transmisión

Fuente: Zenit

2.4.5 Tabla resumen de los subsistemas de transmisión

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.5

Tabla 2.5: Resumen de los subsistemas de transmisión

	Tesis A	Tesis B	Artículo B
Tipo de transmisión	Automática	Automática	Simple
Tipo de unión	Engranajes	Fajas	Cadenas

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Subsistema de aceleración

A continuación, se documenta la información obtenida referente al sistema de aceleración del vehículo. Adicionalmente, al ser un vehículo impulsado por un motor eléctrico no necesita de una válvula de ingreso de aire por lo que el sistema de aceleración quedaría reducido al pedal (actuador).

2.5.1 Producto A: “Premium Foot Pedal Throttle” (Electric Scooter Parts)

Este es un pedal eléctrico (Figura 2.26) de gran tamaño que posee grandes dimensiones y una rápida respuesta al momento de interactuar con el mismo. Se puede atornillar a una superficie plana y es a prueba de polvo y agua.



Figura 2.26: Pedal eléctrico de aceleración

Fuente: Electric Scooter Parts

2.5.2 Producto B: “Accelerator-pedal module” (Bosch)

La empresa Bosch ofrece un producto con características de mayor duración y de menor peso (Figura 2.27). El módulo de pedal acelerador (APM) consiste del pedal y del sensor que será capaz de verificar la posición angular. Este sensor puede ser un potenciómetro, así como un sensor de efecto hall y la señal de salida puede ser tanto digital como analógica.



Figura 2.27: Acelerador de Bosch

Fuente: Bosch

2.5.3 Producto C: “Accelerator Pedal Sensor” (Hella)

El informe abarca el funcionamiento de los sensores colocados en los pedales de los vehículos para la correcta medición de su posición angular (Figura 2.28). En el desarrollo del informe se refieren a los sensores basados en el principio inductivo, compuestos por un rotor y estator, como los más comunes en la actualidad y explica la forma en cómo trabajan.

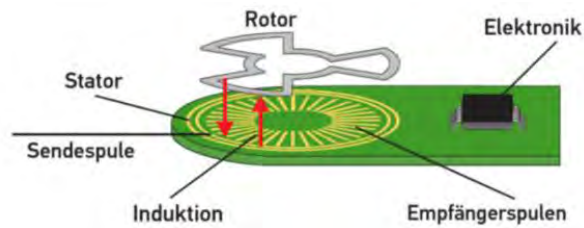


Figura 2.28: Sistema Rotor - Estator

Fuente: Hella

2.5.4 Artículo C: “Go Kart Throttle Cable: Parts Kit & Setup” (Kart Fab)

El artículo mencionado explica el procedimiento a realizar para la instalación del sistema comúnmente usado en el dominio de los karts (Figura 2.29). Este sistema comprende de un cable conectado por un lado a la válvula de aire del motor y por el otro, al pedal de aceleración. Se usa también un resorte para regresar al pedal a su posición original.



Figura 2.29: Sistema de aceleración de un kart

Fuente: Kart Fab

2.5.5 Artículo D: “Installation of the Position Sensors” (Alfano)

El presente artículo abarca la inclusión de sensores de posición en el sistema de aceleración que se usa comúnmente (Figura 2.30). Esto refleja una automatización sobre el proceso de aceleración, de tal manera que se eliminan los cables de metal. Los sensores propuestos son: Sensor de efecto hall A2405 y sensor potenciómetro A2401.



Figura 2.30: Sensores de posición y su ubicación

Fuente: Alfano

2.5.6 Tabla resumen de los subsistemas de aceleración

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Resumen de los subsistemas de aceleración

	Producto A	Producto B	Producto C	Artículo C	Artículo D
Tipo	Módulo	Módulo	Sensor	Mecanismo	Sensor
Tipo de pedal	Electrónico	Electrónico	Electrónico	Mecánico	Mecánico - Electrónico
Tipo de sensado	Rotatorio	Rotatorio	Rotatorio	-	Distancia

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Subsistema de frenado

A continuación, se documenta todo lo investigado con los sistemas de frenado relacionados con el karting. Adicionalmente, es de importancia destacar que el frenado no es muy usual en este rubro.

2.6.1 Artículo E: “Como hacer un buen Mantenimiento y Purgado del Sistema de frenos en un kart” (DMK Racing)

El artículo publicado por la empresa DMK Racing abarca las técnicas a realizar para dar un correcto mantenimiento al sistema de frenado de un kart. Hay un apartado que describen los elementos que posee el sistema de frenado, que son: Discos de freno, portadisco, pastillas de freno, pinzas, bomba hidráulica, cables, tornillos con muelles y placas separadoras (Figura 2.31).



Figura 2.31: Sistema de frenado de un kart

Fuente: DMK Racing

2.6.2 Publicación B: “Development of Brake System and Regenerative Braking Cooperative Control Algorithm for Automatic-Transmission-Based Hybrid Electric Vehicles” (Ko, 2015)

La publicación desarrolla un sistema de frenado para un vehículo híbrido impulsado por un motor eléctrico con transmisión automática (Figura 2.32). Se propone el uso de un sistema de frenado hidráulico para el eje delantero y un sistema de frenado regenerativo en el eje posterior.

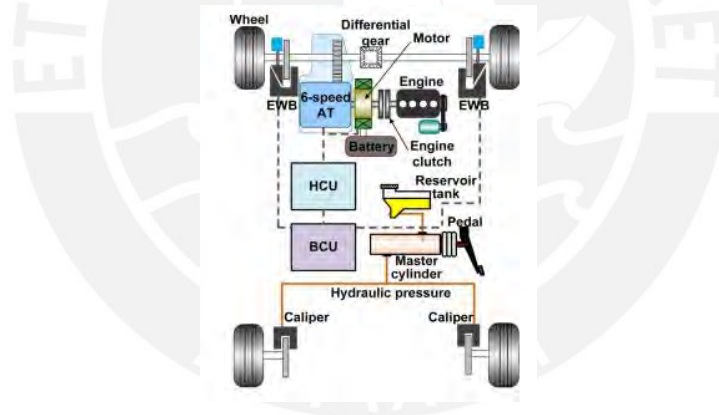


Figura 2.32: Estructura del Sistema de frenado

Fuente: Publicación Ko, 2005

2.6.3 Producto E: Ralentizador electromagnético (Telma)

La empresa Telma presenta un dispositivo de frenado en base a la generación de corrientes de Foucault (Figura 2.33). Está compuesto por un rotor de material conductor que puede ser acoplado a un árbol de transmisión y por un grupo de electroimanes que forman el estator. El frenado se da cuando el estator genera un campo magnético que produce una corriente de Foucault en el rotor y detiene su movimiento.



Figura 2.33: Ralentizador electromagnético

Fuente: Telma

2.6.4 Tabla resumen de los subsistemas de frenado

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Resumen de los subsistemas de frenado

	Artículo E	Publicación B	Producto E
Tipo de frenado	Disco	Disco	Electromagnético
Mecanismo de freno	Mecánico	Eléctrico	Eléctrico
Ubicación	Eje delantero	Eje delantero	Eje del motor

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Subsistema de energía

A continuación, se documenta todo lo investigado con los sistemas de energía relacionados con los vehículos eléctricos.

2.7.1 Libro: “Electric Vehicle Technology Explained” (Larminie, 2003)

El presente libro (Figura 2.34) explica todos los temas relacionados con el diseño de baterías (de diferentes materiales), los tipos de baterías que se pueden encontrar y el uso que se les da a cada una, y también explica a detalle cuales son los pasos a seguir para el cálculo y la simulación de las baterías.

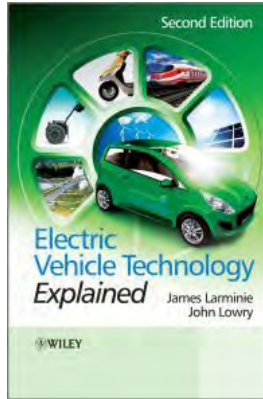


Figura 2.34: Portada del libro

Fuente: ProQuest, Ebook Central.

2.7.2 Publicación C: “A Single Battery Bank, Three-Phase Cascaded Multilevel Inverter with the Least Number of Conducting Switches” (Syukri, 2018)

La publicación propone una solución a la problemática que trae el uso de inversores tipo cascada de puente H (Figura 2.35). Se diseña un sistema a base de 3 interruptores conductores para el funcionamiento del banco de baterías. El motor a energizar es un motor de 3 fases.

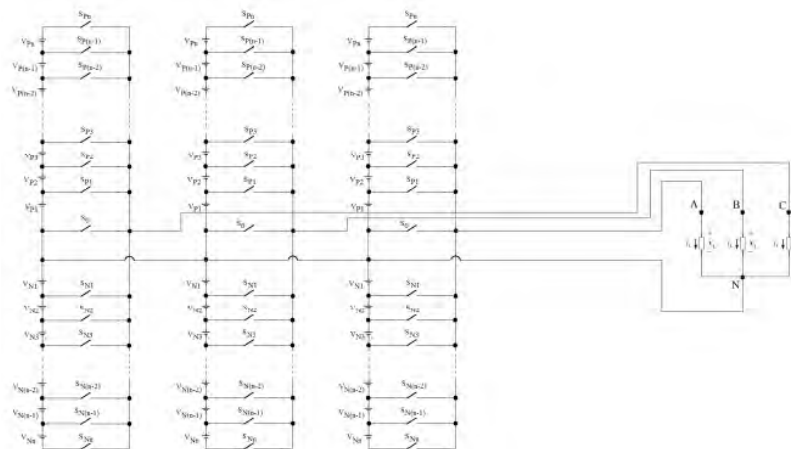


Figura 2.35: Topología propuesta

Fuente: IEEE

2.7.3 Producto F: LG CHEM Lithium Ion Battery (LG CHEM)

La empresa LG Chem presenta una batería de litio que posee 2.6 Kw de capacidad (Figura 2.36). Está dirigida al rubro automotriz y se encuentra presente en diferentes modelos que cuentan con versiones híbridas. Tiene un peso de aproximadamente 12.7 kg.



Figura 2.36: LG Chem Lithium Ion Battery

Fuente: LG Chem

2.7.4 Producto H: “Powerwall” (Tesla)

La empresa Tesla ha desarrollado una batería de 13.5 KWh que se carga a base de energía solar (Figura 2.38). Sin embargo, estas no están aplicadas al sector automovilístico, por lo que poseen grandes dimensiones en cuanto a tamaño y peso.



Figura 2.37: Powerwall

Fuente: Tesla

2.7.5 Artículo F: “Graphene batteries: Introduction and Market News” (Graphene-Info)

Actualmente se encuentra en investigación el uso del grafeno para la fabricación de baterías. Este material hace que la eficiencia de la batería aumente y que el tamaño disminuya. En el presente artículo se describe su funcionamiento y el conocimiento actual que se posee sobre su desarrollo, en el cual desde el 2014 Tesla posiblemente se encuentre en un proceso de investigación.

2.7.6 Tabla resumen de los subsistemas de energía

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Resumen de los subsistemas de energía

	Producto F	Producto H	Artículo F
Material	Litio	-	Grafeno
Peso/Energía	250 - 340	-	500
Rendimiento	2.6 kWh	135. kWh	-
Costo	Medio	Alto	-

Fuente: Elaboración propia.

2.8 Subsistema de propulsión

A continuación, se documenta todo lo investigado con los sistemas de propulsión relacionado con los vehículos eléctricos.

2.8.1 Motores Asíncrono o de Inducción

Motores en el cual la velocidad de giro del rotor es diferente a la velocidad del campo magnético que ocasiona el estator. Posee alta eficiencia, bajo ruido y coste, pero se puede sobrecargar y su par de arranque es bajo.

2.8.2 Motores Síncronos o de Imanes permanentes

Tanto el campo magnético como el rotor poseen velocidades igual. Destacan por su bajo ruido y su excelente control de velocidad. Su alto costo hace que su accesibilidad sea limitada.

2.8.3 Motores Brushless

Cuentan con imanes que alimentados secuencialmente dependiendo de la fase del estator. El precio elevado lo compensan con la robustez y la ausencia de mantenimiento.

2.8.4 Motores In-Wheel

Las grandes empresas como Michelin y Mitsubishi han desarrollado motores eléctricos integrados en las ruedas del vehículo. Al tener esta nueva configuración se elimina la transmisión, lo que aumenta el rendimiento del vehículo en gran escala. Poseen bajo ruido, vibración y una gran facilidad para controlar la velocidad. Lamentablemente, poseen un coste muy alto a diferencia de los demás. Su configuración le da una mayor versatilidad al diseño.

2.8.5 Tabla resumen de los subsistemas de propulsión

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Resumen de los subsistemas de propulsión

	Asíncronos	Síncronos	Brushless	In-Wheel
Tipo de corriente	AC	AC	DC	AC
Ubicación	No específico	No específico	No específico	Rueda
Par de arranque	Bajo	Alto	Alto	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

2.9 Subsistema de control

A continuación, se documenta todo lo investigado con los sistemas de control utilizados para los vehículos eléctricos.

2.9.1 Publicación B: “Development of Brake System and Regenerative Braking Cooperative Control Algorithm for Automatic-Transmission-Based Hybrid Electric Vehicles” (Ko, 2015)

La publicación desarrolla un sistema de frenado para un vehículo híbrido impulsado por un motor eléctrico con transmisión automática (Figura 2.39). Además de plantear el sistema, plantea también un sistema de control para el mismo. Este algoritmo de control puede incrementar la energía generada y se ha modelado todo el sistema de tal manera que el sistema de frenado frontal complementa el funcionamiento del sistema de frenado posterior.

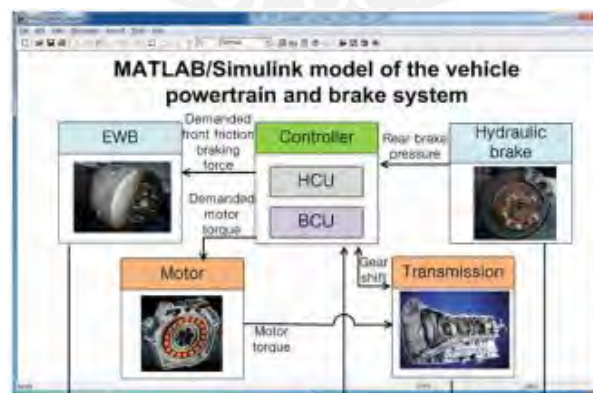


Figura 2.38: Sistema de control planteado para el sistema de frenado

Fuente: Publicación Ko, 2015

2.9.2 Publicación C: “The design and implementation of an electric go-kart for education in motor control” (Cardoso, 2006)

La publicación desarrolla el diseño de un kart eléctrico como un sistema educativo para facilitar el aprendizaje del control sobre un motor (Figura 2.40). El motor usado posee la estructura “jaula de ardilla” con 3 fases y se presenta la distribución de los elementos necesarios para el control en un diagrama de bloques.

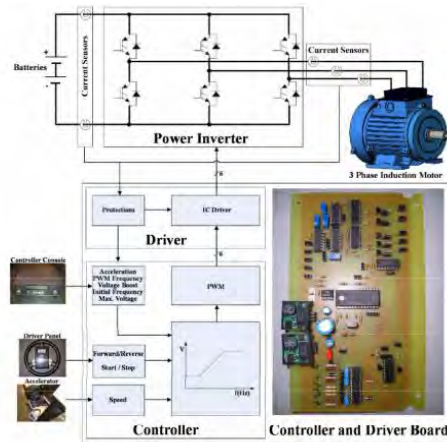


Fig. 2. Block diagram of the electric go-kart propulsion system.

Figura 2.39: Diagrama de bloques de la propulsión del kart

Fuente: Publicación Cardoso, 2006

2.9.3 Publicación D: “Power Supply Management for an Electric Vehicle Using Fuzzy Logic” (Pérez, 2018)

La siguiente publicación propone el uso de control por lógica fuzzy para prolongar la duración de la batería (Figura 2.41). Se presenta un sistema que posee tres entradas y una salida llamada “Corrected Speed” la cual irá variando dependiendo de la inclinación de la pista, el porcentaje de batería y la velocidad actual.

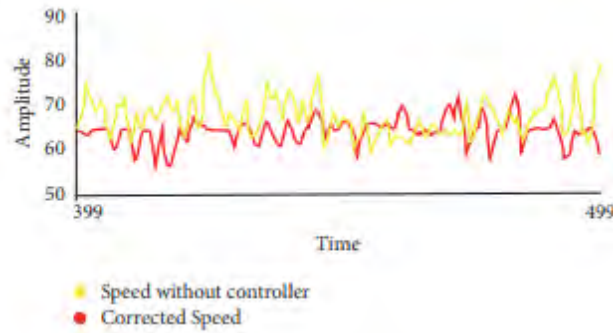


Figura 2.40: Comparación de las velocidades del sistema

Fuente: EBSCO

2.9.4 Publicación E: “Electronic Control System Design and Test of Pure Electric Vehicle Battery Management System” (Wang, 2011)

La publicación abarca el desarrollo de un sistema de control para un vehículo eléctrico basado en el microcontrolador C8051F040 que puede reunir los parámetros relacionados con el voltaje, corriente y temperatura en tiempo real (Figura 2.42). De esta manera destina de manera eficaz, la corriente a los diferentes dispositivos del vehículo.

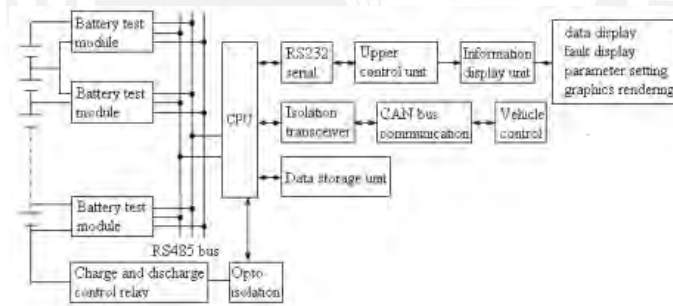


Figura 2.41: Estructura de control

Fuente: IEEE

2.10 Subsistema de recopilación de datos

A continuación, se documenta todo lo investigado con los sistemas de telemetría utilizados para los vehículos eléctricos.

2.10.1 Producto J: “BRAIN” (BRAIN)

La empresa BRacing propone equipo dedicado al sector automotriz con batería propia (Figura 2.43). Este equipo posee una gran variedad de sensores en comparación a su competencia y trabaja

con un procesador Intel. Tiene también la posibilidad de conexión a internet y una aplicación para visualizar los datos en el celular.



Figura 2.42: BRAIN

Fuente: BRacing

2.10.2 Producto K: “I-Laps” (i-Laps)

I-Laps es una aplicación de celular que aprovecha los componentes del mismo para brindar información referente a velocidad y posición (Figura 2.44). Al ser un celular, facilita también el envío y recepción de datos. Sin embargo, se centra en toda actividad relacionada con la velocidad, por lo que no cuenta con sensores específicos.



Figura 2.43: I-Laps en funcionamiento

Fuente: I-Laps

2.10.3 Producto L: “Race Cloud” (Race Cloud)

La empresa Race Cloud ofrece un hardware que incluye 3 componentes listos para instalar en el vehículo (Figura 2.45). Está diseñado especialmente para los karts y precisa de una interfaz amigable para el público. Posee GPS, acelerómetro, giroscopio, sensor de temperatura, de presión y de humedad, sensor de velocidad y un display de la información del vehículo.



Figura 2.44: Componentes de Race Cloud

Fuente: Race Cloud

2.10.5 Tabla resumen de los subsistemas de recopilación de datos

A partir de la información encontrada se elaboró la Tabla 2.10.

Tabla 2.10: Resumen de los subsistemas de recopilación de datos

	Producto J	Producto K	Producto L
Duración de batería	1 día	18 horas	-
Protección	IP 65	-	IP 65
Sensado	Distancia, desplazamiento, GPS	Velocidad, tiempos	GPS, Temperatura, humedad, IMU, Velocidad, RPM
Accesorios	App de celular	App de celular	Display, antena y sensores

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

El presente capítulo abarca el diseño conceptual de un kart eléctrico profesional, para esto se va a detallar una lista de requerimientos que va a ayudar a delimitar el diseño, luego se presenta una estructura de funciones, que sirve para poder segmentar los componentes usados por el vehículo, y usando estos componentes segmentados se desarrolla la matriz morfológica, la cual presenta alternativas de solución para cada componente. Finalmente se realiza una evaluación técnica-económica para poder obtener un concepto de solución óptimo.

3.1 Requerimientos del sistema

Como ya se mencionó en el Capítulo 1, la entidad que vela por el buen uso de los vehículos denominados *karts* es la CIKFIA, y es esta misma entidad la que publica el reglamento “*Karting Technical Regulations*” (CIKFIA, 2019) en el que propone ciertas normas a seguir para poder evadir accidentes y para el correcto desarrollo del presente proyecto se ha dividido el vehículo en pequeños subsistemas, los cuales son detallados a continuación acompañados de una breve descripción:

- Subsistema de dirección y transmisión: Abarca la manipulación de la dirección y la transmisión de la potencia del motor al eje trasero.
- Subsistema de chasis y carrocería: Abarca la estructura principal o chasis y los paneles de carrocería.

- Subsistema de aceleración y frenado: Abarca los sistemas usados para manipular la velocidad del vehículo.
- Subsistema de propulsión y energía: Abarca el sistema usado para emitir potencia y provocar movimiento y la energización del mismo.
- Subsistema de control: Abarca el sistema usado para manipular correctamente los elementos del vehículo
- Subsistema de recopilación de datos: Abarca el sistema usado para poder obtener datos sobre la marcha del vehículo.
- Subsistema global: Abarca los requerimientos que aplican a todos los subsistemas.

En el anexo L se describen los requerimientos técnicos para cada uno de los subsistemas presentados anteriormente basados en el reglamento propuesto por la CIKFIA.

3.2 Estructura de funciones

Después de haber definido los requerimientos necesarios para delimitar el diseño del presente proyecto, es posible pasar a la siguiente etapa de diseño establecida por la norma VDI2206, en la cual se define la interacción que posee cada componente que forma parte de este sistema. Para el detalle, revisar el Anexo M.

3.3 Matriz morfológica

El Anexo C presenta la matriz morfológica, la cual posee 3 conceptos de solución agrupando las funciones en 6 grupos: Mecánica, Energía, Actuadores, Sensado, Control e Interfaz. Y seguidamente el Anexo D presenta una descripción detallada de los conceptos de solución propuestos en la matriz morfológica.

3.4 Evaluación técnica - económica

En el Anexo N se presenta el detalle de la evaluación técnica económica, siendo el concepto de solución 3 el de mayor desempeño a partir de la evaluación realizada. Con estos datos recolectados se procede a definir el concepto de solución óptimo, para esto se van a tomar las características más destacables de cada uno de los conceptos de solución planteados.

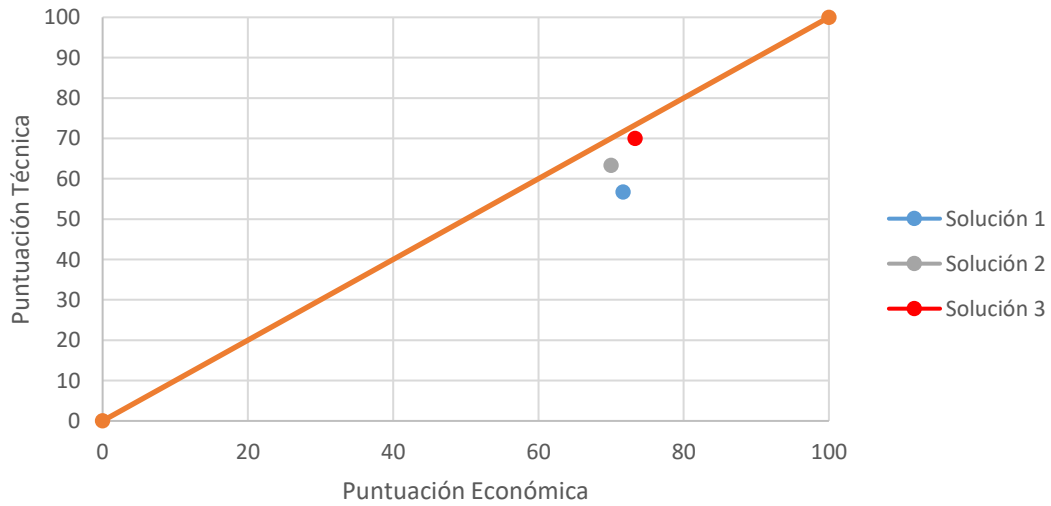


Figura 3.1: Puntuación técnica vs económica

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Descripción del concepto de solución óptimo

El Anexo O presenta la descripción del concepto de solución óptimo planteando la inclusión de los elementos más destacables de cada uno de los 3 conceptos planteados.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DISEÑO DEL CHASIS

El presente capítulo abarca las características generales del vehículo y el diseño del chasis. Con respecto al primer acápite, se mencionará todas las características que engloban a todos los subsistemas: el diagrama de operaciones y la arquitectura de hardware; así como los subsistemas que cuentan con poca información debido a que son modificaciones de componentes comerciales, un claro ejemplo es el subsistema de dirección. Adicionalmente, se realizará un diseño en 3D del vehículo a implementar y se elaborarán los diagramas de flujo relacionados con el funcionamiento del control de baterías. El diseño del chasis abarcará un nuevo modelo de estructura que cumpla con la funcionabilidad de los chasis comúnmente usados y facilite la inclusión de las baterías.

4.1 Diseño integral

A continuación, se presentará la información referente a las características generales del sistema iniciando por el diseño eléctrico, donde se determinará el controlador, la pantalla y se propondrá la arquitectura de conexiones. Luego se presenta el diseño mecánico que abarca la selección de materiales, de neumáticos, la dirección y la distribución de pesos. Finalmente, el acápite de diseño de control presenta la estrategia de control y la lógica de control. La Figura 4.1 presenta el modelo final del vehículo.

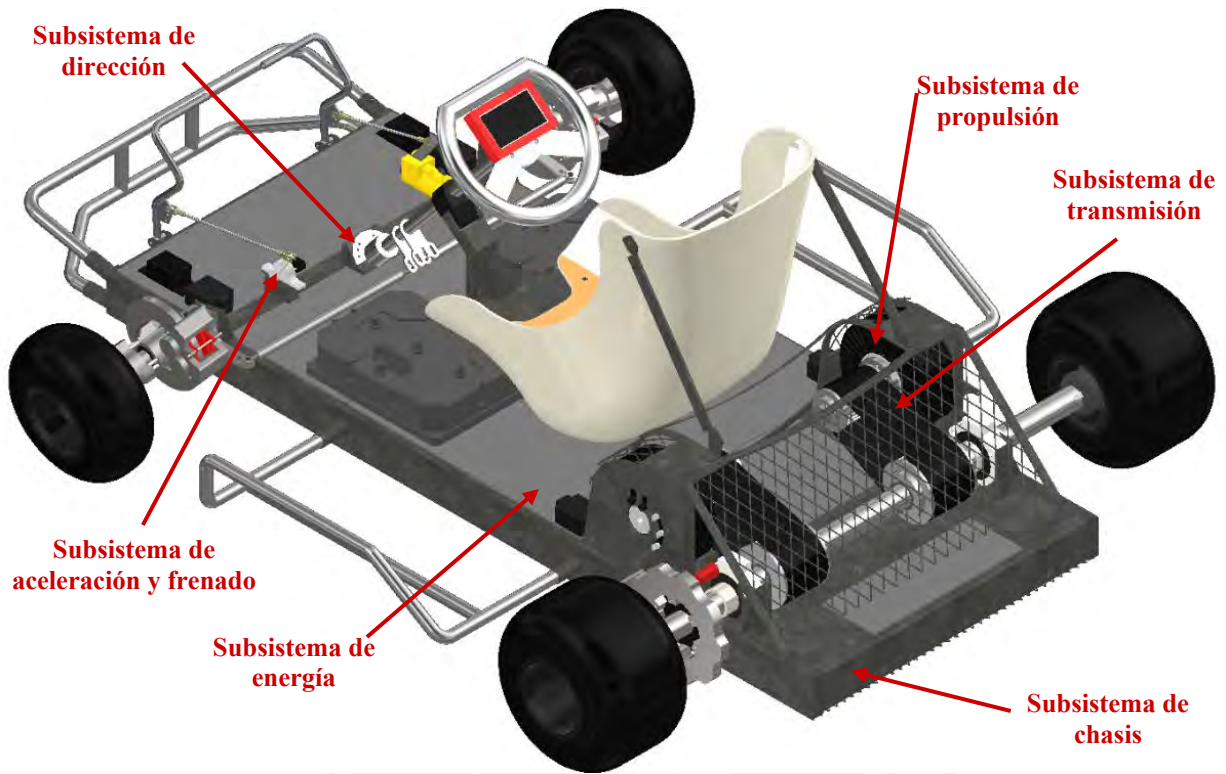


Figura 4.1: Modelo 3D final del vehículo.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de operaciones

En la Figura 4.2 se presenta un diagrama que indica los procesos que el piloto tiene que seguir para poder energizar el vehículo, operarlo y apagarlo. Nótese la importancia de hacer uso de los equipos de protección por temas de seguridad, además de que el porcentaje restante de la batería define la cantidad de iteraciones a realizar.

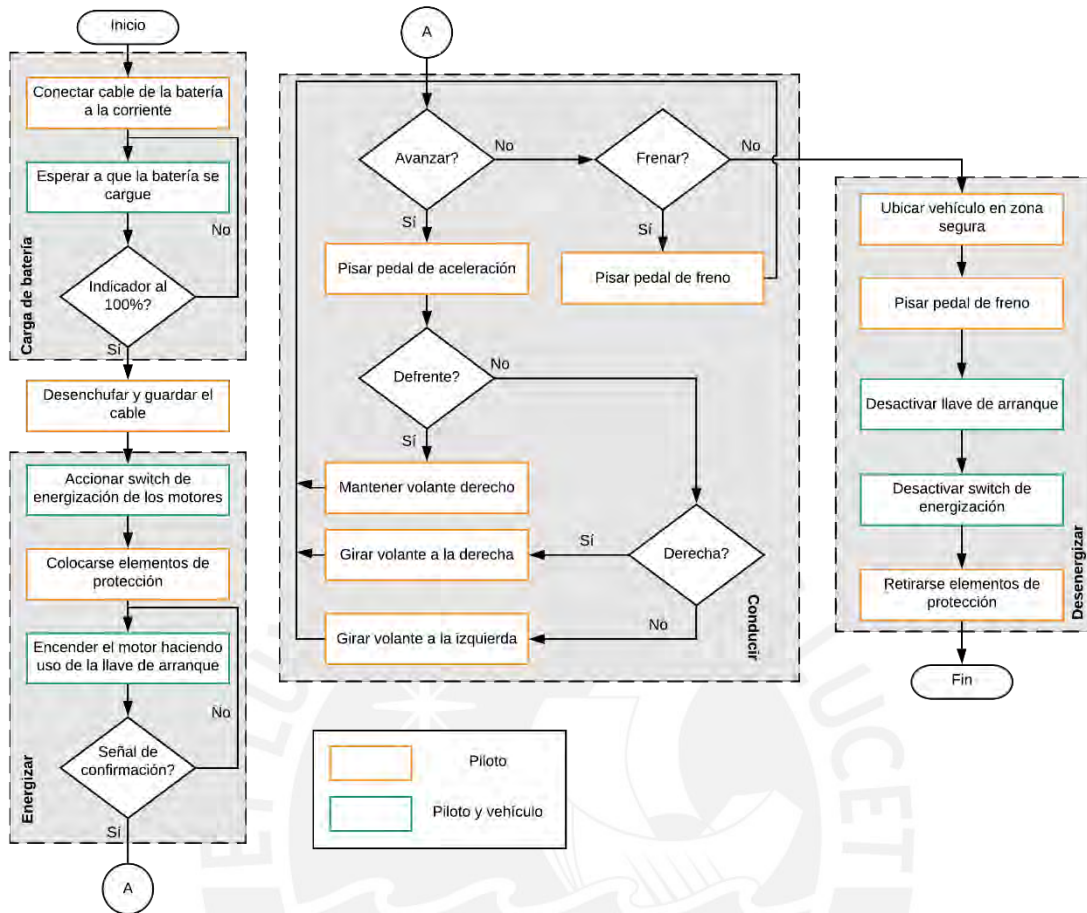


Figura 4.2: Diagrama de operación

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Diseño eléctrico

A continuación, se detallará la información relacionada a la arquitectura de hardware, la selección del controlador e interfaz, y la definición del sistema de arranque del vehículo.

Arquitectura de hardware

El sistema contará con 4 fuentes de alimentación como se observa en la Figura 4.3, un banco de baterías para el primer motor, otro banco para el segundo motor, un tercer banco para energizar el módulo de manejo de baterías (BMS) y un último banco para energizar el resto del sistema. Se utilizará un interruptor para poner en marcha cada banco de baterías; para el caso del motor, se tendrá un segundo elemento de seguridad de tal manera que se energizará seguido de colocar la llave de encendido en posición ON. Cada fuente de alimentación contará con un sistema de manejo

de baterías (BMS) y se propone una comunicación CAN con los drivers de los motores con el uso de un transceptor.

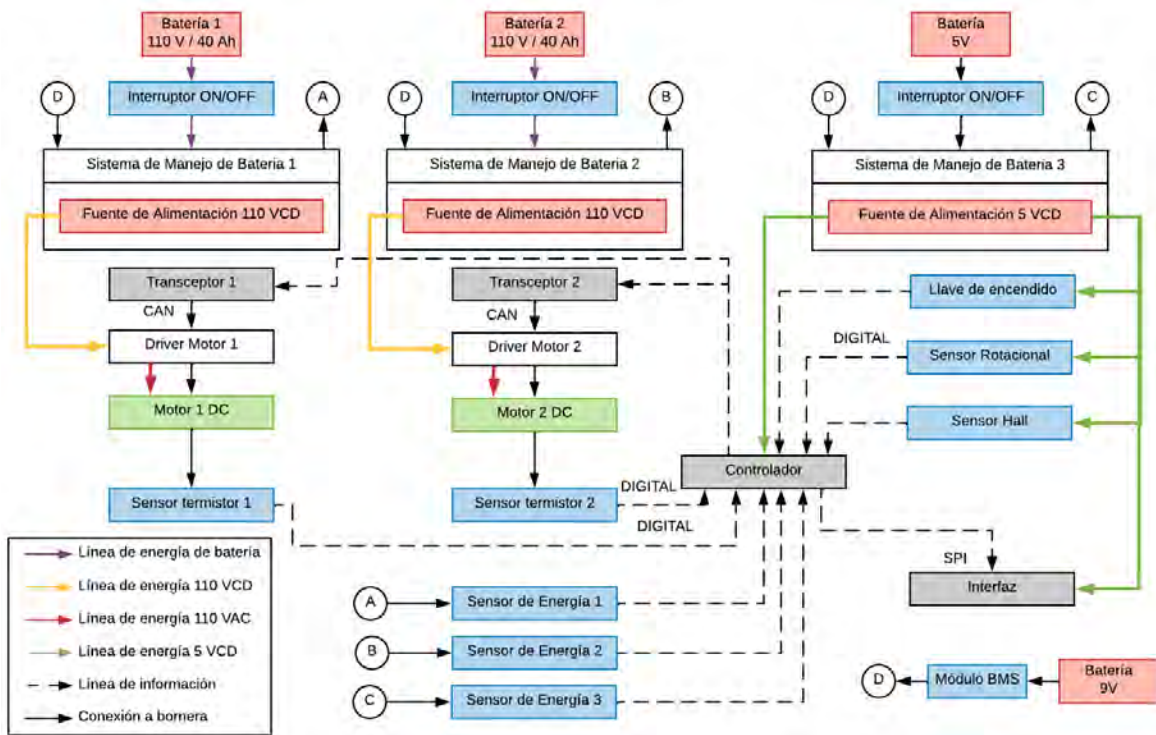


Figura 4.3: Arquitectura de Hardware

Fuente: Elaboración propia.

Las señales a controlar serán la de la interfaz y la de energización del motor, este último contará con un driver alimentado por 110 V y el motor, por 110V. Las señales a recibir serán las provenientes por los sensores localizados en los motores (termistores), pedales (sensor rotacional), eje trasero (sensor de efecto Hall), caja eléctrica (llave de encendido) y baterías (sensor BMS). En cuanto a su energización los sensores de rotación, el de energía y el de temperatura usarán 5V y finalmente el de velocidad o sensor de efecto Hall usará 12 V.

Selección de controlador principal

El controlador principal se encargará de recibir la información medida a través de los sensores y estará a cargo del control de velocidad de los motores, para la obtención de la cantidad de pines necesaria se ha elaborado la Tabla 4.1 con una lista detallada de pines por componente, estos componentes ya fueron seleccionados en los capítulos siguientes y en base a sus características se añadió del detalle del tipo de señal.



Tabla 4.1: Cantidad de pines

Componente	# Pines	Tipo
Sensor de velocidad	1	Digital
1 potenciómetro	1	Analógico
Pantalla	9	Digital
1 transceptor	3	Digital
1 transceptor	3	Analógico
2 termistores	2	Analógico
BMS	2	Digital
2 Switchs	2	Analógico

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se requiere de un controlador con un mínimo de 23 pines y que cuente con la compatibilidad del protocolo de comunicación tipo CAN. La Tabla 4.2 presenta la información encontrada con respecto a los microcontroladores encontrados.

Tabla 4.2: Comparación de microcontroladores

	Requerimientos	Arduino Due	Teensy 3.6
			
Fabricante	-	Arduino	PJRC
Pin Analógico	8	12	25
Pin Digital	15	54	62
Memoria Flash	-	512 KB	1 MB
Protocolo CAN	Si	Si	Si
Precio	-	\$ 41.95	32.25

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta información se selecciona al microcontrolador Teensy 3.6 debido a que posee una buena cantidad de pines, tiene las facilidades para usar el protocolo de comunicación CAN y es el más económico.

Selección de conectores

Para facilitar el cableado de los componentes y mantener un orden en la distribución de cables, se plantea el uso de conectores automotrices. En la Tabla 4.3 se adjuntan las características de los conectores revisados.

Se selecciona el modelo HDP20 debido a que soporta mayores corrientes y por el precio. Se debe considerar que estos conectores se utilizarán para todos los componentes menos: baterías, interruptor de potencia, driver y el motor, estos últimos serán utilizados por cableado directo. Por la cantidad de pines y consumo promedio de 330 mA (Ver Tabla 6.8), se utilizarán dos unidades.

Tabla 4.3: Conectores automotrices



	Requerimientos	DEUTSCH HDP20	1.5/2.8 Connector System
			
Fabricante	-	TE Conectivity	TE Conectivity
Corriente max. (A)	10	7.5	20
# Pines	12	20	20
Precio	-	\$ 14	\$ 15

Fuente: Elaboración propia.

Pantalla: Selección y diseño preliminar

El fabricante del controlador recomienda el uso de una pantalla en específico, sin embargo, se han investigado otras pantallas que tengan la compatibilidad con el Teensy 3.6. En la Tabla 4.4 se describen las características de las pantallas obtenidas como resultado de investigación.

Tabla 4.4: Comparación de pantallas

	Requerimientos	IL19341	Gameduino 3X
			
Fabricante	-	ILITEK	Excamera
Tamaño	> 2.2"	2.2"	4.3" a 7"
Resolución	320 x 240	320 x 240	480 x 272 a 800 x 480
Voltaje de Op. (V)	3.3 a 5 V	3.3	5
Precio	-	\$ 10	\$ 74



Fuente: Elaboración propia.

La pantalla seleccionada será Gameduino 3X dada la compatibilidad con el microcontrolador, la variedad de tamaños que posee y a que puede mostrar con mayor detalle dada su resolución.

Selección de sistema de seguridad de arranque y llave termomagnética

El vehículo contará con una llave de arranque (Tabla 4.5) de dos posiciones para activar o desactivar la energización del controlador principal.



Tabla 4.5: Llave de encendido

	89697-01	82-6657.1134
		
Fabricante	Honeywell	EAO
Voltaje Op. (V)	24	24
Precio	\$ 41.47	\$ 79.45

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, el vehículo poseerá un interruptor de encendido y apagado (*ITM*) (Tabla 4.6) para habilitar la energización de los dos motores.

Tabla 4.6: Comparación entre interruptores de encendido.

	Requerimientos	EZC250N3200	A2C 250 TMF
			
Fabricante	-	Schneider	ABB
Corriente Op. (A)	200	250	250
Voltaje Op. (V)	110	250	240
Tamaño (mm)	-	165x105x60	180x105x60
Precio	-	\$ 170	\$ 136

Fuente: Elaboración propia.

La selección de interruptor de encendido se realiza en base al tamaño, es por esto que el componente a seleccionar será el de la empresa Schneider con las medidas 165 x 105 x 60 mm.

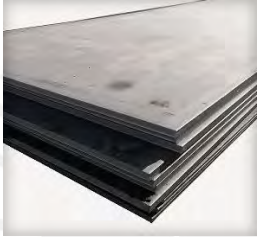


4.1.2 Diseño mecánico

A continuación, se presenta la selección de materiales, subsistema de dirección, neumáticos y también la ubicación y distribución de pesos dentro del vehículo.

Selección de materiales y uniones estructurales

El chasis del vehículo se va a fabricar en base a planchas que serán formadas a partir del proceso de formado, para esto se presenta la lista con los materiales en Tabla 4.7. De esta lista destaca el material NAXTRA 700 QL debido a que es el que posee mayor resistencia a la flexión y a la tracción y cumple con el requerimiento de “acero estructural” establecido por la CIKFA.


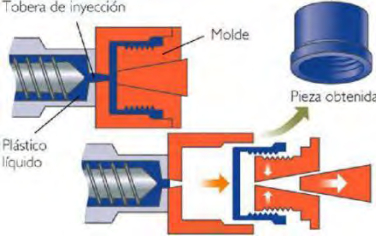

Tabla 4.7: Aceros estructurales

	A36 - LAC	A572 - LAC	NAXTRA 700 QL
			
Fabricante	Aceros Arequipa	Aceros Arequipa	Aceros Arequipa
Espesor mínimo	2.5 mm	3 mm	3 mm
Limite fluencia	250 Mpa	345 Mpa	700 Mpa
Limite tracción	400 Mpa	450 Mpa	770 Mpa

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 4.8 se presentan los materiales posibles para la carrocería. De los cuales destaca la fibra de vidrio debido a su versatilidad y la ventaja en costos que posee frente a los demás.

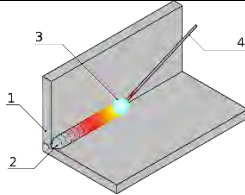

Tabla 4.8: Material de carrocería

	Paños de vidrio	Inyección de plástico	Paños de carbono
			
Fabricante	Motorex	Servicplast Perú S.A.C.	Fibre Glast
Ventajas	Alta resistencia mecánica Tejido bi-direccional	Buen acabado Mayor accesibilidad	Mayor resistencia Alta rigidez
Material	Fibra de vidrio	Poliestireno	Fibra de carbono
Precio	\$50	-	\$650

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la Tabla 4.9 presenta conceptos de uniones entre elementos. Dado que estas son de importancia para el vehículo, se usarán tomando en cuenta si el elemento deberá ser removible o no. Sin embargo, para la estructura del vehículo es de uso exclusivo el proceso de soldadura.

Tabla 4.9: Uniones entre elementos

	Soldadura	Tornillos
		
Fabricante	Independiente	FerriPern S.R.L.
Requerimientos	Preparación de las uniones Materiales compatibles	Agujero realizado con taladro
Herramientas	Máquina de soldar	Llaves Allen
Material	Variable	Acero inoxidable

Fuente: Elaboración propia.

Dirección: Selección y modificación

La empresa CPR Kart Parts ofrece un kit de dirección para estos vehículos que incluye la columna de dirección, soportes varillas y el volante. Los elementos restantes como el eje de dirección y el acople eje-rueda se adquirirán de la empresa Superkart SK dado que poseen elementos que son compatibles.

Después de la selección se procede a ubicar los soportes del eje de dirección que van soldados en el chasis, para esto se consideran los ángulos de inclinación recomendados para la dirección de un vehículo (Figura 4.4), esto tiene como fin un ángulo de caída entre 5 y 10 grados (Figura 4.5).



Figura 4.4: Ángulos de ubicación del soporte del eje de dirección.

Fuente: Elaboración propia.

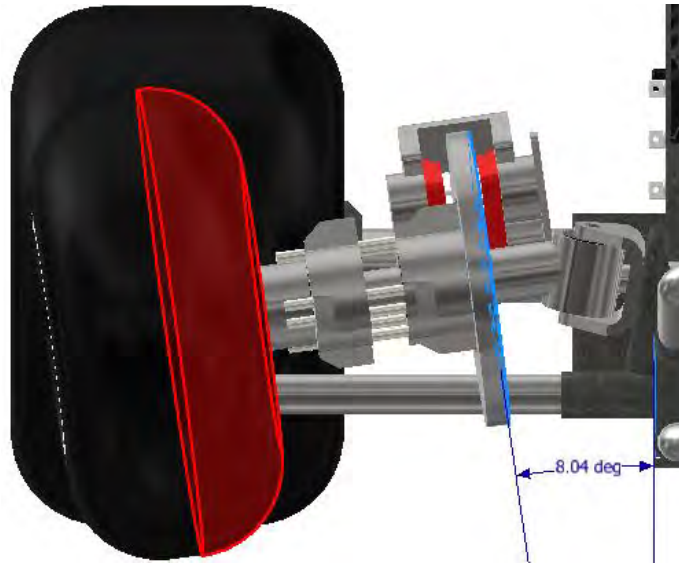


Figura 4.5: Ángulo de caída de los neumáticos del vehículo

Fuente: Elaboración propia.

Selección de neumáticos

La CIKFIA propone medidas normalizadas para los neumáticos, estas son 10 x 4.6 – 5 para el caso de las llantas delanteras y 11 x 7.1 – 5 para el caso de las llantas posteriores. Adicionalmente, los neumáticos deben de poder soportar la velocidad máxima de 100 km/h del vehículo. Con esta información se realizó la búsqueda de opciones tomando en consideración el respaldo de la CIKFIA con su “Homologación 2020 – 2022”. En Figura 4.6 se muestra la distribución de medidas de un neumático de kart.

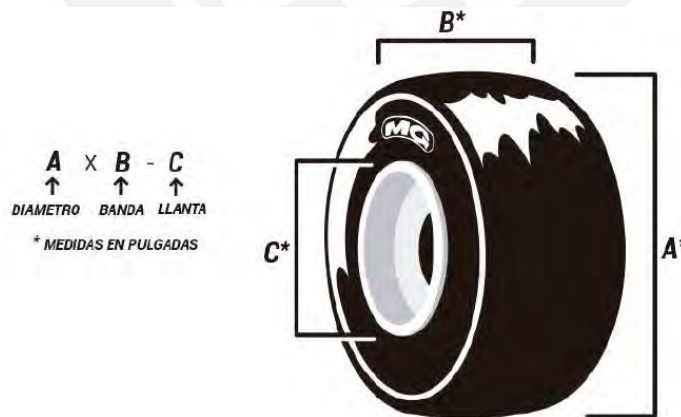



Figura 4.6: Medidas de neumáticos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Tabla comparativa de neumáticos

	Requisitos	SM	XH3
			
Fabricante	-	MG	Vega
Medidas delanteras	10 x 4.6 – 5	10 x 4.6 – 5	10 x 4.6 – 5
Medidas posteriores	11 x 7.1 - 5	11 x 7.1 – 5	11 x 7.1 - 5
Velocidad máxima (km/h)	100	201	180
Peso delantero (kg)	-	-	1.2
Peso posterior (kg)	-	-	1.65
Homologación CIKFIA	2020 – 2022	2020 – 2022	2020 - 2022
Precio (Juego completo) *	-	\$ 171	\$ 200

Fuente: Elaboración propia.

*Conversión monetaria al 2020, en época de pandemia.

La Tabla 4.10 muestra la comparación entre neumáticos. Dada la información obtenida se elige el neumático SM del fabricante MG debido al costo del juego de neumáticos ya que puede soportar mayores velocidades.

Distribución de pesos

La Figura 4.7 representa la distribución de pesos del vehículo contando la estructura, dirección, eje posterior, motores, baterías y otros, con el fin de encontrar el centro de masa del vehículo y validar el equilibrio que este posee. En esta figura se observa el eje de coordenadas ubicado en la parte posterior del vehículo, así como la posición y magnitud de las fuerzas a lo largo del vehículo y sus descripciones. Adicionalmente, para los cálculos a realizar en el presente documento se ha tomado un factor de seguridad de 15% para justificar los pesos adicionales como cables y otros, sobre el peso inicial del vehículo: 205 Kg, teniendo un valor final de 235 Kg.

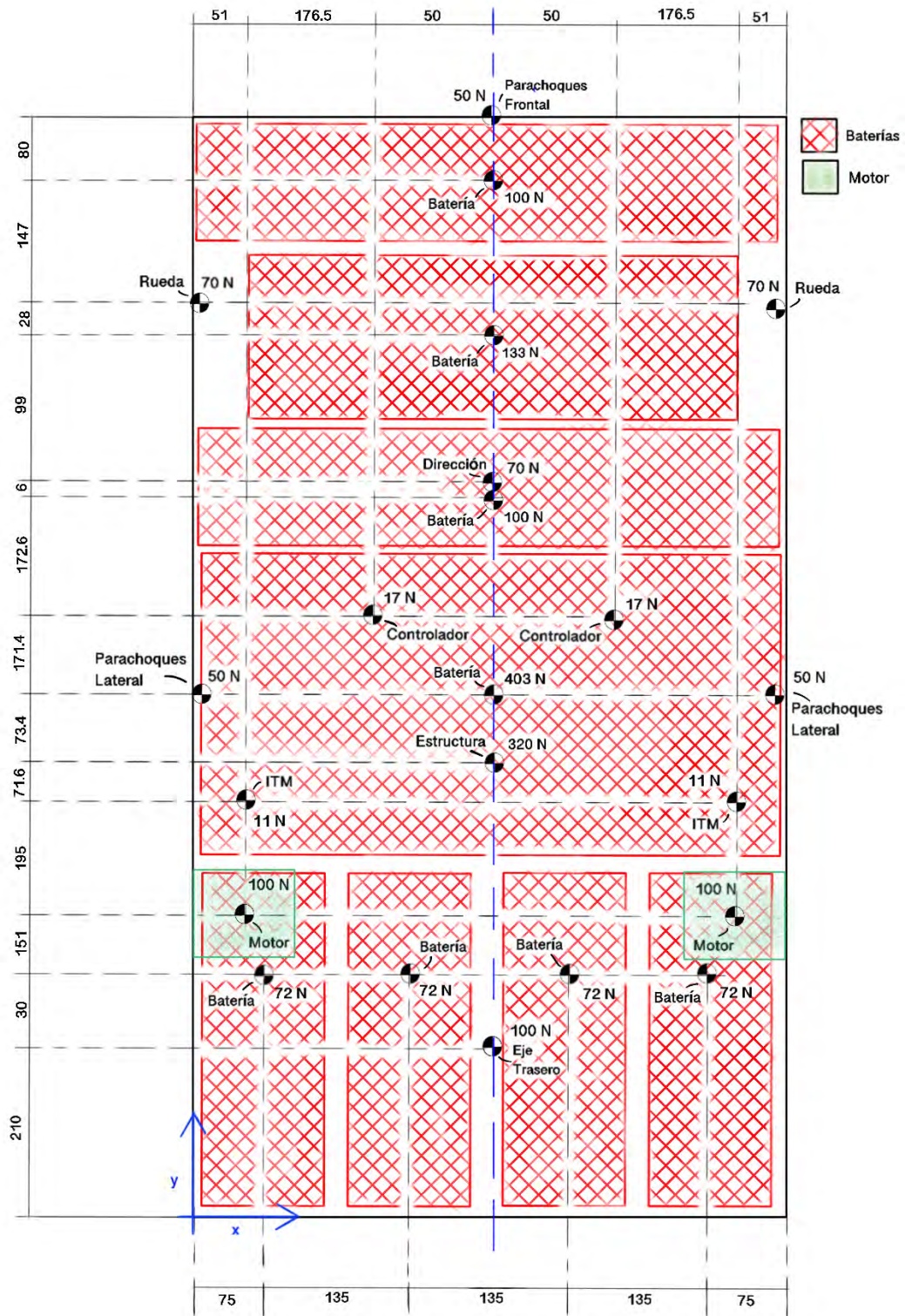


Figura 4.7: Distribución de pesos del vehículo

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información obtenida se realiza el cálculo del centro de masa el cual se observa que se ubica a unos cuantos milímetros del centro geométrico del chasis ($x = 277.5$ mm, $y = 717.5$ mm).

$$\bar{y} = 731, \bar{x} = 277.5$$

Ubicación del asiento

Se presenta en la Figura 4.8 la distribución de las medidas promedio referentes a una persona con una medida de 1.63 m. Estas medidas serán utilizadas para ubicar la posición del asiento y de esta manera poder comenzar con los cálculos referentes a la parte posterior del vehículo. Para facilitar la ubicación se considerará un timón que se pueda retirar según la necesidad, por ejemplo: retirar el timón para facilitar el ingreso al asiento del vehículo.

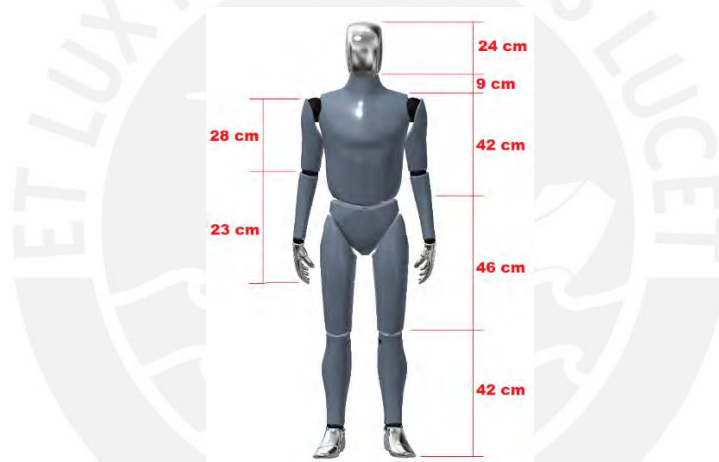


Figura 4.8: Medidas de una persona de 1.63 m

Fuente: Elaboración propia.

Usando estas medidas y el software Autodesk Inventor Professional 2019 se realiza un bosquejo rápido de una persona sentada y se va acomodando el asiento preliminarmente como el la Figura 4.9.



Figura 4.9: Ubicación preliminar del asiento.

Fuente: Elaboración propia.

Con esta ubicación preliminar se procede a el desarrollo del acápite 6.2.2 y se valida la ubicación del asiento dadas las dimensiones del soporte del motor. Para el soporte del asiento se van a utilizar los elementos visualizados en la Figura 4.10.

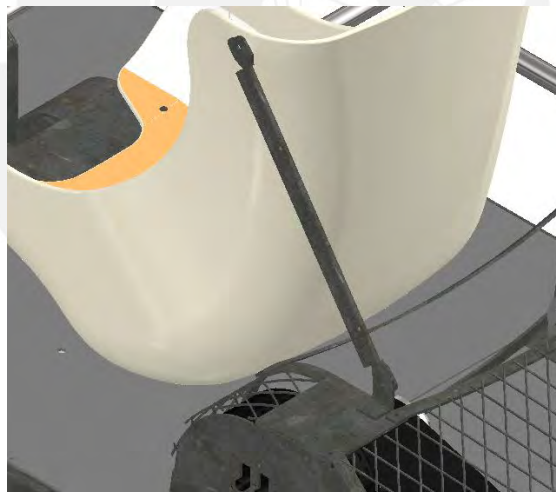


Figura 4.10: Soporte posterior del asiento

Fuente: Elaboración propia.

Panel de interacción: Ubicación y acople

En la Figura 4.11 se presenta la ubicación de la pantalla y el compartimento de la electrónica en la que se visualizará la información requerida por el piloto, esta pantalla se fijará al timón por medio de una carcasa impresa en 3D. Adicionalmente se visualiza la ubicación de los ITMs.

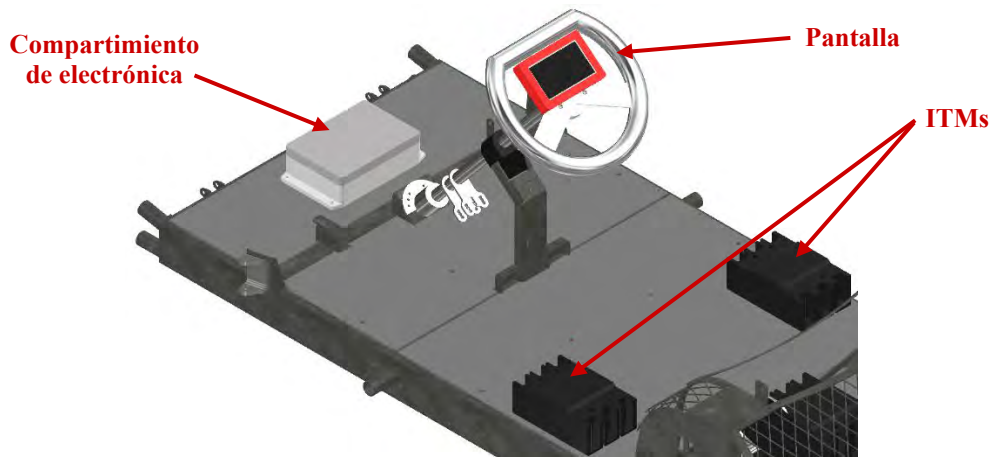


Figura 4.11: Ubicación de la pantalla

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.12 se observa el compartimiento WA-24F vendido por la empresa Polycase planteado para la ubicación del microcontrolador y la llave de arranque, este funcionará también para resguardar los componentes electrónicos y se ubicará delante de la columna de dirección.



Figura 4.12: Compartimiento WA-24F.

Fuente: Polycase.

Selección de paneles aerodinámicos

Los paneles aerodinámicos serán adquiridos de la empresa SuperKart SK (frontales, laterales y posteriores) y sus respectivas sujeciones al chasis del vehículo. En la Figura 4.13 se puede observar los paneles seleccionados y en la Figura 4.14 sus sujeciones, estos no serán modelados tridimensionalmente debido a la falta de medidas.



Figura 4.13: Paneles aerodinámicos

Fuente: SuperKart SK.



Figura 4.14: Sujeciones de paneles

Fuente: SuperKart SK.

4.1.3 Diseño de control

Diagrama de flujo

En el presente acápite se presenta el diagrama de flujo de todo el sistema. En la Figura 4.15 se presenta el diagrama general, mientras que en las figuras siguientes se presenta el detalle de los subprogramas propuestos.

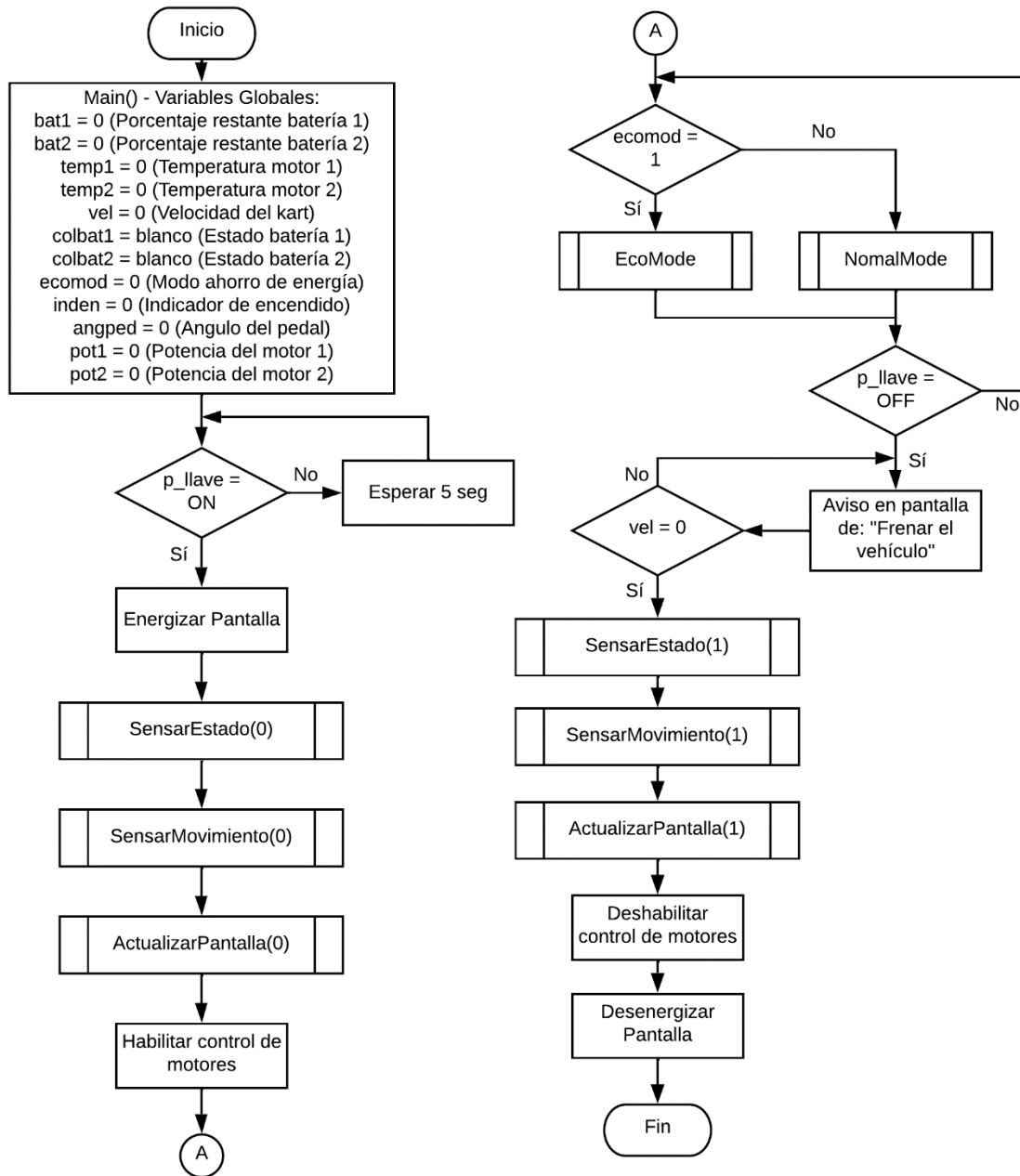


Figura 4.15: Diagrama de flujo general

Fuente: Elaboración propia.

El programa comienza energizando la interfaz de inicio ni bien el piloto coloque la llave de encendido en la posición ON. A partir de esto se ponen en marcha 3 programas que se ejecutarán paralelamente hasta que se de la señal de parada, estos programas son Sensado de Estado, Sensado de Movimiento y Actualización de Pantalla.

A continuación, se habilitará el control de los 2 motores eléctricos y dependiendo del valor del switch relacionado a la variable “ecomod” se activará una de las dos funciones para la manipulación del vehículo: *EcoMode* y *NormalMode*. El primero se enfoca en maximizar la autonomía de las baterías y el segundo le da al piloto la libertad de operar el vehículo.

Finalmente, si el piloto coloca la llave en posición OFF, el sistema le enviará una alerta para que disminuya la velocidad hasta cero para luego desactivar los bucles (o programas) realizados en paralelo, así como deshabilitara el control de los motores y desactivará la pantalla. En la Tabla 4.11 se presentan todas las variables globales que se manejarán dentro del programa.

Tabla 4.11: Tabla de variables globales

Variable	Detalle	Variable	Detalle
Bat1	Porcentaje de batería restante del banco 1	Vel	Velocidad del Kart
Bat2	Porcentaje de batería restante del banco 2	Ecomod	Modo de ahorro de energía
Temp1	Temperatura del motor 1	Inden	Indicador de encendido
Temp2	Temperatura del motor 2	Angped	Angulo del pedal
Colbat1	Estado del banco de baterías 1 (color)	Pot1	Potencia del motor 1
Colbat2	Estado del banco de baterías 2 (color)	Pot2	Potencia del motor 2

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.16 se da el detalle de los bucles de sensado que trabajarán en paralelo. En el caso de la función *SensarEstado*, esta monitoreará constantemente el porcentaje de la batería 1 y 2, y la temperatura del motor 1 y 2; para la función *SensarMovimiento*, se programará para sensar la velocidad del vehículo y el ángulo del pedal de aceleración.

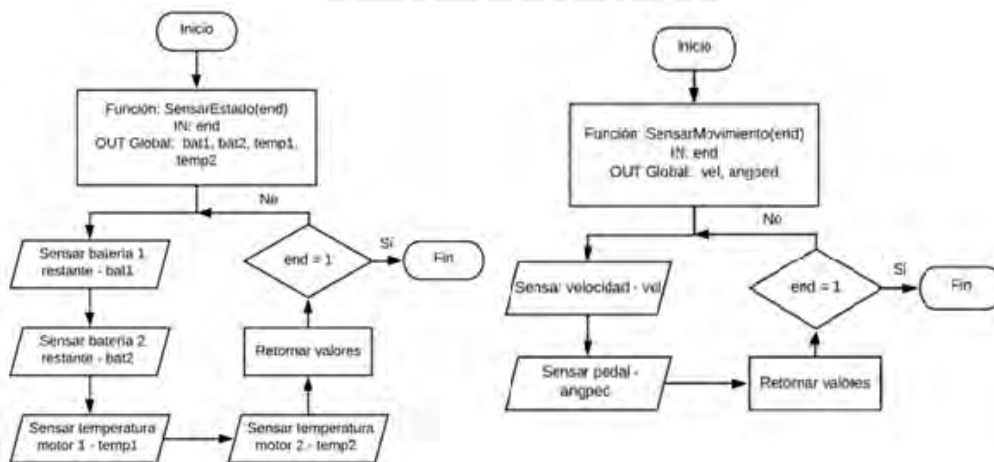


Figura 4.16: Diagrama de Sensar Estado y Sensar Movimiento

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la función ActualizarPantalla (Figura 4.17), esta se encargará de mostrar los detalles de del vehículo como porcentaje de baterías, temperatura de los motores, velocidad del vehículo e indicador de encendido. Dependiendo de los valores de las variables colbat, la función asignará un color al estado de las baterías según el porcentaje de estas. Finalmente mostrará cuando la opción Eco se encuentre activada.

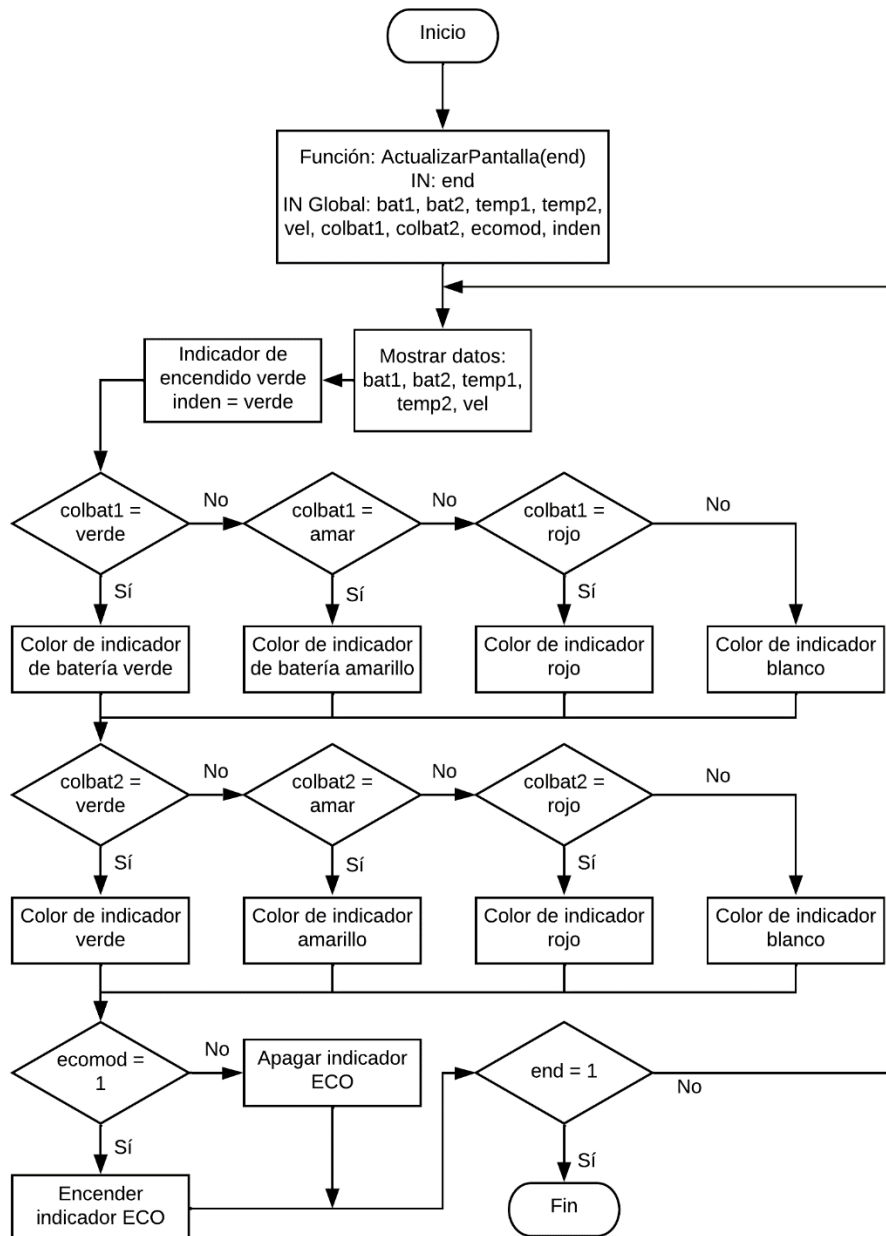


Figura 4.17: Diagrama de flujo Actualizar Pantalla

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de presentar diferentes tipos de rendimientos se van a evaluar a través de pruebas físicas diferentes valores de potencias, que serán denominadas:

- Potencia máxima: Valor referente a la potencia máxima que puede soportar el motor sin sobrecalentar el motor con rapidez y sin afectar la transmisión del vehículo.
- Potencia promedio: Valor referente a la potencia según la curva de rendimiento del motor.
- Potencia mínima: Valor referente a la potencia necesaria para lograr una aceleración de los karts promedio (a criterio del programador) maximizando la eficiencia de las baterías.

La Figura 4.18 presenta la función Normal, la cual responderá al ángulo del pedal de aceleración, para esto evaluará constantemente la temperatura de los dos motores y dependiendo de estas proporcionará al motor con la potencia máxima. Sin embargo, si uno de los motores supera la temperatura máxima (definida por pruebas y *datasheet* del motor), la potencia de estos se limitará al promedio hasta que los motores se enfríen. Tanto para la función normal como para la Eco, se utilizará la regla 3 simple para determinar la relación entre las velocidades y el ángulo del pedal.

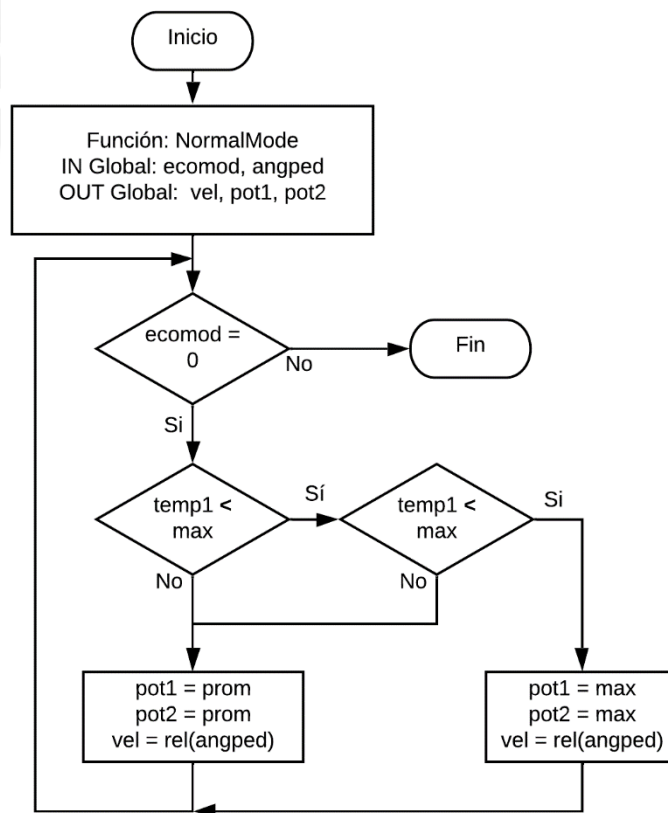


Figura 4.18: Diagrama de flujo de NormalMode

Fuente: Elaboración propia.

La función EcoMode se presenta en la Figura 4.19, esta comprende la designación de los colores a la variable “colbat1” y “colbat2” con el uso de la función IndBateria. Luego de esto se calcula la diferencia entre el ángulo actual y el ángulo de los 3 segundos anteriores, y evaluando el porcentaje restante de las baterías se utiliza esta resta para activar una de las cuatro funciones: Ang40, Ang25, Ang5 y VelMin. Finalmente, se actualizan las variables y se retornan los valores de las potencias de los motores para su uso.

Cabe destacar que esta función se concluirá cuando se desactive el switch designado para la función Eco.

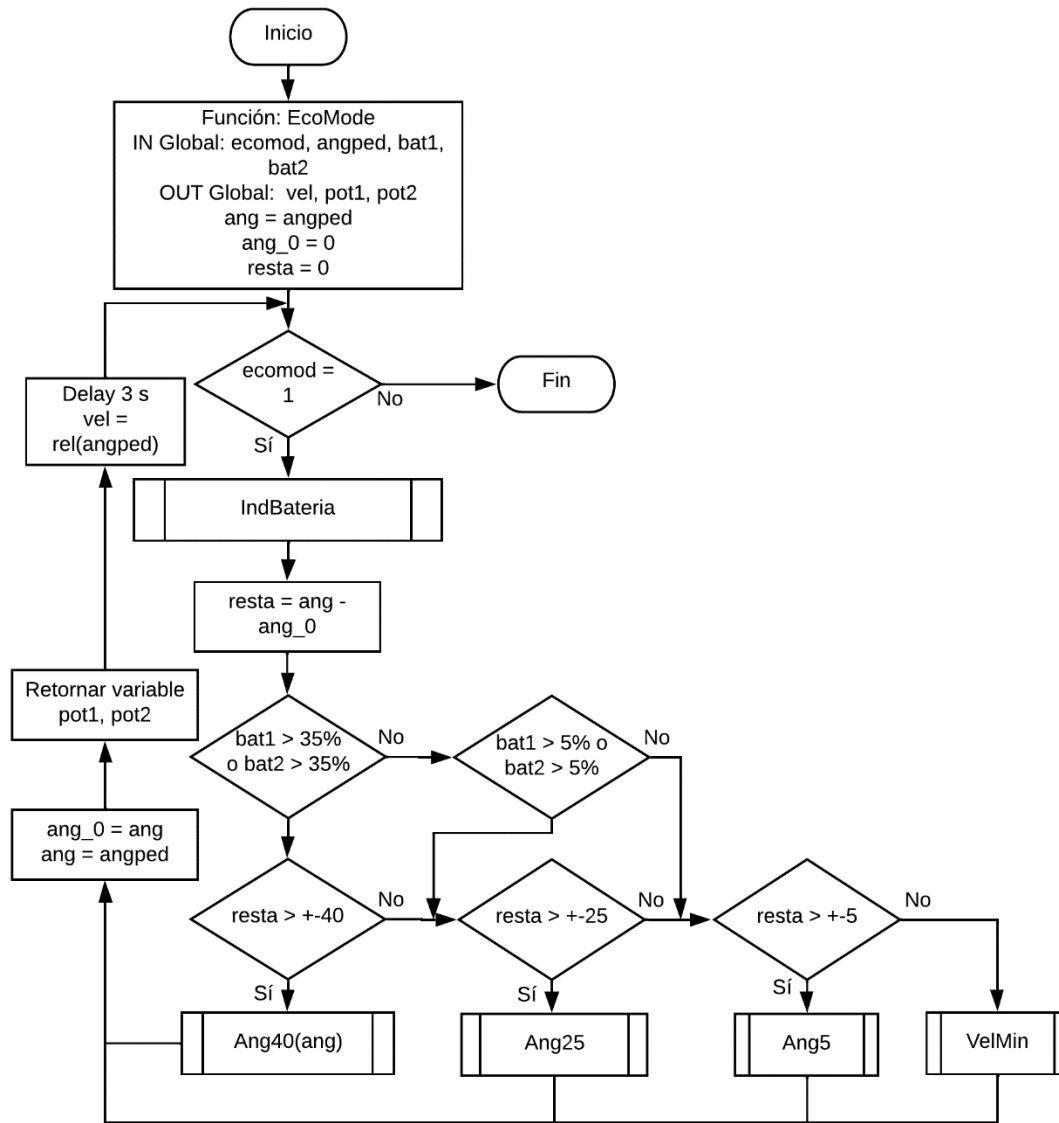


Figura 4.19: Diagrama de flujo EcoMode

Fuente: Elaboración propia.

La función IndBatería presentada en la Figura 4.20, contempla la asignación de un color a las variables “colbat1” y “colbat2”. Las cuales tomarán los siguientes valores: si la batería tiene un porcentaje mayor al 50% se le asignará el color verde, si el valor se encuentra entre el 50% y el 20%, el color amarillo, en otros casos se le asignará el color rojo.

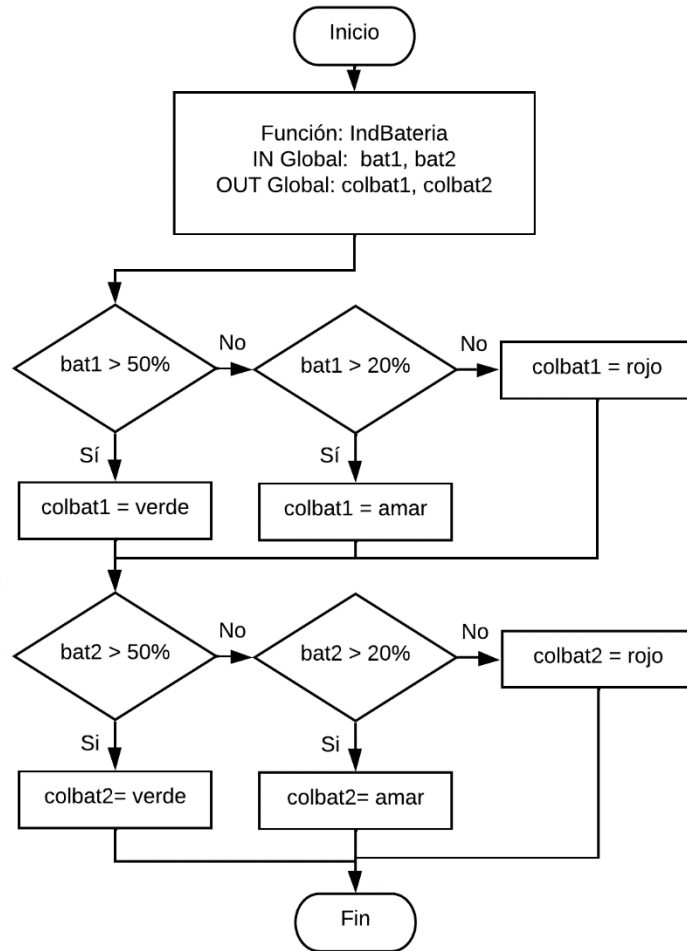


Figura 4.20: Diagrama de flujo de IndBateria

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4.21 presenta las funciones Ang40 y Ang25. La primera función, al activarse establece un conteo de 10 segundos y provee al motor de la potencia máxima para lograr la mayor aceleración y llegar a la velocidad requerida por el piloto, sin embargo, se monitoreará la temperatura de los dos motores para que estos no superen la temperatura límite. En caso se supere esta temperatura, el bucle se romperá y automáticamente se limitará el motor a la potencia promedio para comenzar a enfriar los motores. La segunda función programa a los motores para el uso de la potencia promedio.

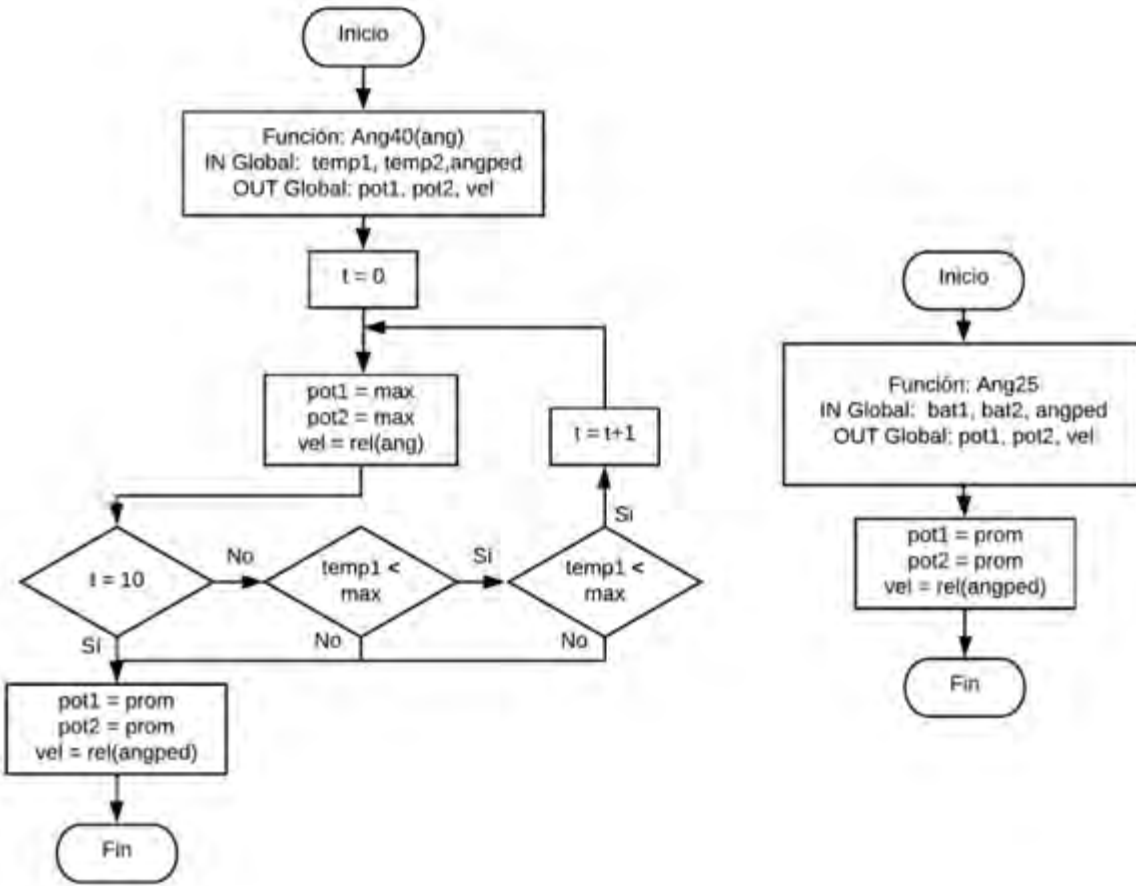


Figura 4.21: Diagrama de flujo de Ang40 y Ang25

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 4.22 presenta las funciones VelMin y Ang5. La función Ang5 comparará el porcentaje de cada banco de baterías y si estas son iguales iterará el uso de los motores con la potencia promedio (uno encendido y uno apagado) por un tiempo de 3 segundos, en caso un porcentaje fuese mayor al otro el programa utilizará el motor que tenga el banco de baterías con mayor carga.

La función VelMin presenta el mismo funcionamiento que la función Ang5 pero utiliza la potencia mínima.

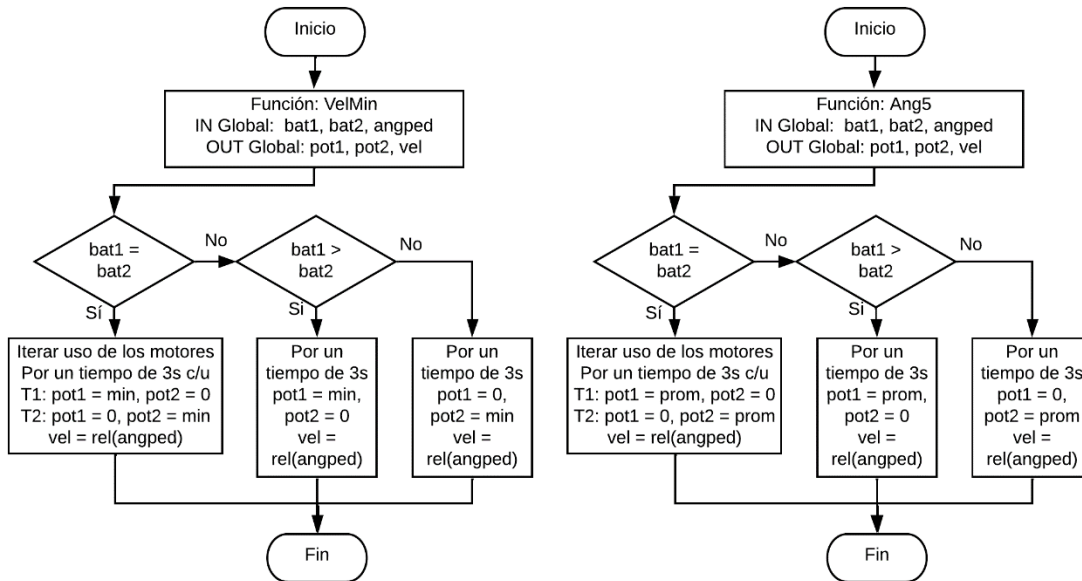


Figura 4.22: Diagrama de flujo de VelMin y Ang5

Fuente: Elaboración propia.

Estrategia de control

El vehículo presenta el lazo de control presentado en la Figura 4.23, tiene como actuador al motor DC y como instrumento de medición a los siguientes sensores: sensor de efecto Hall, termistores y porcentaje de carga. Para este lazo de control se propone la regulación de velocidad del motor a través de estrategias PID.

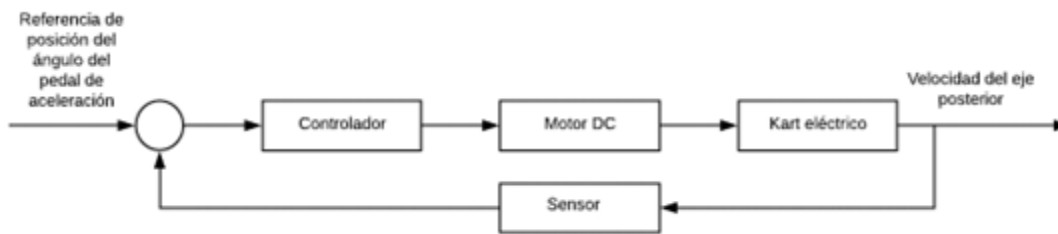


Figura 4.23: Control del Motor DC

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Subsistema de chasis

A continuación, se presenta toda la información relacionada con el subsistema de chasis, esta comprende el diseño de la estructura principal para lograr la inclusión de baterías en el vehículo, la selección de parachoques y la selección del eje posterior incluyendo las validaciones necesarias.

Cabe destacar que la estructura (Figura 4.24) será recubierta con pintura para evitar la corrosión de los elementos metálicos.

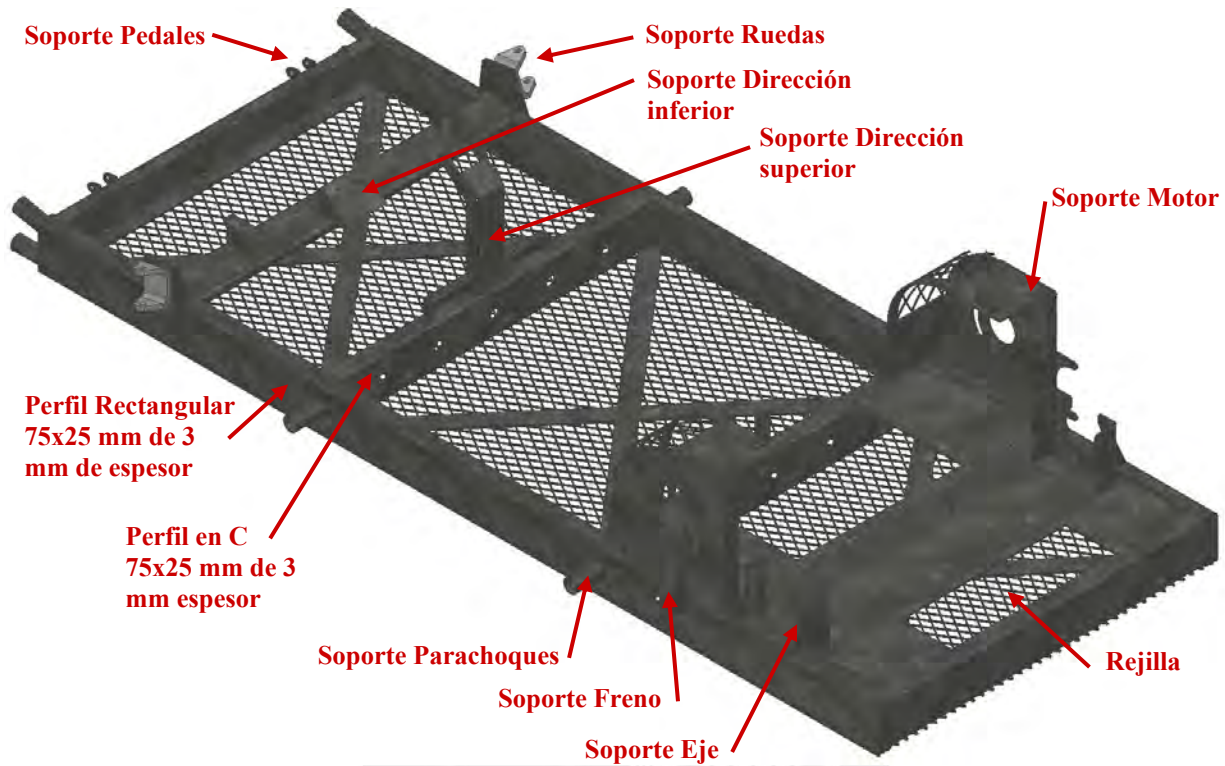


Figura 4.24: Chasis del vehículo

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Diseño mecánico

Selección de estructura base

Dado que el vehículo contempla el diseño de un chasis sin aumentar la complejidad de los mecanismos que se usan actualmente, el diseño de la estructura parte de los chasis que se usan actualmente en el rubro tratando así de mantener los soportes comúnmente propuestos. Es por esto que se ha tomado en cuenta los diseños de vehículos comerciales que cumplan con las condiciones de la CIKFIA y las dimensiones propuestas por la misma entidad, para ser usado como referencia al momento del diseño de la nueva estructura.

Cálculo de perfiles estructurales

Dado que el interés de la presente tesis es el diseño de una estructura que pueda incorporar las baterías de todo el sistema, se propone el uso de perfiles rectangulares con la inclusión de una

rejilla base para soportar el peso de las baterías. Cabe destacar que, dada la necesidad de medidas no comerciales, estos perfiles serán doblados manualmente y soldados entre sí.

Asumiendo una fuerza de colisión $F_c = 155\,423\text{ N}$, se propone el caso crítico observado en el modelo planteado de la Figura 4.25, en el que uno de los soportes del parachoques absorbe todo el golpe y transmite el total de la fuerza de colisión a la estructura principal y origina el DCL presentado. Cabe destacar que, para mayor protección del piloto ante mayores velocidades de colisión, se propone el uso de elementos de protección, un equipo de rescate para actuar ante la situación y la instrucción de formas de choque al piloto para poder evitar el mayor daño posible.

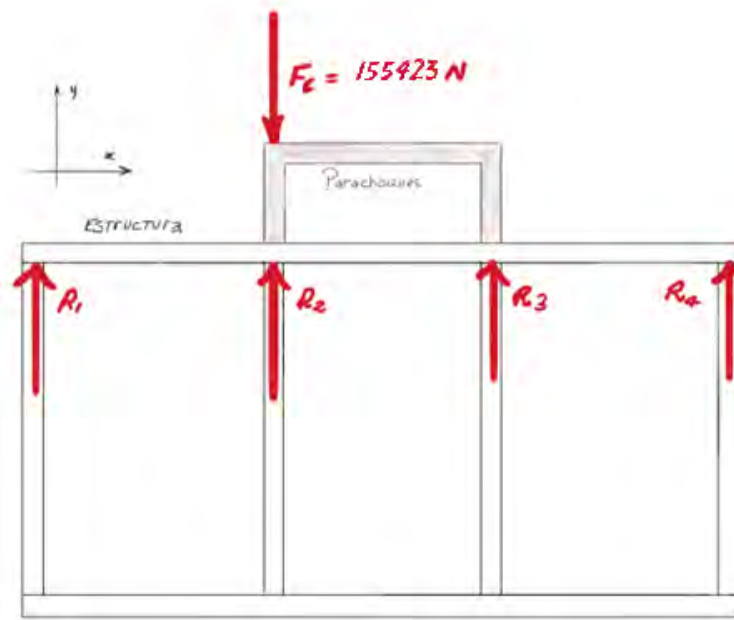


Figura 4.25: DCL de colisión

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se procede a justificar la selección del perfil rectangular de los largueros de 75 mm x 25 mm x 3 mm de espesor, realizando los cálculos referentes a la resistencia a la fuerza de colisión. Como resultado (ec. 4.1) se obtiene que el esfuerzo equivalente es menor al esfuerzo de fluencia del material.

$$\sigma_{eq} = 477.3\text{ MPa} \leq \frac{\sigma_F = 630}{FS = 1.3} = 484.6\text{ MPa (ec. 4.1)}$$

Considerando el DCL presentado en la Figura 4.25, se procede a justificar la selección de los perfiles transversales en C de 75 x 25 x 3 mm, para la realización de los cálculos en estado crítico se aproximan los valores de las reacciones $R_1 = R_3 = R_4 = 0$ y se realizan las validaciones

matemáticas para la reacción R2 frente a la fuerza axial provocada por la colisión. Como resultado se obtiene la una deformación de 0.61 mm, y por lo tanto se valida matemáticamente la selección del perfil tubular.

$$\delta = 0.73 \text{ mm}$$

Finalmente se realiza el cálculo de las uniones soldadas tomando en cuenta el peso del grupo de baterías a soportar y al peso de la barra transversal. Realizando iteraciones en Excel se obtiene el un espesor de 2 mm.

$$\text{Condicion 1: } \sigma_{eq} \approx 265.37 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_B}{\beta * \gamma} \approx 313.43 \text{ MPa (ec. 4.2)}$$

$$\text{Condicion 2: } \sigma_n \approx 265.37 \text{ MPa} \leq \frac{0.9 * \sigma_B}{\gamma} \approx 282 \text{ MPa (ec. 4.3)}$$

Los cálculos a detalle se encuentran en el Anexo E y la validación por simulación se encuentra en el Anexo F.

Parachoques: Selección

Los parachoques laterales de la empresa SuperKart SK son seleccionados debido a que se encuentran homologados por la CIKFIA y se empernarán a la estructura principal. El parachoques frontal se encuentra modificado en función a los estrictos requerimientos formulados por la institución, su forma parte de un parachoques estándar y varía para poder acoplarse al chasis nuevo (Figura 4.26).

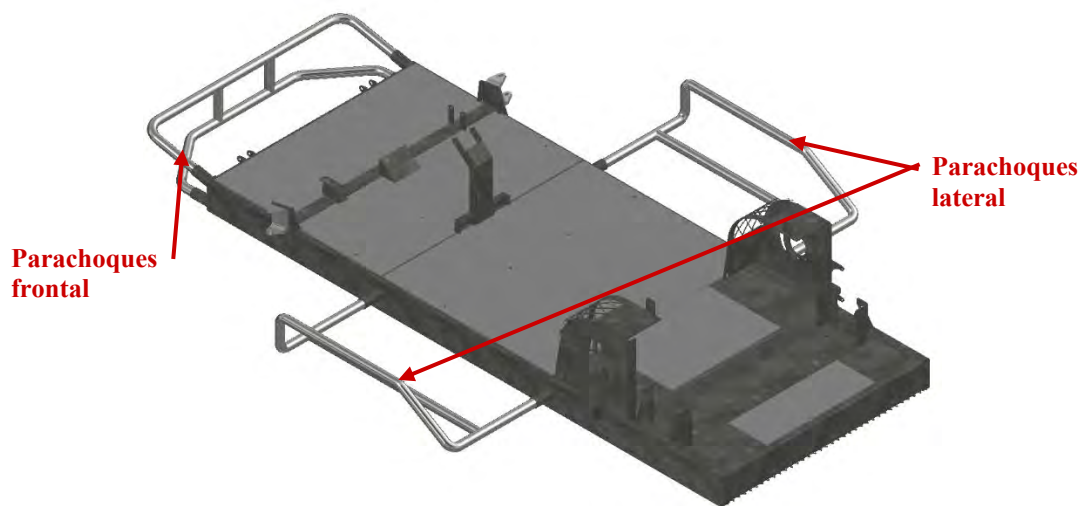


Figura 4.26: Parachoques frontal y lateral.

Fuente: Elaboración propia

Selección de eje posterior

En el caso del eje posterior, se utilizará un eje macizo de 40 mm fabricado a partir de una barra de acero 304 de 1 3/4" vendida por la empresa INAMESA. De esta manera es necesario verificar la resistencia de este eje para validar su elección, y para esto se presenta el DCL de la Figura 4.27 en el momento de una frenada en seco. Los puntos A y I, se encuentran relacionados con la unión del eje con la rueda, los puntos C y G, con la unión del eje a los rodamientos anclados al chasis, los puntos D y F, a la ubicación de las poleas, los puntos B y H, a la ubicación de los frenos de disco y el punto E, a la posición del centro de masa del eje.

A continuación, se presenta el detalle de las fuerzas en cada posición:

- Punto A: Fuerza de fricción ($F_f = 1470 \text{ N}$) y reacción en A por distribución de cargas ($R_a = 752 \text{ N}$).
- Punto B: Fuerza de frenado ($B_z = 1535.6 \text{ N}$), torque de frenado ($B_t = 134366.2 \text{ N.mm}$) y fuerza del peso del freno de disco ($B_y = 50 \text{ N}$).
- Punto C: Reacción en rodamiento en C ($C_z = 579.6 \text{ N}$) y peso del vehículo más piloto sobre el rodamiento en C ($C_y = 600 \text{ N}$).
- Punto D: Fuerza del motor en D ($D_z = 25352.2 \text{ N}$), fuerza del peso de las poleas en D ($D_y = 52 \text{ N}$) y torque del motor en D ($D_t = 134366.2 \text{ N.mm}$).
- Punto E: Peso del eje ($E_y = 100 \text{ N}$).
- Punto F: Fuerza del motor en F ($F_z = 25352.2 \text{ N}$), fuerza del peso de las poleas en F ($F_y = 52 \text{ N}$) y torque del motor en F ($F_t = 134366.2 \text{ N.mm}$).
- Punto G: Reacción en rodamiento en G ($G_z = 579.6 \text{ N}$) y peso del vehículo más piloto sobre el rodamiento en G ($G_y = 600 \text{ N}$).
- Punto H: Fuerza de frenado ($H_z = 1535.6 \text{ N}$), torque de frenado ($H_t = 134366.2 \text{ N.mm}$) y fuerza del peso del freno de disco ($H_y = 50 \text{ N}$).
- Punto I: Fuerza de fricción ($F_f = 1470 \text{ N}$) y reacción en I por distribución de cargas ($R_i = 752 \text{ N}$).

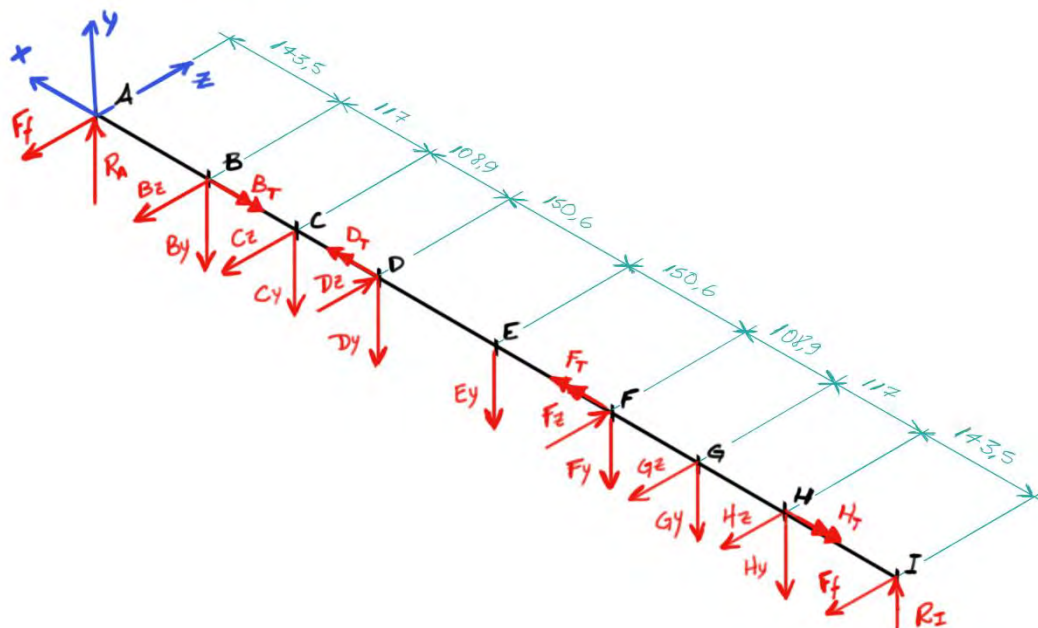


Figura 4.27: DCL del eje posterior.

Fuente: Elaboración propia

Realizando un estudio de fuerzas en el plano XY y XZ se determina el punto D como el más crítico y se determinan los esfuerzos equivalentes para poder realizar un análisis por resistencia y por fatiga. De esta manera se valida el eje seleccionado, los cálculos se pueden visualizar a detalle en el Anexo G.

$$FS_{fatiga} \geq 4; FS_{resistencia} \geq 2$$

4.1.4 Planos

La Tabla 4.12, presenta la lista de planos adjuntados como anexos referentes al desarrollo de la presente tesis.

Tabla 4.12: Lista de planos de la estructura

Nombre	Código	Tipo	Tamaño	Detalle
Travesaño 1	E-1-D	Despiece	A4	Estructura
Travesaño 2	E-2-D	Despiece	A4	Estructura
Travesaño 3	E-3-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Parachoques 1	E-4-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Parachoques 2	E-5-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Pedal	E-6-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Potenciómetro	E-7-D	Despiece	A4	Estructura

Nombre	Código	Tipo	Tamaño	Detalle
Soporte Bomba	E-8-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Direccion 1	E-9-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Dir Izq	E-10-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Dir Der	E-11-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Asiento 1	E-12-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Direccion 2	E-13-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Rodamiento	E-14-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Freno Izq	E-15-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Freno Der	E-16-D	Despiece	A4	Estructura
Cartela	E-17-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Asiento 2	E-18-D	Despiece	A4	Estructura
Tope Malla	E-19-D	Despiece	A4	Estructura
Refuerzo Bateria 1	E-20-D	Despiece	A4	Estructura
Refuerzo Bateria 2	E-21-D	Despiece	A4	Estructura
Travesaño 4	E-22-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Motor Izq	E-23-D	Despiece	A4	Estructura
Soporte Motor Der	E-24-D	Despiece	A4	Estructura
Larguero Izquierdo	E-1-E	Ensamble	A4	Estructura
Larguero Derecho	E-2-E	Ensamble	A4	Estructura
Estructura	E-3-E	Ensamble	A0	Estructura
Tapa 1	O-1-D	Despiece	A4	Energía
Tapa 2	O-2-D	Despiece	A4	Energía
Tapa 3	O-3-D	Despiece	A4	Energía
Tapa 4	O-4-D	Despiece	A4	Energía
Tapa 5	O-5-D	Despiece	A4	Energía
Asiento Parante	O-6-D	Despiece	A4	General
Soporte Asiento INF	O-1-E	Ensamble	A4	General
Soporte Rejilla Frontal	O-7-D	Despiece	A4	Motor
Rejilla Posterior	O-2-E	Ensamble	A4	Motor
Parachoques Frontal	O-3-E	Ensamble	A4	General
Eje Posterior	O-8-D	Despiece	A4	Motor
Eje Motor	O-9-D	Despiece	A4	Motor
Soporte Pantalla	P-1-D	Despiece	A4	Pantalla
Soporte Carcasa	P-2-D	Despiece	A4	Pantalla
Carcasa #1	P-3-D	Despiece	A4	Pantalla
Carcasa #2	P-4-D	Despiece	A4	Pantalla
Pantalla	P-1-E	Ensamble	A4	Pantalla
Kart Eléctrico	O-4-E	Ensamble	A0	General
Plano Eléctrico	EB-1-E	Eléctrico	A3	General

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE TRANSMISIÓN, ACELERACIÓN Y FRENADO

El presente capítulo abarca el diseño de la transmisión y la selección de componentes para lograr la aceleración y frenado del vehículo. Con respecto al primero, se realizarán los cálculos necesarios para obtener el tipo de faja a utilizar tomando en consideración las dimensiones de las poleas a usar, y se definirán el tipo de uniones entre polea-eje para mantener la correcta transmisión de torque. La selección de componentes para aumentar y disminuir el movimiento del vehículo consta de la selección de pedales, del sistema de frenado delantero y posterior, y de la medición de movimiento angular de cada pedal. Adicionalmente, se ubicarán los componentes seleccionados en el chasis y se diseñarán los soportes necesarios.

5.1 Subsistema de transmisión

A continuación, se presenta la información relacionada con el subsistema de transmisión, esta abarca los cálculos de faja, la selección de polea dependiendo de los cálculos de faja y el tipo de acople polea – eje que se desea. La Figura 5.1 muestra la transmisión ensamblada en el vehículo.

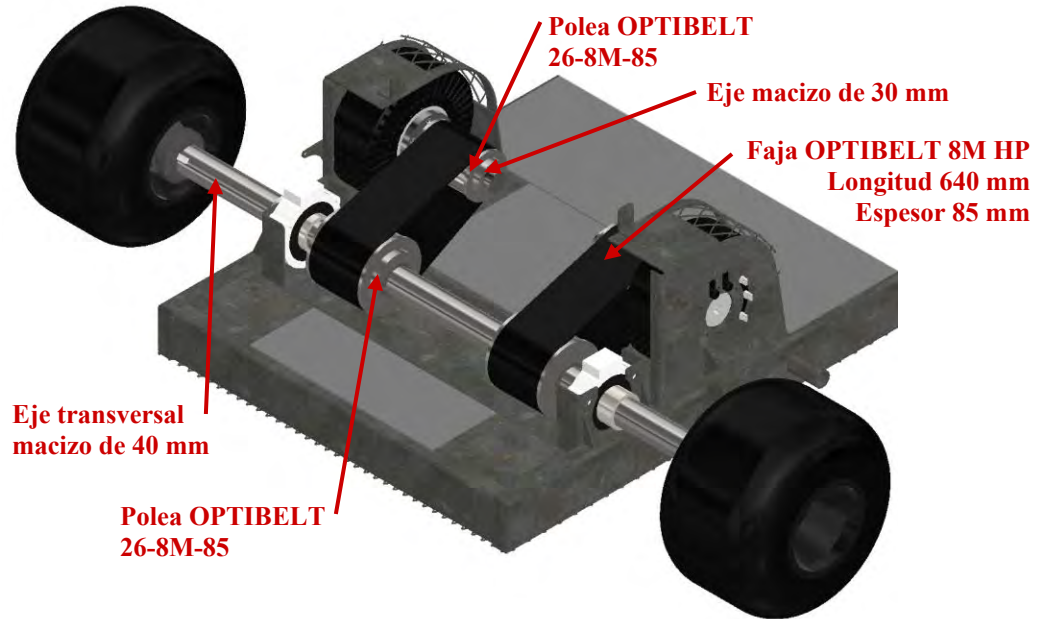


Figura 5.1: Subsistema de transmisión.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Diseño mecánico

Selección de fajas y poleas

Se busca una faja que pueda soportar la potencia mínima requerida para lograr acelerar de 0 a 100 km/h en un tiempo mínimo de 3.3 segundos, para esto se hace uso del catálogo de fajas síncronas del fabricante Optibelt y se considera el uso de dos motores para la propulsión del sistema. Como resultado del procedimiento propuesto por el fabricante, se obtiene una faja 8M HP de 85 mm de espesor con una longitud de 640 mm y dos poleas de 26 y 44 dientes cada una. Para un mayor detalle de los cálculos, revisar el Anexo H. Cabe destacar que para la selección de la faja se está considerando reducir electrónicamente las revoluciones del motor para poder mantener una relación de transmisión igual a 1.5.

Acople de polea eje

En el caso del acople entre la polea y el eje del motor se realizará por chaveta. Para esto se propone un eje macizo de 30 mm para el motor y a continuación se selecciona el tipo de chaveta a utilizar. Tomando en consideración las dimensiones recomendadas por la norma DIN 6885/1 para una chaveta (10 x 8 mm) y el momento a soportar, se hace uso de la Ecuación 5.1 y se elige un largo 70 mm de la chaveta para poder soportar las cargas a la que será sometido este elemento.

$$L_{ef} \geq \frac{M_t}{r * t_2 * \rho_{adm}} = \frac{90000}{15 * 3.4 * 90} = 20 \text{ mm (ec. 5.1)}$$

En cuanto al acople entre la polea y el eje posterior, y tomando en cuenta a la chaveta anterior como la más crítica, se va a seleccionar una chaveta de 12 x 8 de 70 mm de largo.

De esta manera, se va a utilizar dos chavetas de 12 x 8 mm y 10 x 8 mm con una longitud de 70 mm cada una y se va a aumentar el diámetro interior de las poleas hasta los 40 mm (polea – eje posterior) y 30 mm (polea – eje motor) para luego colocar una ranura y retener el movimiento lineal a lo largo del eje con anillos de retención de la empresa Smalley, FS-040 y FS-030 respectivamente.

5.2 Subsistema de aceleración y frenado

A continuación, se presenta la información relacionada con el subsistema de aceleración y frenado, esta abarca la selección de los pedales y freno de mano, su ubicación en el chasis y la selección de sensores para medir la posición angular del pedal de aceleración.

5.2.1 Diseño eléctrico

Selección de sensores de pedal

La medición del ángulo del pedal de aceleración se va a realizar a través de un sensor rotatorio (Figura 5.2) proveniente de la empresa EV-West, el cual facilita la medición y acople al vehículo dadas sus características mecánicas. Otra solución puede ser adquirir un módulo completo (pedal más sensor) sin embargo, dado el espacio del vehículo del presente proyecto la opción no es viable.



Figura 5.2: Sensor rotatorio

Fuente: EV-West.

5.2.2 Diseño mecánico

Selección de los pedales y ubicación del sensor de aceleración

Los pedales del vehículo provienen del distribuidor CPR y se encontrarán ubicados en la parte frontal de la estructura (Figura 5.3). Estos pedales se encontrarán unidos al sensor de aceleración y a la bomba de freno mediante una varilla cuyo distribuidor es también CPR.

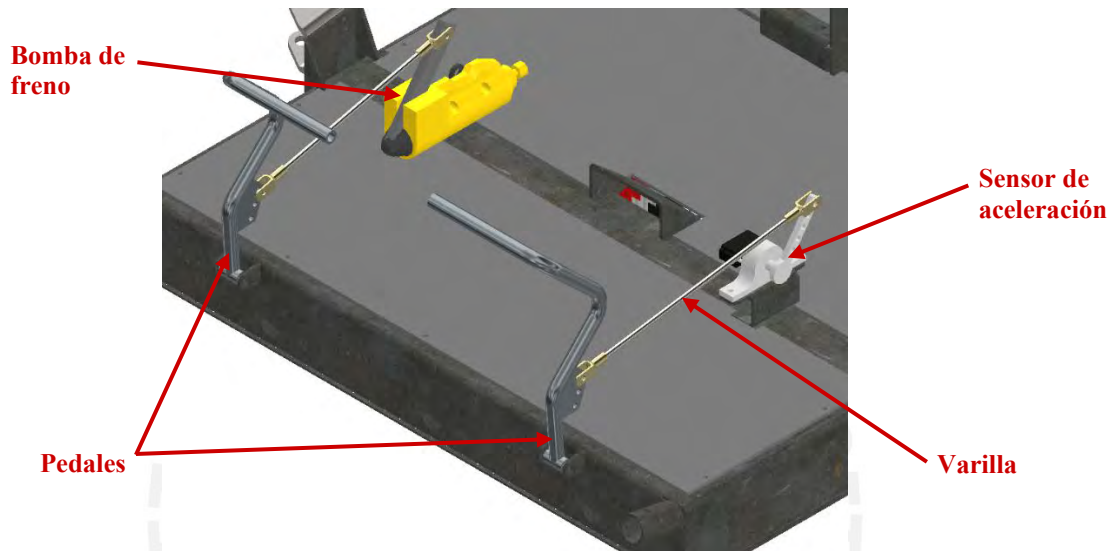


Figura 5.3: Ubicación de los pedales

Fuente: Elaboración propia.

El sensor de aceleración se encontrará ubicado en la parte izquierda del vehículo y empernado a un soporte soldado tal como se indica en la Figura 5.4.

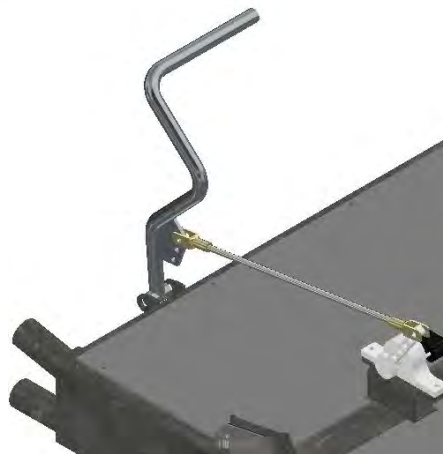


Figura 5.4: Ubicación del sensor de aceleración

Fuente: Elaboración propia.

Bomba de freno: Selección y ubicación

La empresa Superkart SK presenta una bomba de freno homologada por la CIKFIA y las mangueras a utilizar para la distribución del líquido de freno a los discos frontales y posteriores. Esta bomba se empernará a unos acoples que se encontrarán soldados al chasis (Figura 5.5).

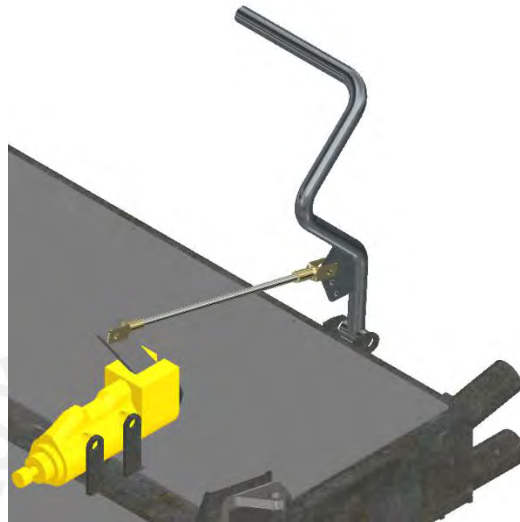


Figura 5.5: Ubicación de la bomba de freno

Fuente: Elaboración propia.

Selección de frenos de disco

Dada la compatibilidad entre los productos vendidos por los distribuidores, al seleccionar el eje de dirección de la empresa SuperKart SK también se selecciona el freno de disco vendido por la misma empresa. Estos frenos de disco están orientados a ejes frontales de 25 mm de diámetro con un acople eje-rueda-disco de freno el cual facilita la instalación de la dirección. Las pinzas de freno se seleccionaron también considerando la compatibilidad entre componentes y el distribuidor recomienda soldarlas al eje de dirección (Figura 5.6).

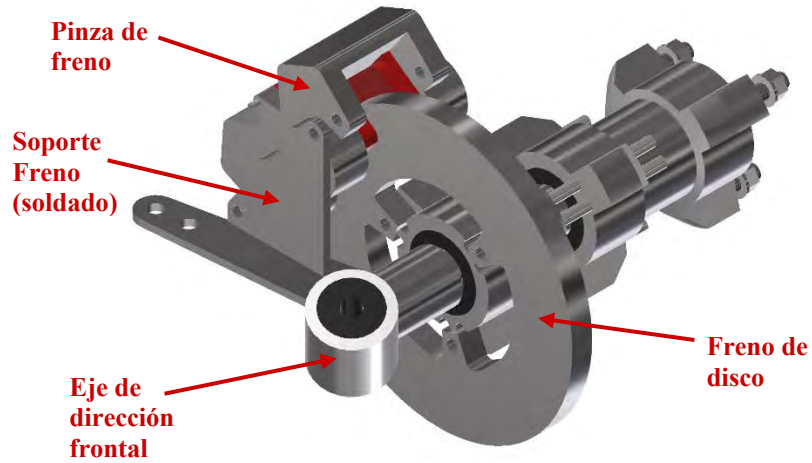


Figura 5.6: Freno de disco delantero

Fuente: Elaboración propia.

Los frenos de disco posteriores se seleccionan del mismo distribuidor y se encuentran homologados por la CIKFA. El disco de freno posee un espesor de 12 mm y un diámetro de 200 mm y la pinza de freno posee la compatibilidad de instalación (Figura 5.7).

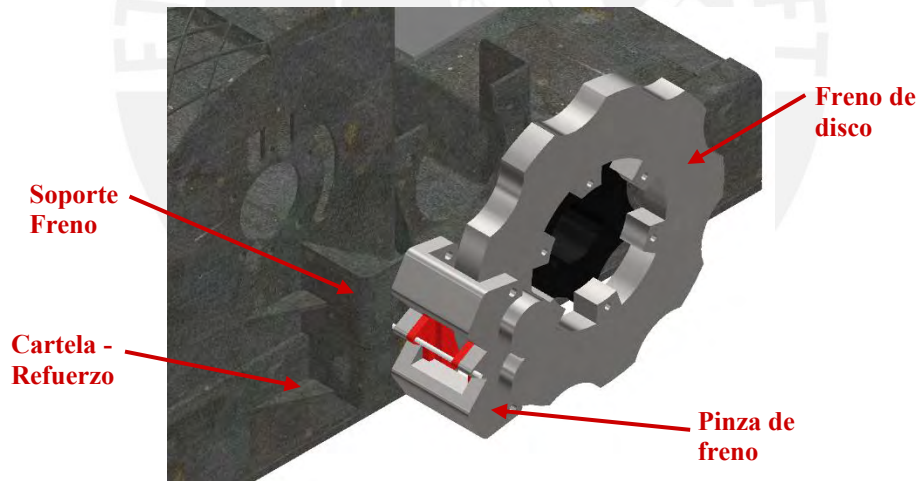


Figura 5.7: Freno de disco posterior

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE ENERGÍA Y PROPULSIÓN

El presente capítulo abarca el diseño de los subsistemas de energía y propulsión. Con respecto al primero, se realizará la selección de la batería y se desarrollará un soporte que este incluido directamente en la estructura del vehículo. En cuanto al segundo subsistema, se realizará la selección de los motores y se diseñará el soporte de estos. Finalmente, se plantea el control de velocidad del vehículo y la optimización del uso de la batería.

6.2 Subsistema de propulsión

A continuación, se presenta la información relacionada con el subsistema de propulsión, esta abarca el cálculo y selección de los motores, la selección de sus controladores, el cálculo de los soportes y la selección del sensor de velocidad. Finalmente, se indaga acerca del control de velocidad del motor y se proponen secuencias para mejorar la autonomía del banco de baterías. La Figura 6.1 muestra el subsistema de propulsión.

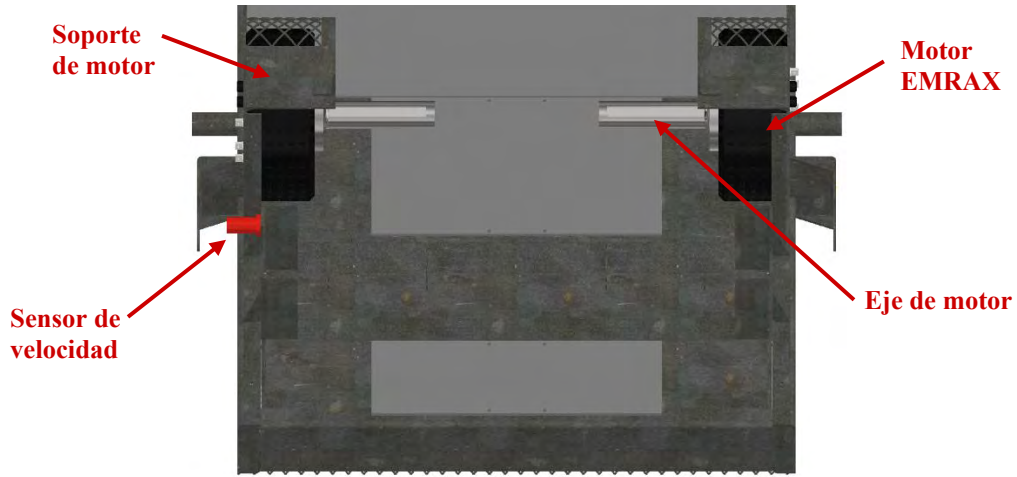


Figura 6.1: Subsistema de propulsión

Fuente: Elaboración propia.

6.2.1 Diseño eléctrico

Cálculo del motor

Los siguientes cálculos presentados a continuación se realizaron con el fin de obtener los criterios de selección para el motor. El peso total del vehículo se tomó como 235 Kg (tomando en consideración un factor de seguridad de 15% sobre el peso inicial del vehículo de 205 Kg) y el peso promedio del piloto es de 60 Kg.

Se obtuvo una potencia ideal necesaria de 91.3 KW haciendo uso del diagrama presentado en la Figura 6.2 y considerando el requerimiento de lograr una aceleración de 0 km/h a 100 km/h en 3.3 segundos. En cuanto al diagrama, se obtiene una reacción normal frente al peso del vehículo; esta reacción se utilizará para calcular la fuerza de rozamiento tomando en cuenta una coeficiencia de fricción de 0.7 y se incluye la reacción del viento frente al vehículo en movimiento, con todos estos datos, se hace un cálculo de sumatoria de fuerzas para obtener la fuerza del motor mínima.

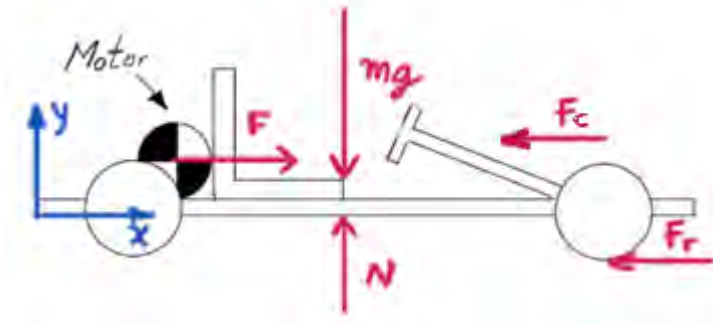


Figura 6.2: DCL ideal del vehículo.

Fuente: Elaboración propia.

Asumiendo una transmisión de reducción con una relación de transmisión de 1.5, y considerando como velocidad mínima 100 km/h. Se obtuvo la cantidad de revoluciones por minuto mínimas necesarias con un valor de aproximadamente 2848 RPM, para mayor detalle de los cálculos revisar el Anexo I. A continuación, se presenta la Tabla 6.1 que abarca los motores encontrados y sus características.

Tabla 6.1: Tabla comparativa de motores

	Requisitos	EMRAX 228	LEM – 200 – D135 RAGS	EMRAX 188 – Low Voltage
Fabricante	-	EMRAX	Lynch Motors	EMRAX
Potencia Pico (KW)	95	62	36	52
RPM	3000	5500	4400	6500
Voltaje (V)	-	680	110	110
Torque (N.m)	-	96	33.3	90
Tipo	-	AC	DC	AC
Peso (Kg)	< 20 Kg	12.8	11	7
Diámetro (mm)	-	228	200	188
Ancho (mm)	-	86	140	74.4
Precio	-	\$ 2500	\$ 1500	\$ 2000



Fuente: Elaboración propia.

El motor a seleccionar es el de la empresa EMRAX con su modelo 188, colocando dos motores se provee la potencia necesaria para poder impulsar el vehículo con la aceleración requerida, si bien es el más caro de los tres, posee menor peso y dimensiones con respecto a los demás.

Selección de controlador del motor

En la Tabla 6.2 se realiza la comparación entre dos controladores que ya se han utilizado anteriormente con el motor seleccionado, cabe destacar que como requisitos mínimos necesitan poder operar con voltaje de operación (110 V) y corriente pico (400 A) del motor seleccionado.

Tabla 6.2: Comparación entre controladores de motor.

	Requisitos	Evnetics Soliton Jr.	emDrive 500
			
Fabricante	-	EV West	emDRIVE
Voltaje de operación (V)	110	300	120
Corriente pico (A)	400	600	800
Peso (Kg)	-	7	4.9
Precio	-	\$ 1900	\$ 1800

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el controlador de la empresa emDRIVE cuenta con un peso menor, se seleccionará para el presente proyecto.

Ubicación del módulo de control principal

Con el fin de maximizar el espacio disponible el módulo de control se ubicará debajo del asiento del piloto (Figura 6.3) y estará empernado en la plataforma de Nylon, lo que facilitará la ubicación de las baterías en el vehículo. Para sostener el asiento y evitar el contacto de este con el módulo de control se van a utilizar perfiles de 21.3 mm que serán empernados a unos acoples pertenecientes al chasis.

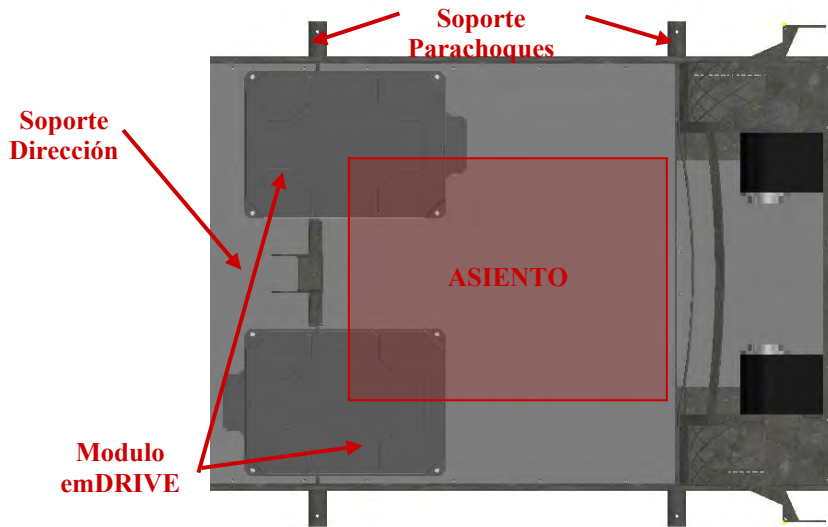


Figura 6.3: Ubicación del módulo de control

Fuente: Elaboración propia.

Selección de sensor de velocidad

La medición de la velocidad de un vehículo se puede realizar en dos locaciones: En el eje de los neumáticos o en el eje del motor, para el presente proyecto se ubicará el sensor de velocidad en el eje posterior. Considerando esto último en consideración se han desarrollado dos propuestas de solución cuyos componentes se encuentran detallados en la Tabla 6.3.

La primera propuesta es el uso de un sensor basado en medir las revoluciones de un neumático por el contacto de un engranaje y la segunda propuesta es usar un sensor de efecto Hall para medir las revoluciones mediante pulsos magnéticos.

Tabla 6.3: Comparación entre componentes de medición de velocidad

	55505-00-02-A	Sensor de velocidad
		
Fabricante	Littelfuse Inc.	Toyota
Tipo de medición	Indirecta	Directa
Voltaje de Operación (V)	4.75 - 24	-
Precio	\$ 22	\$ 100

Fuente: Elaboración propia.

Si bien la propuesta de usar engranajes para medir la velocidad de salida del vehículo es interesante, esta implica la fabricación de un engranaje ubicado en el eje para poder realizar la medición. En cambio, el sensor de efecto Hall da la facilidad de implementación al ubicar un imán en el eje y calcular matemáticamente la velocidad de salida en base a los pulsos magnéticos recibidos, es por esta facilidad de implementación que se elige el sensor de efecto Hall.

6.2.2 Diseño mecánico

Diseño del soporte del motor

El soporte propuesto para los dos motores se encuentra proyectado en la Figura 6.4, los dos motores se acoplarán en el soporte y se ubicarán inmediatamente después del asiento del piloto.



Figura 6.4: Soporte del motor

Fuente: Elaboración propia.

A partir de un análisis de resistencia se determina el espesor mínimo necesario para poder soportar al motor y como resultado se obtiene un espesor de 3 mm. Los cálculos en detalle se encuentran en el Anexo J.

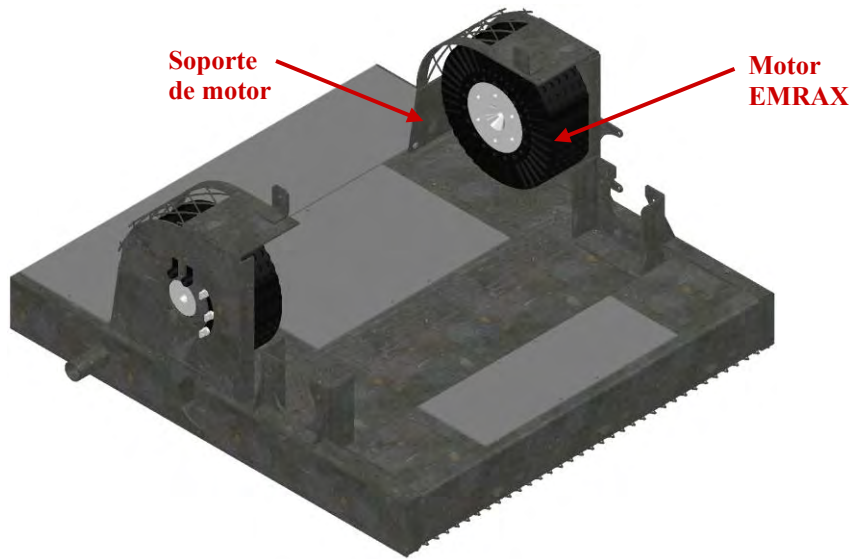


Figura 6.5: Motor con su soporte.

Fuente: Elaboración propia.

Medición de la velocidad

Con el fin de lograr la correcta medición de la velocidad del vehículo se va a utilizar un sensor de efecto Hall, lo propuesto es medir el tiempo entre los pulsos más altos y calcular así la velocidad que ha tomado el vehículo en trasladarse todo el desarrollo de la rueda. El sensor estará ubicado en el soporte de rodamientos del eje (Figura 6.6) y para realizar la medición se ubicará un imán en el lugar indicado por la flecha verde.

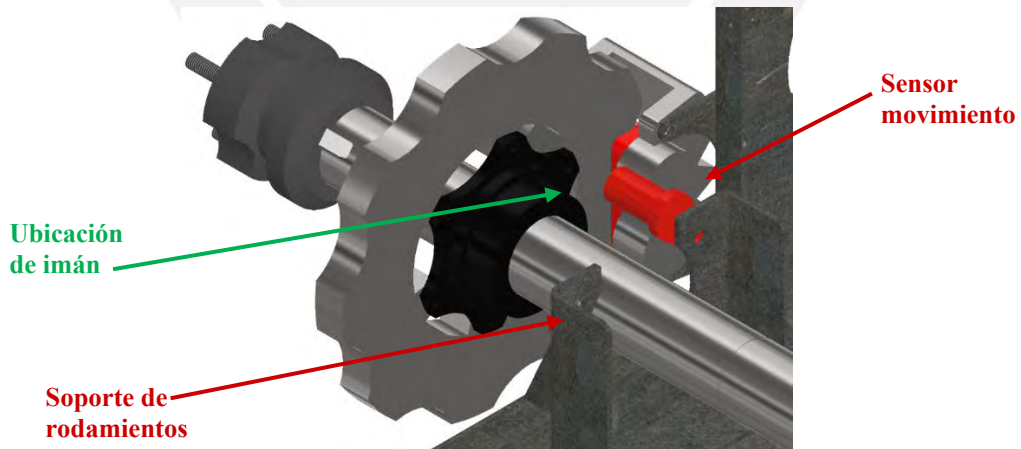


Figura 6.6: Ubicación de sensor de velocidad e imanes.

Fuente: Elaboración propia.

6.1 Subsistema de energía

A continuación, se presenta la información relacionada con el subsistema de energía (Figura 6.7), esta abarca la selección y cálculo de las baterías necesarias para el motor y para el sistema, la selección de un controlador para las baterías y el diseño mecánico de los soportes de baterías.

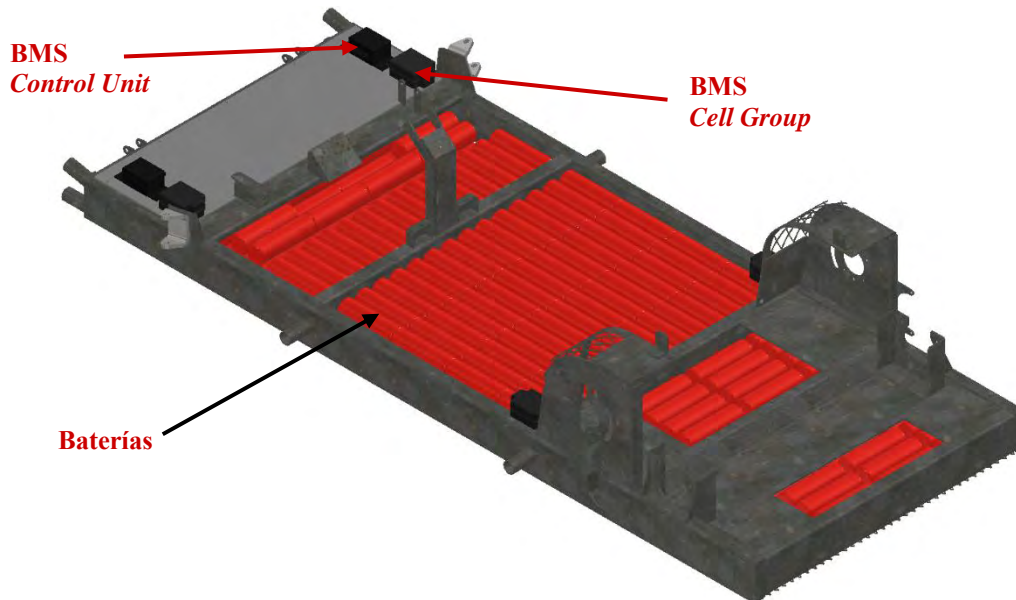


Figura 6.7: Subsistema de energía.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Diseño eléctrico

Selección de baterías para el motor

Los cálculos realizados para la selección de las baterías del vehículo se encuentran basados en una autonomía mínima de 17 km para cada motor a una velocidad de 100 km/h. Con el dato anterior y considerando una eficiencia del 90 % por parte de las baterías, se obtuvieron las siguientes características de la batería detalladas en la Tabla 6.4, para mayor detalle de los cálculos revisar el Anexo K.




Tabla 6.4: Valores requeridos del banco de baterías

Energía Requerida	3.52 Kwh
Carga Energética	32 Ah

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se realizó la investigación de diferentes baterías en el mercado, de las cuales se eligieron tres y se encuentran detalladas en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Comparación entre baterías

	Requerimientos	LP8867220F	Winston 40 Ah	Headway 38120 HP
				
Fabricante	-	EEMB	Winston	Headway
Voltaje (V)	110	3.2	3.2	3.2
Capacidad (Ah)	40	10	40	8
Peso (Kg)	-	0.25	1.6	0.25
Precio	-	\$ 19	\$ 50	\$ 6

Fuente: Elaboración propia.

Con las características de cada batería se procedió a armar un banco de baterías para cada una de las opciones. La decisión final se tomará en función al peso total del banco de baterías, se presenta la Tabla 6.6 como resumen de los cálculos desarrollados. Los cálculos a detalle se encuentran en el Anexo G.

Tabla 6.6: Comparación de arreglo de celdas

	Cantidad Total	Peso (Kg)	Precio
LP8867220F	280	70	\$ 5320
Winston 40 Ah	70	112	\$ 3500
Headway 38120 HP	280	70	\$ 1680

Fuente: Elaboración propia.




De esta manera las celdas a usar para la elaboración del banco de baterías serán las Headway 38120 HP del fabricante Headway debido a que posee el menor costo de las tres opciones. Considerando una eficiencia del 90 % por parte de las baterías, se elaborarán dos bancos de baterías de 112 V (aprox.) y 32 Ah cada uno con el uso de cables AWG 2.

Selección de controlador de baterías

Los siguientes componentes para mantener la estabilidad de las baterías se han considerado para el desarrollo del vehículo. En la Tabla 6.7 se muestra la información recopilada de los BMS, dado

que los precios de los componentes no se encuentran al alcance del cliente con facilidad, estos no se han incluido.

Tabla 6.7: Comparación entre BMS

	Requisitos	G1 Distributed	Li-Ion BMS	Lithium-ion BMS
				
Fabricante	-	EMUS	Reap Systems	Elithion
# Celdas.	150	255	150	225
# Sensores de temperatura	-	4	7	-
Comunicación	CAN	CAN/RS232	CAN	CAN / RS232
Tipo	-	Con carcasa	Integrado	Con carcasa
Peso (Kg)	-	0.65	0.068	0.5

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información recopilada se propone usar el BMS del fabricante EMUS debido a que cumple con tener el protocolo CAN de comunicación y se presenta mediante un kit con mayor facilidad de integración. En la Figura 6.8 se presenta la distribución estándar propuesta por el fabricante.

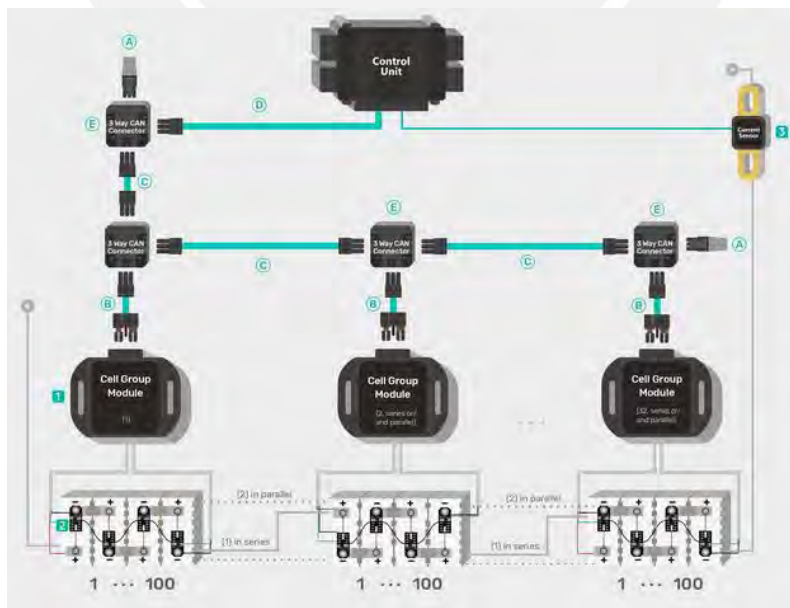


Figura 6.8: Distribución de BMS

Fuente: Electric Motor Sport.

En el caso del proyecto, para cada uno de los bancos de batería se va a usar la distribución de 1 *Control Unit*, 4 *Cell Group Module*, 1 *Current Sensor* y 128 *Cell Module*.

Medición de baterías

Para medir el estado de carga de la batería se va a utilizar el sensor de corriente propuesto en el kit del BMS (Figura 6.9), lo cual propone facilidad de compatibilidad. Adicionalmente esta señal se puede redireccionar al Teensy mediante el uso de la unidad de control del BMS.

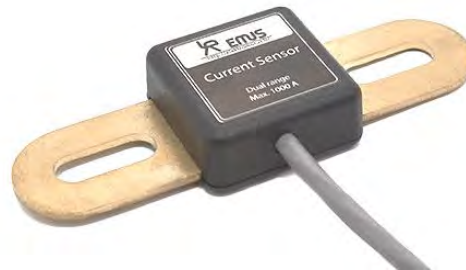


Figura 6.9: Sensor de corriente del BMS
Fuente: Electric Motor Sport.

Selección de baterías para el resto del sistema

Con el fin de mantener un solo tipo de baterías en el sistema, se utilizarán dos bancos de baterías adicionales para poder energizar los componentes restantes del sistema. En la Tabla 6.8 se especifica las cantidades de voltaje y corriente necesarias para energizar cada componente.

Tabla 6.8: Voltaje y corriente de trabajo de componentes electrónicos

	Voltaje de trabajo	Corriente de trabajo
Sensor de velocidad	4.75 – 24 V	10.5 mA
Sensor de aceleración	0 a 5 V	30 mA
Pantalla	5 – 7 V	200 mA
Teensy 3.6	3.6 – 6 V	10 mA
Transceptor	3.3 V	40 nA
BMS	9 – 32 V	40 mA

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la información especificada se propone un banco de baterías de 6.4 V (2 celdas Headway 38120 HP en serie) acompañado de un divisor de voltaje para llegar a un voltaje de operación de 5 V, y con una capacidad de 8 Ah se podrá energizar los sensores, la pantalla, el controlador y el

transceptor. En cuanto al segundo banco de baterías, destinado a energizar el BMS se contará con un voltaje de 9.6 V (3 celdas Headway 38120 HP en serie) y con una corriente de 8 Ah.

Recarga de baterías

Dado que el BMS tiene como objetivo la correcta distribución de carga para las baterías evitando el daño de alguna de estas tanto para su descarga como para su carga, lo único que será necesario para la carga de las baterías es una fuente que pueda emitir una potencia de 5000 W y que trabaje bajo un voltaje de 250 V.

La empresa Electric Motor Sport ofrece el cargador ELCON PFC5000 (Figura 6.10) que trabaja bajo esas características, se trabajará con este para evitar contar con más distribuidores. El cargador de batería se puede utilizar para cada uno de los bancos de batería destinados al motor.



Figura 6.10: Cargador ELCON PFC5000

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Diseño mecánico

Distribución física del arreglo de baterías

El vehículo de la presente tesis propone la inclusión total de las baterías en los espacios libres que se encuentran en la estructura, logrando así una mejor distribución de pesos y una mejor organización de componentes. En la Figura 6.11 se presenta la rejilla y los refuerzos usados para que el chasis pueda sostener los bancos de baterías.

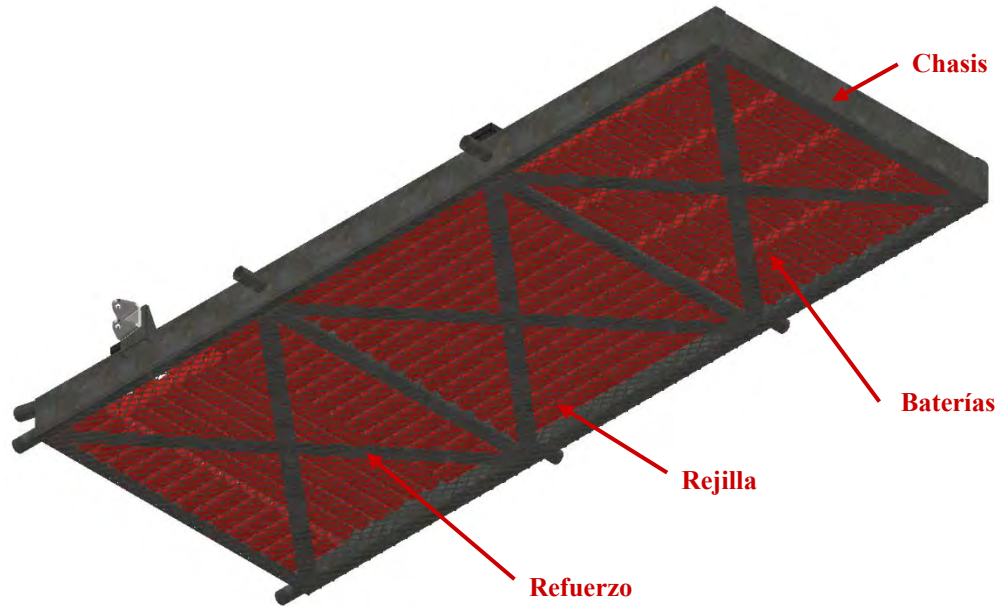


Figura 6.11: Soporte de baterías.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6.12 se muestra la distribución de las baterías a lo largo del chasis. Se encuentra señalizados los dos bancos de baterías para cada motor (derecha e izquierda) y los dos bancos de batería para el sistema BMS y la electrónica del vehículo.

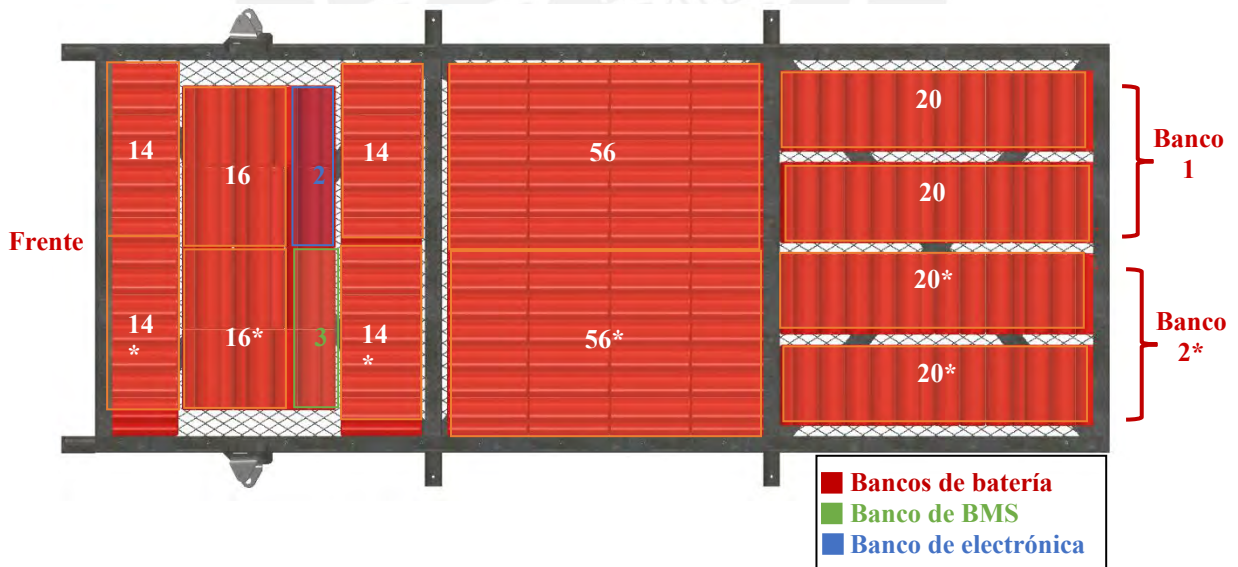


Figura 6.12: Distribución de baterías.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7

ESTIMACIÓN DE COSTOS

El presente capítulo abarca la estimación de costos de todo el proyecto, para facilitar la visualización de datos se presenta el resumen de costos relacionados al proyecto en la Tabla 7.1, para luego realizar una estimación de costos detallada de componentes por capítulo (capítulos 4, 5 y 6).

Tabla 7.1: Resumen de costos

Subsistema	Costo (\$)
Diseño integral	1532.6
Subsistema de chasis	802
Subsistema de transmisión	160
Subsistema de aceleración y frenado	1084.7
Subsistema de propulsión	6473
Subsistema de energía	3303
Costo de fabricación	400
Costo de diseño	400
Envío	1800
Impuestos	950
Costo Total (\$)	\$ 16905.3

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los costos detallados de cada uno de los subsistemas, así como también los costos relacionados con la fabricación. La Tabla 7.2 presenta el detalle de los costos del sistema integral, el subsistema de transmisión, el subsistema de aceleración y frenado, el subsistema de propulsión, el subsistema de chasis y el subsistema de energía. Todos los precios se encuentran en dólares americanos.

Tabla 7.2: Detalle de costos

Producto	Distribuidor	Costo (\$)	Cant.	Total (\$)	Subsistema	Exterior
Teensy 3.6	PJR	32	1	32	Integral	Si
Deutsch HDP20	TE Connectivity	14	1	14	Integral	Si
Gameduino 3X	Excamera	74	1	74	Integral	Si
Llave de arranque	-	40	1	40	Integral	No
Switch ON/OFF de 250A	Schneider	170	2	340	Integral	No
Kit de dirección	CPR	129	1	129	Integral	Si
Volante	CPR	70	1	70	Integral	Si
Acoples de dirección	CPR	20	1	20	Integral	Si
Varillas de dirección	CPR	60	1	60	Integral	Si
Acople eje-rueda	SK	76	2	152	Integral	Si
Spindle	SK	66.3	2	132.6	Integral	Si
Set de neumáticos	SM	171	1	171	Integral	Si
Soporte panel posterior	SK	36	1	36	Integral	Si
Soporte panel frontal	SK	28	1	28	Integral	Si
Paneles laterales	SK	88	1	88	Integral	Si
Soporte panel central	SK	5	1	5	Integral	Si
Panel central	SK	16	1	16	Integral	Si
Panel frontal	SK	45	1	45	Integral	Si
Panel posterior	SK	50	1	50	Integral	Si
Pernería	-	30	1	30	Integral	No
Faja 8M HL de 85 mm con L=720 mm	Tecnifajas	10	1	10	Transmisión	No
Polea TB 44-8M-85	Tecnifajas	30	1	30	Transmisión	No
Polea 44-8M-85	Tecnifajas	30	1	30	Transmisión	No
Bush PHF TB2012X40MM	SKF	45	1	45	Transmisión	No
Anillo de retención A42	Asraymond	15	3	45	Transmisión	No
Pedales	CPR	53	1	53	Aceleración	Si
Bomba de freno	SK	46	1	46	Aceleración	Si
Sensor de aceleración	Solar Walas	150	1	150	Aceleración	Si
Varillas para pedales	CPR	22.65	1	22.65	Aceleración	Si
Disco de freno delantero	SK	53	2	106	Aceleración	Si
Caliper delantero	SK	183	2	366	Aceleración	Si
Disco de freno posterior	SK	65	1	65	Aceleración	Si
Caliper posterior	SK	155	1	155	Aceleración	Si
Soporte de disco	SK	36	1	36	Aceleración	Si
Conectores de freno 1	SK	55	1	55	Aceleración	Si
Conectores de freno 2	SK	30	1	30	Aceleración	Si
Motor EMRAX 188	EMRAX	1380	2	2760	Propulsión	Si
emDrive 500	emDrive	1800	2	3600	Propulsión	Si
Sensor de velocidad	Littel Fuse	22	1	22	Propulsión	Si

Producto	Distribuidor	Costo (\$)	Cant.	Total (\$)	Subsistema	Exterior
Rodamiento	CPR	50	1	50	Propulsión	Si
Transductor	Fusion Tech	16	1	16	Propulsión	No
Barra lisa 1 ¾ pulgada	Aceros Arequipa	25	1	25	Propulsión	No
Plancha NAXTRA700 de 3 mm	Aceros Arequipa	150	4	600	Chasis	No
Soporte de eje	Cut Price Racing	17	1	17	Chasis	Si
Set de Parachoques laterales	SK	60	1	60	Chasis	Si
Kit eje posterior	Cut Price Racing	125	1	125	Chasis	Si
Headway 38120 HP	Headway	6	285	1710	Energía	Si
BMS G1 Distributed	EMUS	500	2	1000	Energía	Si
Plancha de Nylon de 3 mm	Solminsa	20	2	40	Energía	No
Cable AWG 2 x 100 m	Sodimac	80	1	80	Energía	No
Conectores de energía	Naylamp	10	7	70	Energía	No
Convertidor de voltaje	Naylamp	3	1	3	Energía	No
Cargador	ELCON	200	1	200	Energía	Si
Otros (Cables, conectores, etc)	-	200	1	200	Energía	No
TOTAL (\$)				13355.25		

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7.3 presenta los costos de la fabricación del sistema:

Tabla 7.3: Costos de fabricación

Proceso	Total (\$)
Soldadura	50
Anodizado	50
Mecanizado	200
Ensamblado	100
TOTAL (\$)	400

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En el presente documento se logró diseñar un vehículo impulsado por un motor eléctrico; este sistema hace uso de los mecanismos utilizados actualmente en el rubro (dirección, transmisión, aceleración) y propone como innovación el uso de un motor eléctrico con un sistema de control de velocidad destinado al ahorro energético. Este vehículo también cumple con las normas establecidas por la CIKFIA: dimensiones del vehículo, uniones soldadas de la estructura, uso de acero estructural, entre otros, sin embargo, su implementación abarca también la extensión de estas normas, de esta manera la tendencia mundial eco-amigable de optar por el uso de vehículos eléctricos tendrá una guía para el diseño específico de este tipo de vehículos.

Se logró diseñar un chasis que soporte la carga de choque de 155 kN (considerando la deformación de los parachoques) y se utilizaron dos diferentes tipos de perfiles: perfil en C de 25 x 75 mm y perfil rectangular de 25 x 75 mm (elaborados a mano) para lograr una mayor eficiencia en cuanto al espacio y obtener una mejor distribución de las baterías en la parte inferior del vehículo. Esta distribución también contribuye a que el peso total del vehículo (235 Kg) ubica el centro de masa ($x = 277.5$ mm, $y = 731.3$ mm) cerca al centro geométrico de la estructura del vehículo ($x = 277.5$ mm, $y = 717.5$ mm), lo que evita que el vehículo se voltee al momento de realizar una curva a alta velocidad.

Se definió el sistema de dirección gracias a la venta de un kit por parte de los proveedores SK Racing y Cut Price Racing. El sistema de transmisión debido a la falta de capacidades mecánicas por parte de las fajas y cadenas convencionales y por la falta de información de los elementos de transmisión especializados, requirió el uso de fajas sincrónicas con una relación de 1:5.

El sistema de aceleración y frenado se seleccionó considerando componentes del proveedor SK para asegurar la compatibilidad entre elementos del sistema de frenado.

Finalmente, se seleccionaron dos motores AC que pueda proveer la potencia mínima necesaria de 91 kW para lograr una aceleración de 0 a 100 km/h en menos de 4 segundos y dos drivers emDrive 500 específicamente desarrollado para el manejo del motor, para poder operarlos de manera separada. Se seleccionaron dos bancos de baterías independientes de 140 celdas cada uno de 112 V (aprox.) y 32 Ah, que proveerán al motor del voltaje y carga energética necesaria para lograr un recorrido de al menos 32 Km a 100 km/h (17 km de autonomía por cada motor).

RECOMENDACIONES

Es imposible ignorar la tendencia que está teniendo la industria relacionada con la disminución de energía gastada en relación con la distancia recorrida. Es por esto que se propone diseñar un control que permita la regulación de la velocidad junto con una serie de secuencias de encendido y apagado según las necesidades del piloto y así poder mejorar la autonomía base del vehículo.

Si bien se han realizado mejoras electrónicas al vehículo, se han mantenido componentes mecánicos actuales. Es importante determinar cuando es necesario un cambio, dada la simpleza de estos mecanismos existe una gran facilidad al momento de reemplazarlos por un repuesto, lo cual es muy conveniente en un ambiente de competición; un sistema mecánico – eléctrico puede tener un menor peso que un sistema mecánico, sin embargo, ofrece una mayor complejidad que puede alargar el tiempo necesitado al momento de un reemplazo y no necesariamente es positiva en este tipo de eventos.

TRABAJO FUTURO

Con el objetivo de mejorar el rendimiento del vehículo, en el desarrollo mecánico se propone el diseño de los paneles plásticos ubicados sobre los parachoques y su análisis para mejorar la aerodinámica.

Adicionalmente, se propone el uso de palancas de cambios que permitan al piloto manipular la potencia máxima a la que puede acceder el motor y lograr así un mayor control sobre la marcha.

Finalmente, se propone el diseño de un sistema para desenergizar las baterías en base a la lectura de una fuerza de colisión mayor a la soportada por el chasis.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfano (Sin fecha). Installation of the Position Sensors. Recuperado de https://www.alfano.com/wp-content/uploads/2013/12/inst_sensor_positions_en.pdf
- Ardupilot. (Sin fecha). Ardupilot. Recuperado de <http://ardupilot.org/>
- Attarde, R, Chougule A. y Magdum R. (2018). Material Based FEA Analysis of a Go-Kart Chassis: A Comparative Study. *Advancer Engineering Forum*, 10-25.
- Australian Academy of Science. (Febrero, 2015). The science of climate change. Recuperado de <https://www.science.org.au/files/userfiles/learning/documents/climate-change-r.pdf>
- Bhargava, K. (2003) Analysis and Design of a Gear Shifting Mechanism for Transmission Based Actuators (TFM).
- Blue Shock Race. (Sin fecha). BSR19 SPORTS 25KW (Adult). Recuperado de http://blueshockrace.com/electric_karts/
- Bosch. (Sin fecha). Accelerator-pedal module. Recuperado de <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/gasoline-direct-injection/accelerator-pedal-module/>
- Brain. (Sin fecha). Brain. Recuperado de <http://brainsomeness.com>
- Cardoso, C., Ferreira, V. Alves, V. y Esteves R. (2006). The design and implementation of an electric go.kart for education in motor control. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*.
- Chaney, G. (2007). *EE.UU.* Patente N°. 7,201,384 B2.
- Commission Internationale de Karting (CIK FIA). (2019). Karting Technical Regulations. Recuperado de http://www.cikfia.com/fileadmin/content/REGULATIONS/Technical/Technical%20Regulations/2019/Web_RT2019.pdf
- Crolla, D. (2015) *Encyclopedia of Automotive Engineering*. John Wiley & Sons.
- DMK Racing. (07 de febrero de 2017). Sistema de Dirección de un kart. Recuperado de <https://dmkracing.com/noticias/sistema-de-direccion-de-un-kart/>
- DMK Racing. (25 de abril de 2017). Como hacer un buen Mantenimiento y Purgado del Sistema de frenos de un kart. Recuperado de <https://dmkracing.com/noticias/sistema-frenos-mantenimiento-y-purgado/>
- Ecologistas en Acción. (01 de setiembre de 2008). ¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud?. Recuperado de <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>
- Electric GT. (Sin fecha). The Electric GT EKart. Recuperado de <http://www.electricgt.co/ekarting>
- Electric Scooter Parts. (Sin fecha). Premium Foot Pedal Throttle. Recuperado de <https://www.electricscooterparts.com/throttlesstandard.html>
- Electromovilidad. (Sin fecha). Tipos de motores eléctricos. Recuperado de <http://electromovilidad.net/tipos-de-motores-electricos/>
- EV-FUN. (Sin fecha). GoKart 2. Recuperado de <http://www.ev-fun.eu/electric-gokart-2/>
- Gergaud, W. (2017). *EE.UU.* Patente N°. 9,650,079 B2.
- Graphene-Info. (24 de enero de 2019). Graphene batteries: Introduction and Market News. Recuperado de <https://www.graphene-info.com/graphene-batteries>

- Hella. (Sin fecha). Accelerator pedal sensor. Recuperado de <https://www.hella.com/techworld/us/Technical/Sensors-and-actuators/Accelerator-pedal-sensor-3851/#>
- I-Laps. (Sin fecha). I-Laps. Recuperado de <https://i-laps.com/>
- Kart Fab. (Sin fecha). Go Kart Throttle Cable: Parts Kit & Setup. Recuperado de <https://kartfab.com/go-kart-plans/go-kart-throttle-cable>
- Ko, J., Ko S., Son H. Yoo B., Cheon J. y Kim, H. (2015) Development of Brake System and Regenerative Braking Cooperative Control Algorithm for Automatic-Transmission-Based Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64.
- Kreisel. (Sin fecha). Electric Kart. Recuperado de <https://www.kreiselectric.com/projekte/electric-kart/>
- Larminie, J. y Lowry J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. John Wiley & Sons.
- LG Chem. (Sin fecha). Automotive Battery. Recuperado de <https://www.lgchem.com/global/vehicle-battery/car-batteries/product-detail-PDEB0001>
- Llwelyn, C. y Howard, P. (2016). *EE.UU. Patente N°. D775,282 S.*
- Llwelyn, C. y Howard, P. (2016). *EE.UU. Patente N°. D783,726 S.*
- Lucid, J. y Brown R. (1994). *EE.UU. Patente N°. 5,305,513.*
- Miles, J. (1994). *EE.UU. Patente N°. 5,338,247*
- Ministerio de Ambiente. (04 de diciembre de 2013). El Perú crece a mayor ritmo que sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/prensa/2013/12/04/el-peru-crece-a-mayor-ritmo-que-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-gei/>
- Ministerio de Ambiente. (2015). Perú: Un país vulnerable. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/vocesporclima/wp-content/uploads/sites/111/2015/12/Qué-se-hace-en-Perú-unido.compressed.pdf>
- Mirone G. (2010). Multi-body elastic simulation of a go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance. *International Journal of Automotive Technology*, 461-569.
- Nakamura, Y., Ezaki H., TAN Y. y Chung W. (2001) Designo f steering mechanism and control of nonholonomic trailer systems. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17.
- Okamoto, S. (1977) *EE.UU. Patente N°. 4,055,021.*
- Pérez, Y., Osuna, I., Avilés, C. y Villegas, J. (2018). Power Supply Management of and Electric Vehicle Using Fuzzy Logic. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*
- Race Cloud. (Sin fecha). Innovative 3-Component Live Telemetry Solution for Go Karting. Recuperado de <http://www.racecloud.net/>
- Ruiz, F. (2017) Diseño del sistema de transmisión de un kart con motor de 4 tiempos (TFG).
- Segway. (Sin fecha). Ninebot Gokart Kit. Recuperado de <http://www.segway.com/products/consumer-lifestyle/ninebot-gokart-kit>
- Simionescu, P. y Smith M. (2000). Initial Estimated in the Design of Rack-and-Pinion Steering Linkages. *Journal of Mechanical Design*.
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. (04 de octubre de 2017). Perú: ¿En cuánto se redujo la contaminación durante el día del Censo 2017?. Recuperado de <https://www.actualidadambiental.pe/peru-en-cuanto-se-redujo-la-contaminacion-durante-el-dia-del-censo-2017/>
- Sodikart. (Sin fecha). Sodi RTX. Recuperado de <https://www.sodikart.com/es-es/karts/rental/rtx-8.html>

Spadafora, W. (2000). *EE.UU.* Patente N°. 6,575,264 B2.

Syukri, A., Khairil, M., Mohd, M., Mailah, N. y Lutfi, M. (2018). A Single Battery Bank, Three-Phase Cascaded Multilevel Inverter with the Least Number of Conducting Switches. *International Conference on Power and Energy (PECon)*.

Telma. (Sin fecha). Principios de Funcionamiento de un Ralentizador Telma. Recuperado de <https://es.telma.com/produits/fonctionnement>

Tesla. (Sin fecha). Powerwall. Recuperado de <https://www.tesla.com/powerwall?redirect=no>

The World Quality Project. (01 de setiembre de 2019). Contaminación del Aire de Lima. Recuperado de <https://aqicn.org/city/lima/es/>

Wang, Y. y Lui Y. (2011). Electronic Control System Design and Test of Pure Electric Vehicle Battery Management System. *Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*.

Wang, T, Mi J., Cai Z., Lian X. Y Chen X. (2017). Vehicle Dual-Redundancy Electronic Steering Wheel System. *International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering*.

Zenit. (Sin fecha). Relación de transmisión en el Kart: piñón y corona. Recuperado de <https://www.zenitkart.com/relacion-transmision-kart/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
PERÚ**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UN KART ELÉCTRICO PROFESIONAL

ANEXOS

AUTOR:

Gonzalo Javier Pariona Pino

ASESOR:

Diego Martín Arce Cigüeñas

Lima, Setiembre, 2022

INDICE

A.	ANEXO A: LISTAS DE REQUERIMIENTOS	1
B.	ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULOS DE REQUERIMIENTOS	8
C.	ANEXO C: MATRIZ MORFOLÓGICA	9
D.	ANEXO D: CONCEPTOS DE SOLUCIÓN	15
E.	ANEXO E: CÁLCULOS DE CHASIS	20
F.	ANEXO F: SIMULACIÓN DE MODIFICACIONES AL CHASIS	26
G.	ANEXO G: CÁLCULOS DE EJE POSTERIOR	29
H.	ANEXO H: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE FAJA Y POLEAS	33
I.	ANEXO I: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE MOTOR	35
J.	ANEXO J: CÁLCULOS DEL SOPORTE DE MOTOR	37
K.	ANEXO K: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS	39
L.	ANEXO L: DETALLE REQUERIMIENTOS	40
M.	ANEXO M: ESTRUCTURA DE FUNCIONES	45
N.	ANEXO N: EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA	49
O.	ANEXO O: CONCEPTO DE SOLUCIÓN ÓPTIMO	54

ANEXO A: LISTAS DE REQUERIMIENTOS

En el presente documento se detalla la lista de exigencias elaborada a partir del reglamento “Karting Technical Regulations” presentado por la CIKFIA para el presente año. Dada la complejidad del sistema, se ha dividido en 6 subsistemas con función principal propia: Subsistema de dirección y transmisión, subsistema de chasis y carrocería, subsistema de aceleración y frenado, subsistema de propulsión, subsistema de control y subsistema de recopilación de datos. Para aquellos requerimientos que aplican para todos los subsistemas se presenta el subsistema global.

Tabla A.1: Lista de exigencias – Global

LISTA DE REQUERIMIENTOS			Pág. 1 de 1
			Edición: 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	Fecha: 15/05/2019
			Revisado:
SUBSISTEMA:		GLOBAL	Elaborado: G.P.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	D	Uso: Todos los interruptores así como pantallas deberán de ser a prueba de agua. El ruido producido por el vehículo no debe de superar los 108 dB/A.	G.P.
15-Mar	E	Ergonomía: Se debe proponer un cableado que no afecte al movimiento del piloto en todo momento. El asiento del piloto debe permitir que el piloto se encuentre en una posición fija a pesar de todos los movimientos bruscos que el vehículo pueda efectuar.	G.P.
15-Mar	E	Montaje: Todos los subsistemas deben de estar adheridos fijamente al vehículo. La batería se debe de encontrar integrada en la estructura del vehículo.	G.P.
15-Mar	E	Geometría: El ancho de las llantas no debe superar los 250 mm y su diámetro, los 350 mm.	G.P.
15-Mar	D	Material: Usar materiales y medidas comerciales	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.2: Lista de exigencias – Dirección y transmisión

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
			Edición: 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	Fecha: 15/05/2019
			Revisado:
SUBSISTEMA:		Dirección y transmisión	Elaborado: G.P.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Modificar la dirección del vehículo cuando se encuentra en movimiento y transmitir la potencia del motor a un eje y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	E	Cinemática: La presencia de un elemento diferencial debe de estar fuera del concepto de diseño. Radio de giro menor a 8 m.	G.P.
15-Mar	E	Estructura: Secciones tubulares de 18 mm de diámetro y 1.8 mm de espesor como mínimo.	G.P.
15-Mar	E	Montaje: Tracción trasera. La caja de cambios no puede ser operado por cables o cadenas.	G.P.
15-Mar	E	Material: El timón debe de ser fabricado con un material tipo acero o aluminio.	G.P.
15-Mar	D	Señales: Entrada: RPM del eje trasero Salida: Velocidad actual	G.P.
15-Mar	D	Mantenimiento: La transmisión y dirección deben de ser de fácil mantenimiento, por lo que se debe poder acceder a ellas de manera rápida y sencilla.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.3: Lista de exigencias – Chasis y carrocería

LISTA DE EXIGENCIAS		Pág. 1 de 1	
		Edición: 1	
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	
SUBSISTEMA:		Chasis y carrocería	
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Soportar las cargas que son ejercidas al sistema al momento de estar en movimiento o ante un posible accidente, albergar a los componentes, proveer al vehículo de eficiencia aerodinámica y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	E	Geometría: La estructura, sin los parachoques delanteros y laterales, no debe de exceder los 182 cm x 140 cm. Los parachoques laterales deben de poseer una longitud de 500 mm como mínimo, los posteriores deben poseer una longitud de 1340 mm como mínimo y los frontales, 450 como mínimo. Paneles sin ángulos cortantes con 5mm de radio de redondeo.	G.P.
15-Mar	E	Montaje: La estructura debe de ser modular, separando los parachoques (frontal, posterior y lateral) de la estructura en sí. Sin embargo, las diferentes partes por separado deben de estar unidas por el proceso de soldadura. Los parachoques deben de poseer 4 puntos de anclaje en el chasis.	G.P.
15-Mar	E	Material: Acero estructural o aleaciones del mismo (máximo 5%) que cumplan con la clasificación ISO 4948. No se debe hacer la estructura de titanio. Paneles de material no metálico.	G.P.
15-Mar	E	Estructura: Sección circular de máximo 40 mm de diámetro y con un mínimo de 2.5 mm de espesor. Los parachoques deben de poseer una sección circular de mínimo 20 mm de diámetro.	G.P.
15-Mar	E	Fuerzas: Soportar tanto las cargas que se ejercen al momento de colisionar con otro vehículo u objeto (155 kN).	G.P.
15-Mar	E	Ergonomía: La estructura debe de encontrarse a una altura como máximo de 65 cm del suelo. Esta altura incluye a la estructura más las llantas. Debe poseer un suelo que separe al piloto de la pista.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.4: Lista de exigencias – Aceleración y frenado

LISTA DE EXIGENCIAS		Pág. 1 de 1	
		Edición: 1	
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	
		Fecha: 15/05/2019	
		Revisado:	
SUBSISTEMA:		Aceleración y frenado	
		Elaborado: G.P.	
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Modificar el valor de la velocidad del vehículo y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	E	Fuerzas: Los pedales deben de poder soportar las cargas ejercidas por el piloto al momento de maniobrar el vehículo (120 N). Debe de existir un freno que actúe continuamente sobre las ruedas cuando el vehículo esté apagado para que permanezca inmóvil.	G.P.
15-Mar	E	Montaje: El subsistema de frenado debe de ser instalado en los 2 ejes y los pedales no deben de sobresalir fuera del chasis.	G.P.
15-Mar	E	Material: Los discos de freno y el pedal de freno deben de ser de material tipo acero o acero inoxidable.	G.P.
15-Mar	E	Control: El subsistema de aceleración debe de ser eléctrico y poseer un sistema de control sobre la variable de velocidad.	G.P.
15-Mar	E	Funcionamiento: Los frenos deben de ser operados mediante un sistema hidráulico.	G.P.
15-Mar	D	Señales: Entrada: Posición de los pedales, estado del freno de mano. Salida: Cantidad de aceleración/frenado, estado del freno de mano.	G.P.
15-Mar	E	Seguridad: Los frenos delanteros deben de operar independientemente de los traseros en lo que programación se refiere. El freno continuo debe de ser totalmente independiente de los 4 frenos.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.5: Lista de exigencias – Propulsión y energía

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
			Edición: 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	Fecha: 15/05/2019
			Revisado:
SUBSISTEMA:		Propulsión y energía	Elaborado: G.P.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Impulsión y energización para el movimiento del Kart y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	E	Fuerzas: El (los) motor(es) debe de proporcionar el torque necesario para poder llegar a los 100 km/h.	G.P.
15-Mar	D	Cinemática: El (los) motor(es) debe de poder permitir acelerar de 0 a 100 km/h en 4 segundos como mínimo.	G.P.
15-Mar	E	Energía: El motor debe de tener una potencia de 50 hp como mínimo.	G.P.
15-Mar	E	Señales: Entrada: Señal de arranque. Salida: Estado del motor.	G.P.
15-Mar	D	Uso: La batería debe de ser a prueba de agua (IP 66).	G.P.
15-Mar	E	Montaje: El motor debe de ser desmontable en caso se necesite cambiar.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.6: Lista de exigencias – Control

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
LISTA DE EXIGENCIAS			Edición: 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	Fecha: 15/05/2019
SUBSISTEMA:		Control	Revisado:
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Controlar la velocidad del vehículo proporcionada por el motor y la distribución de energía que se da a partir del banco de baterías y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	D	Energía: La autonomía de la batería debe de ser de 8 Km como mínimo.	G.P.
15-Mar	E	Señales: Entrada: Velocidad del vehículo, posición del pedal de aceleración. Salida: Estado de las baterías, velocidad del motor.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.7: Lista de exigencias – Recopilación de datos

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
			Edición: 1
PROYECTO:		DISEÑO DE UN KART PROFESIONAL	Fecha: 15/05/2019
			Revisado:
SUBSISTEMA:		Recopilación de datos	Elaborado: G.P.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
15-Mar	E	Función principal: Sensar diferentes datos referentes al movimiento del vehículo y el procesamiento de los mismos y seguir los requerimientos de la CIKFIA.	G.P.
15-Mar	D	Señales: Entrada y salida: La temperatura del motor, la velocidad del vehículo, la aceleración y los tiempos por vuelta.	G.P.
15-Mar	E	Comunicación: No se debe de enviar los datos a otros usuarios, solo se deben de mostrar los datos al piloto.	G.P.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULOS DE REQUERIMIENTOS

Fuerza de colisión

Se establece 60 km/h como velocidad máxima de colisión del vehículo, a partir de velocidades más altas se propone el complementar el manejo con el uso de elementos de protección como cascos, guantes, ropa especial, entre otros.

La fórmula utilizada para obtener la cantidad de fuerza originada al momento de una colisión (fuerza de choque) es la de la ecuación B.2.

$$F_c = \frac{M * v^2}{2 * d} \quad (ec. B. 1)$$

Por lo que, al reemplazar con los posibles valores, considerar que la distancia a deformar es la del parachoques frontal:




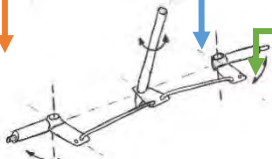
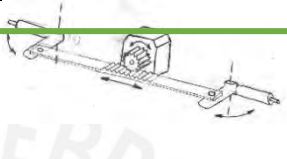
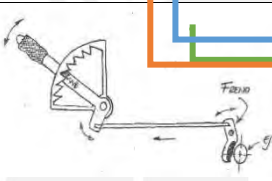
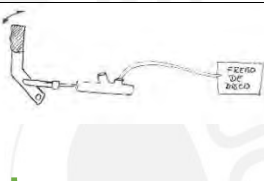
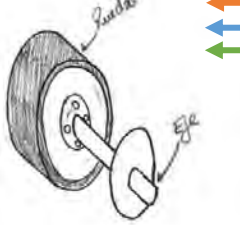
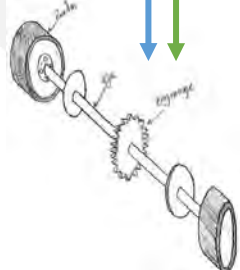
M	235 kg
V	60 km/h
D	210 mm

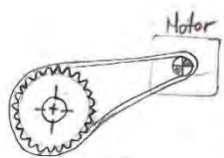
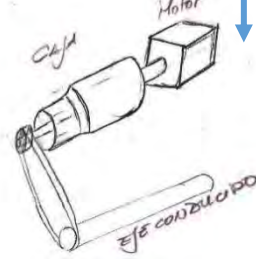
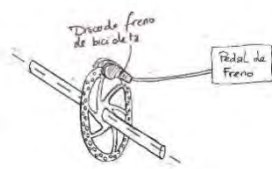
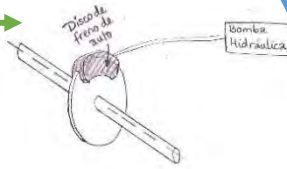






Se obtiene como resultado:

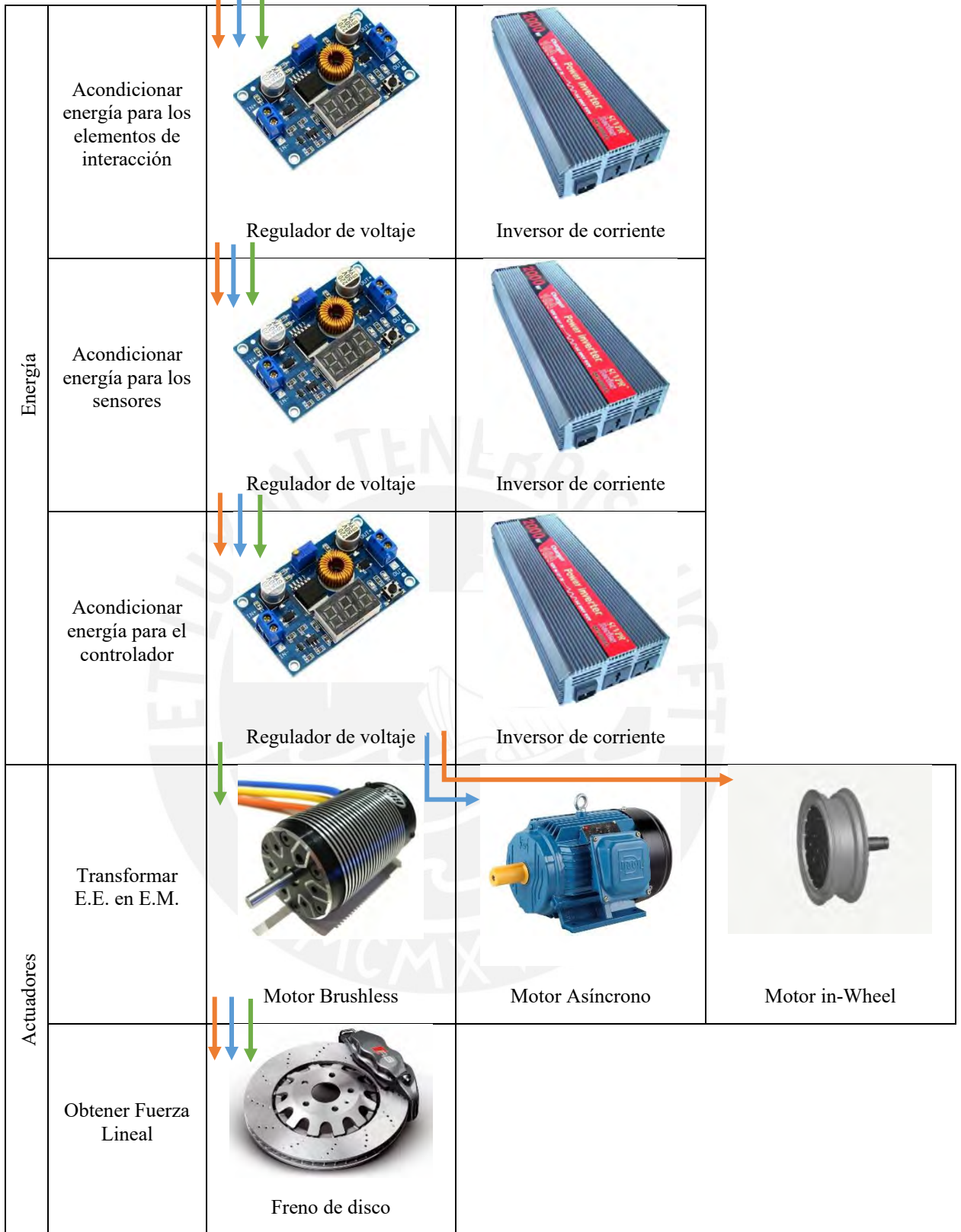
$$F_c = 155423.28 \text{ N}$$














ANEXO C: MATRIZ MORFOLÓGICA








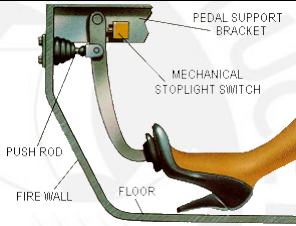

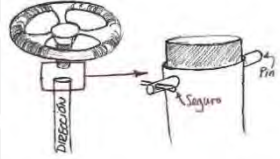

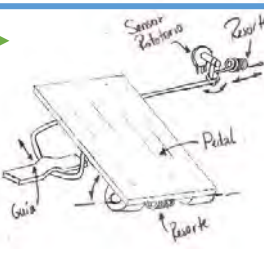
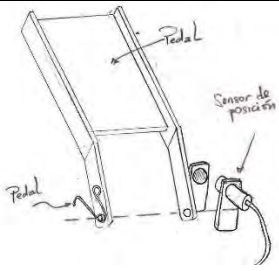
Tabla C.1: Matriz morfológica


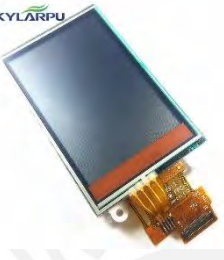

Mecánica	Albergar / proteger / soportar piloto y componentes varios	 Chasis con batería en el medio	 Chasis con batería a los costados	 Chasis con batería en la parte posterior
	Manipular la dirección de las ruedas	 Dirección mecánica	 Dirección eléctrica	
	Frenar por completo	 Freno mecánico	 Freno hidráulico	
	Realizar movimiento frontal	 Ejes con ruedas		
	Realizar movimiento posterior	 Eje con ruedas		

Mecánica	Transmitir potencia	 <p>Motor</p> <p>Transmisión simple</p>	 <p>Motor</p> <p>Caja</p> <p>EJE CONDUCIDO</p> <p>Transmisión automática</p>	
	Transformar F.L. en F. de fricción	 <p>Discos freno de bici de 12"</p> <p>Pedal de Freno</p> <p>Frenado mecánico</p>	 <p>Discos freno de auto</p> <p>Bomba Hidráulica</p> <p>Frenado hidráulico</p>	
Energía	Acondicionar energía	 <p>Rectificador de corriente</p>		
	Almacenar energía	 <p>Batería de litio</p>	 <p>Batería de Niquel</p>	 <p>Batería de plomo</p>
	Acondicionar energía para los actuadores	 <p>Regulador de voltaje</p>	 <p>Inversor de corriente</p>	



Sensado	Sensar posición del freno	 Sensor de efecto hall	 Potenciómetro	 Encoder
	Sensar posición del acelerador	 Sensor de efecto hall	 Potenciómetro	 Encoder
	Sensar posición del freno de mano	 Interruptor	 Potenciómetro	 Fin de carrera
	Sensar energía restante	 Sensor de voltaje	 Coulomb counter	
	Sensar revoluciones por minuto	 Sensor de efecto hall	 Sensor de velocidad	

Sensado	Sensar temperatura	 Sensor termopar	 Sensor RTD	 Sensor termistor
	Elemento de control	 Microcontrolador	 Microcomputadora	 FPGA
	Transformar E.M. en Fricción continua	 Mecanismo de mano	 Mecanismo de pie	
Interfaz	Aumentar Torque de E.M.	 Timón fijo	 Timón desacoplable	
	Transformar E.M. en E.E. de fricción	 Módulo de pedal	 Sensado por sistema rotatorio	 Sensado por sistema de acercamiento

Interfaz	Transformar E.M. en E.E. de movimiento	 <p>Módulo de pedal</p>	 <p>Sensado por sistema rotatorio</p>	 <p>Sensado por sistema de acercamiento</p>
	Mostrar datos	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Pantalla TFT</p>	 <p>Luces LED</p>
	Energizar sistema	 <p>Llave de arranque</p>	 <p>Interruptor on/off</p>	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D: CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

Concepto de solución 1:

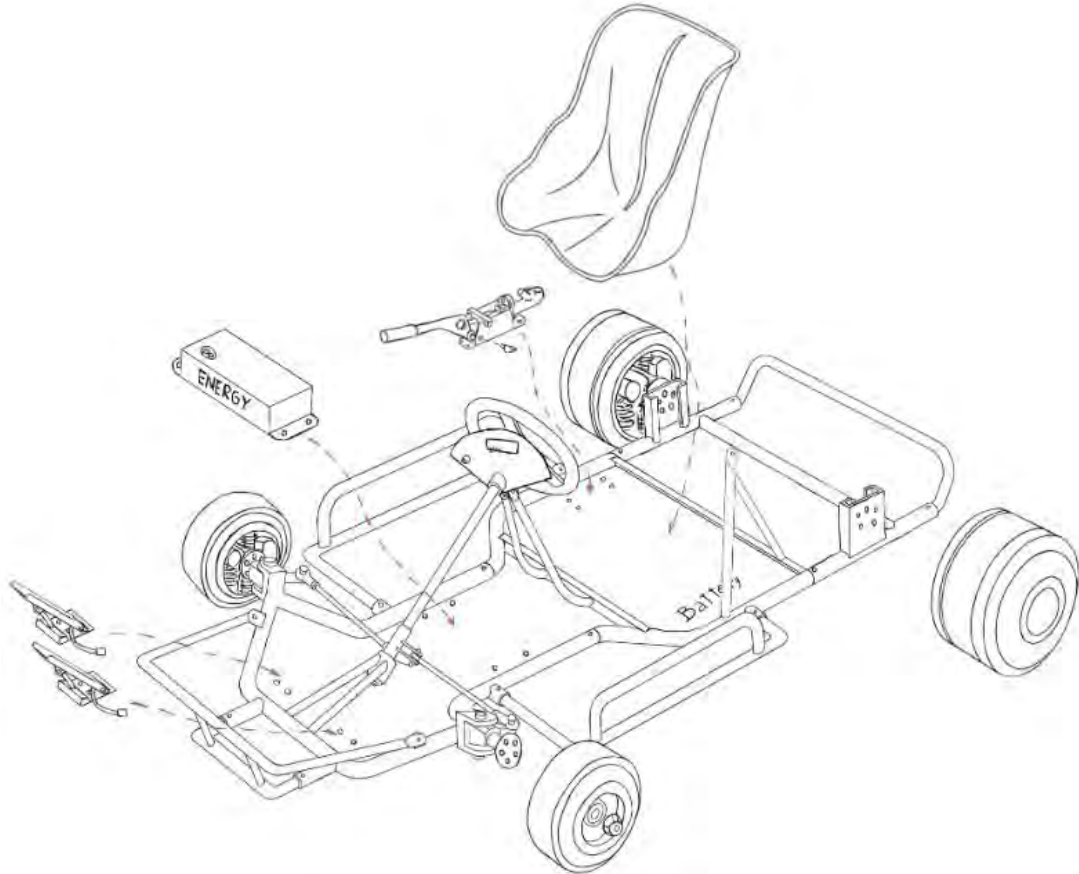


Figura D.1: Concepto de solución 1

Fuente: Elaboración propia.

El primer concepto de solución presenta un chasis tubular que incluye un arreglo de baterías de litio en su estructura, este chasis posee una característica modular lo que permite desmontar el bloque que contiene al banco de baterías y posee parachoques tanto en la parte lateral como en la frontal y la posterior. El vehículo cuenta con una dirección mecánica que varía el ángulo de las ruedas frontales y un timón que se encuentra fijo.

En cuanto a la propulsión del sistema, está a cargo de 4 motores integrados en cada una de las ruedas, lo cual significa una ausencia del eje posterior y de transmisión también. Estos motores cuentan con un sistema integrado de frenado hidráulico el cual estará unido a una bomba que distribuirá el líquido de freno según lo requiera el piloto. El sistema de freno de mano se encontrará enlazado con los frenos hidráulicos de los 4 motores.

Para el control de la velocidad se propone el uso de pedales comerciales los cuales cuentan con un sistema de medición de la posición del pedal integrado. Para el control de todo el sistema se usará un microcontrolador que recibirá las señales de temperatura del motor gracias a un sensor termopar y la velocidad actual del vehículo gracias a un sensor hall estacionario y un imán rotatorio.

En el caso de la batería, se propone energizarla con el uso de un rectificador y se usará un regulador de voltaje para energizar todo el sistema. Para realizar una medición de la batería actual se usará un sensor de voltaje. Todos los datos se mostrarán en una pantalla TFT y para poner en marcha el vehículo se hará por medio de una llave a arranque.

Concepto de solución 2:

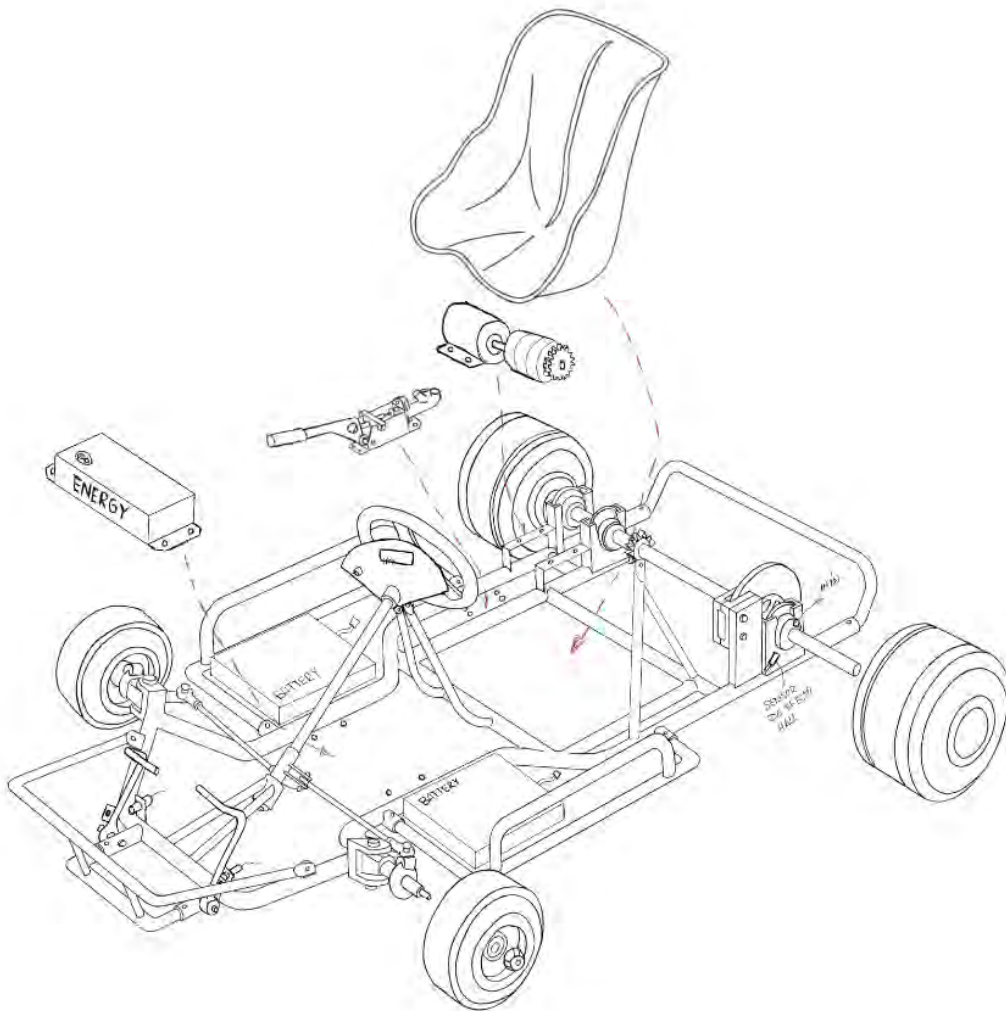


Figura D.2: Concepto de solución 2

Fuente: Elaboración propia.

El segundo concepto de solución presenta un chasis tubular que incluye un arreglo de baterías de níquel en sus parachoques laterales, este chasis posee parachoques tanto en la

parte lateral como en la frontal y la posterior. El vehículo cuenta con una dirección mecánica que varía el ángulo de las ruedas frontales y un timón que se encuentra fijo.

En cuanto a la propulsión del sistema, está a cargo de 1 motor asíncrono, el cual estará conectado a una caja de cambios automática, y esta al eje posterior mediante el uso de engranajes. Los ejes delanteros y el posterior cuentan con un sistema de frenado hidráulico de disco el cual estará unido a una bomba que distribuirá el líquido de freno según lo requiera el piloto. El sistema de freno de mano se encontrará enlazado con los discos de freno.

Para el control de la velocidad se propone el uso de pedales tubulares comerciales los cuales se adaptarán a un sistema de sensado por acercamiento mediante el uso de un sensor de efecto hall y un imán. Para el control de todo el sistema se usará un microcontrolador que recibirá las señales de temperatura del motor gracias a un sensor termopar y la velocidad actual del vehículo gracias a un sensor hall estacionario y un imán rotatorio.

En el caso de la batería, se propone energizarla con el uso de un rectificador y se usará un inversor de corriente para energizar el motor y un regulador de voltaje para energizar el resto del sistema. Para realizar una medición de la batería actual se usará un sensor Coulomb counter. Todos los datos se mostrarán en una pantalla TFT y para poner en marcha el vehículo se hará por medio de una llave a arranque.

Concepto de solución 3:

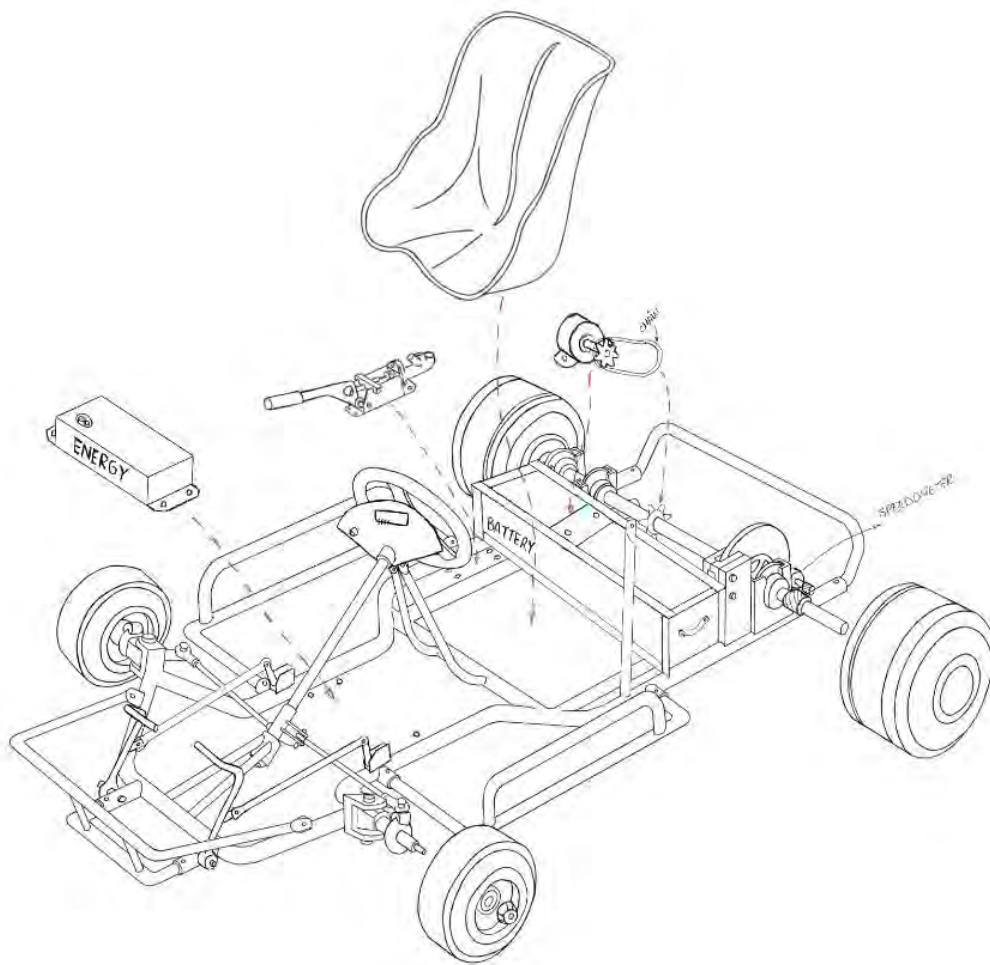


Figura D.3: Concepto de solución 3

Fuente: Elaboración propia.

El tercer concepto de solución presenta un chasis tubular que incluye un arreglo de baterías de litio en la parte posterior del asiento, este chasis posee parachoques tanto en la parte lateral como en la frontal y la posterior. El vehículo cuenta con una dirección mecánica que varía el ángulo de las ruedas frontales y un timón que se encuentra fijo.

En cuanto a la propulsión del sistema, está a cargo de 1 motor Brushless, el cual estará conectado al eje posterior mediante una cadena. Los ejes delanteros y el posterior cuentan con un sistema de frenado hidráulico de disco el cual estará unido a una bomba que distribuirá el líquido de freno según lo requiera el piloto. El sistema de freno de mano se encontrará enlazado con los discos de freno.

Para el control de la velocidad se propone el uso de pedales tubulares comerciales los cuales se adaptarán a un sistema de sensado por rotación mediante el uso de un potenciómetro. Para el control de todo el sistema se usará un microcontrolador que

recibirá las señales de temperatura del motor gracias a un sensor termopar y la velocidad actual del vehículo gracias a un sensor de velocidad denominado Speedometer.

En el caso de la batería, se propone energizarla con el uso de un rectificador y se usará un regulador de voltaje para energizar el todo el sistema. Para realizar una medición de la batería actual se usará un sensor Coulomb counter. Todos los datos se mostrarán en una pantalla TFT y para poner en marcha el vehículo se hará por medio de una llave a arranque.



ANEXO E: CÁLCULOS DE CHASIS

Para el desarrollo del presente anexo se ha tomado en consideración el libro *Mechanics of Materials* (Hibbeler, 2011).

Perfil tubular de la estructura principal

Los cálculos del perfil estructural comienzan con la Figura E.1 en la que se visualiza un momento crítico en el que la fuerza se distribuye sobre sólo uno de los soportes del parachoques, trasladándose de manera total a la estructura principal.

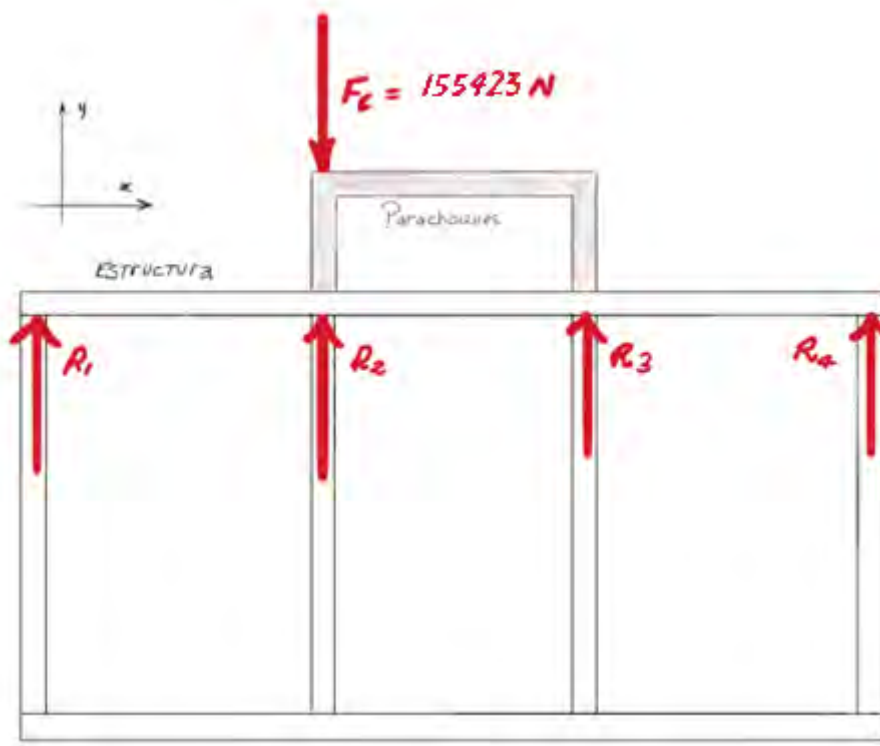


Figura E.1: Fuerza de colisión sobre todo el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la traslación de la fuerza hacia la estructura principal se obtiene un DCL como el de la Figura E.2 en el que se visualiza la fuerza de colisión $F_c = 155423.28 \text{ N}$ y las reacciones que causa sobre la estructura. La fuerza de colisión se calculó previamente en el Anexo B.

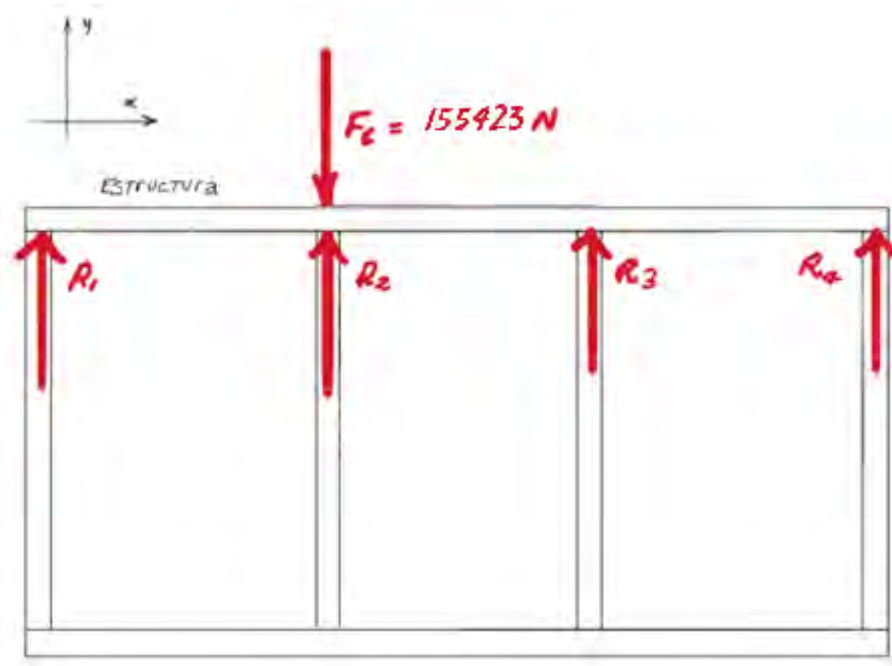


Figura E.2: DCL de la estructura principal.

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se pre-selecciona el perfil rectangular estructural de 75 x 25 x 3 mm creado a partir de una plancha de NAXTRA 700 QL con un esfuerzo de fluencia de 630 MPa del fabricante Aceros Arequipa, con estos datos se procede a realizar los cálculos para determinar el esfuerzo equivalente en la ecuación E.1.

$$\tau_c = \frac{F_c}{A}; \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 * (\tau_c)^2} \leq \frac{\sigma_F}{FS} \text{ (ec. E. 1)}$$

Haciendo uso de la ecuación anterior, los datos presentados y despreciando el esfuerzo normal dada la magnitud de la fuerza de corte se realiza el cálculo del esfuerzo equivalente, y asumiendo un factor de seguridad de 1.3 se obtiene como resultado lo presentado a continuación, lo que valida la selección del perfil (ec. E.2).

$$\sigma_{eq} = 477.3 \text{ MPa} \leq \frac{630}{1.3} = 484.6 \text{ MPa} \text{ (ec. E. 2)}$$

Perfil transversal en C

A partir del DCL de la Figura E.2 se asume la tendencia a cero de las reacciones R3, R4 y R1, dejando solo un perfil transversal como soporte al momento de la colisión. Dado el perfil en C de 75 x 25 x 3 mm creado a partir de una plancha de NAXTRA 700 QL con un esfuerzo de fluencia de 630 MPa del fabricante Aceros Arequipa:

$$\delta = \frac{P * L}{A * E} \quad (ec. E. 3)$$

Tomando en consideración una longitud de 555 mm, una fuerza de 155 423 N aproximadamente y el módulo de Young del acero, se reemplazan los valores en la anterior y se obtiene una deformación menor a 0.73 mm, lo cual es una deformación mínima y despreciable.

Adicionalmente se realiza un análisis por pandeo dada la magnitud de la carga, para esto se hace uso de la ecuación E.4.

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{I}{A} * \frac{\pi^2 * E}{L}} \leq \frac{\sigma_F}{FS} \quad (ec. E. 4)$$

Al reemplazar con los valores del perfil y asumiendo un factor de seguridad se valida la selección del perfil obteniendo un esfuerzo menor a la división del esfuerzo de fluencia sobre el factor de seguridad (ec. E.5).

$$\sigma_P = 21.4 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_F}{FS} = 420 \text{ MPa} \quad (ec. E. 5)$$

Unión por soldadura

La Figura E.3 presenta la distribución de cargas de uno de los perfiles en C así como los diagramas de fuerza y momento, los cuales se encontrarán unidos por soldadura a la estructura y serán el soporte de las baterías.

Se procede a realizar una descripción de las cargas en el DLC. En el punto A y G se encuentran las reacciones a las fuerzas en el resto de los puntos. En los puntos B y F se encuentran distribuidas las cargas (150,75 N) producidas por el peso de las baterías colocadas a lo largo de la estructura. En los puntos C y E se producen las cargas (175 N) generadas por el peso del piloto sobre el asiento y finalmente en el punto D se encuentran las fuerzas del peso del perfil y del peso de la dirección cuya suma da 59,5 N.

Dado que el perfil presenta soldaduras en los dos extremos, se dividirán las cargas para facilitar el cálculo del espesor mínimo de soldadura necesario. De esta manera se dividen los efectos que tienen las cargas en la soldadura en 3 diferentes casos. Se presentan los datos generales dependientes del espesor (a):

$$\text{Area (A)} = 238 * a; \bar{x} = \frac{-a^2}{119} + 0.97 * a + 6.08 \quad (ec. E. 6)$$

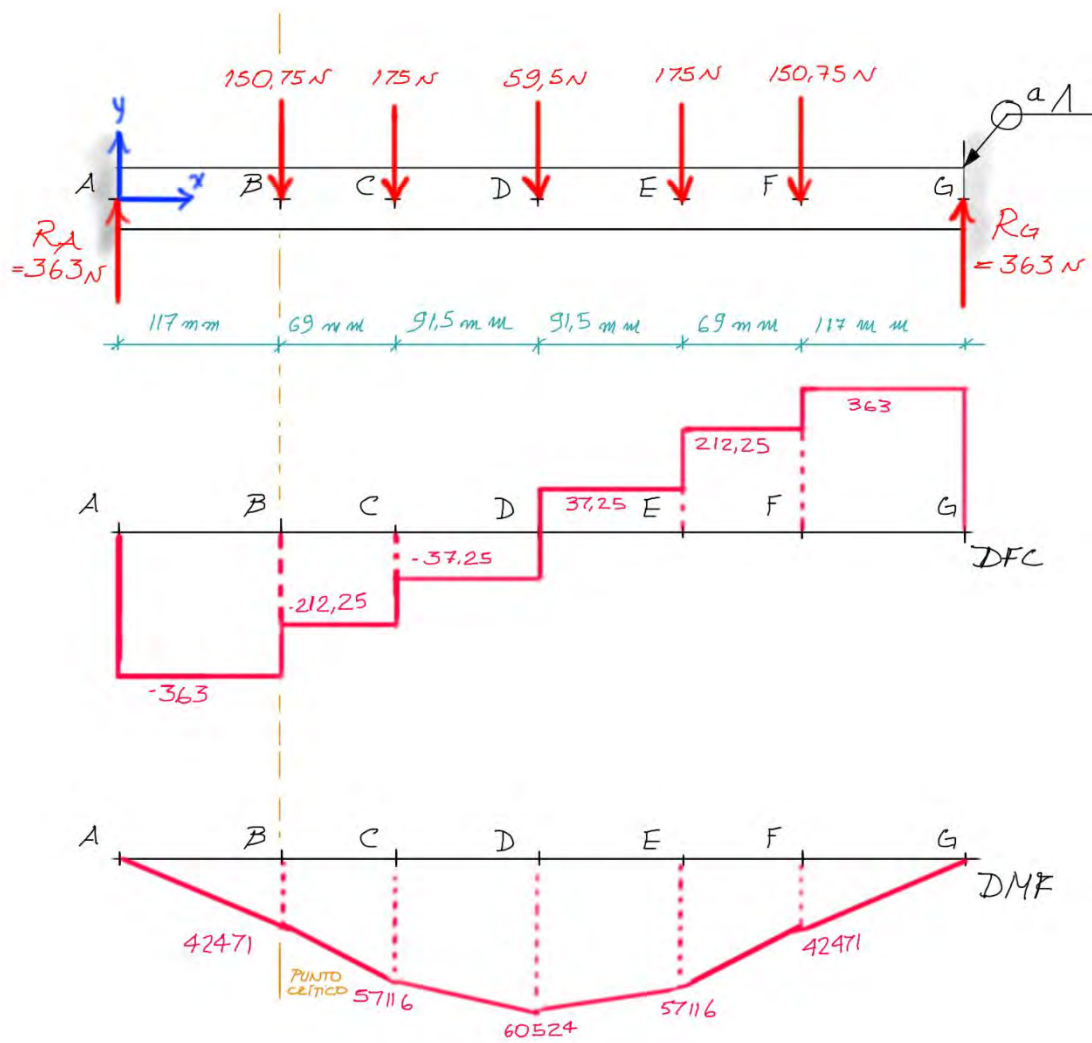


Figura E.3: Distribución de cargas

Fuente: Elaboración propia.

El primer caso involucra la carga axial adicional a la que es sometida la soldadura al momento de la colisión como se observa en la Figura E.4.

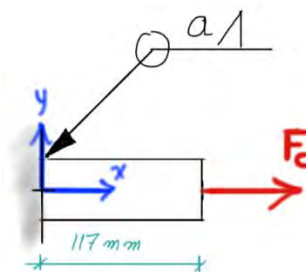


Figura E.4: Caso 1

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera con $F_c = 131723 \text{ N}$ y con la ecuación E.7:

$$\eta_1 = \frac{F_1}{A} \quad (\text{ec. E. 7})$$

El segundo caso involucra la fuerza cortante resultante al momento de trasladar todas las fuerzas a la posición del punto crítico (B) como se observa en la Figura E.5.

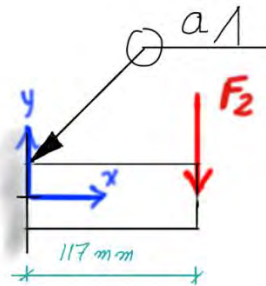


Figura E.5: Caso 2

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera con $F_2 = 212.25 \text{ N}$ y con la ecuación E.8:

$$\eta_2 = \frac{M_f * \bar{y}}{I}; \quad t_a = \frac{F_2}{A} \quad (\text{ec. E. 8})$$

El tercer caso involucra el momento que resulta de trasladar todas las fuerzas a la posición de la batería más cercana como se observa en la Figura E.6.

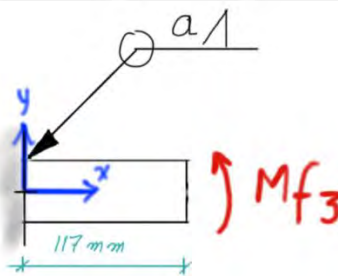


Figura E.6: Caso 3

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera con $M_{f3} = 42471 \text{ N.mm}$ y con la ecuación E.9:

$$\eta_3 = \frac{M_{f3} * \bar{y}}{I} \quad (\text{ec. E. 9})$$

Se calculan los esfuerzos equivalentes haciendo uso de la ecuación E.10.

$$\eta_t = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3; \quad \sigma_n = \frac{\eta_t + t_n}{\sqrt{2}}; \quad \tau_a = t_a \quad (\text{ec. E. 10})$$

Finalmente, haciendo iteraciones en Excel con **un cordón de soldadura de espesor de 2 mm** se verifica el cumplimiento de las condiciones necesarias para la validación del espesor.

Condición 1: Si cumple

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \sqrt{\sigma_n^2 + 3 * (\tau_a)^2} \approx 265.37 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_B}{\beta * \gamma} = \frac{420}{1 * 1.34} \\ &= 313.43 \text{ MPa (ec.E.11)}\end{aligned}$$

Condición 2: Si cumple

$$\sigma_n \approx 265.37 \text{ MPa} \leq 0.9 * \frac{\sigma_B}{\gamma} = 282 \text{ MPa (ec.E.12)}$$



ANEXO F: SIMULACIÓN DE MODIFICACIONES AL CHASIS

Simulación de impacto

La Figura F.1 representa la distribución propuesta para simulación del elemento lateral ante un choque lateral y la Figura F.3 referente a un choque frontal, en esta distribución se incluye la fuerza de colisión calculada en el Anexo B, el peso de la estructura y las uniones soldadas. Dado que Inventor no puede analizar objetos en movimiento, la información obtenida en estas simulaciones solo será como valores referenciales. Realizando la simulación en el programa Autodesk Inventor Professional 2019 se obtienen los datos de la Figura F.2 y Figura F.4, donde se puede observar el esfuerzo máximo de cada perfil estructural.

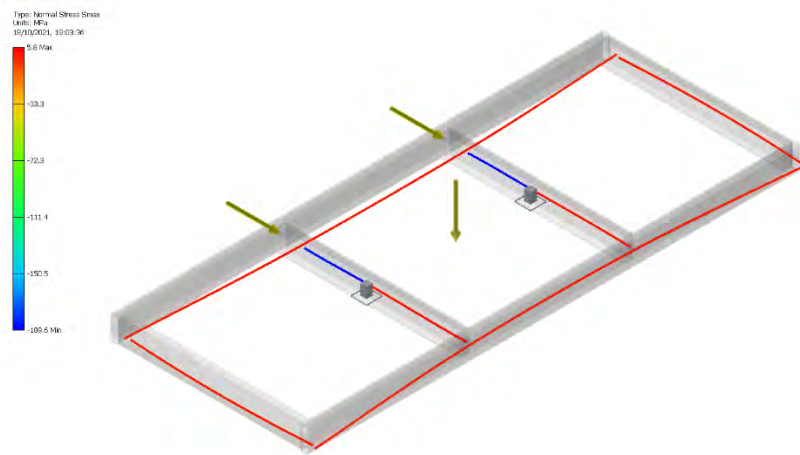


Figura F.1: Distribución para la simulación por impacto lateral.

Fuente: Elaboración propia.

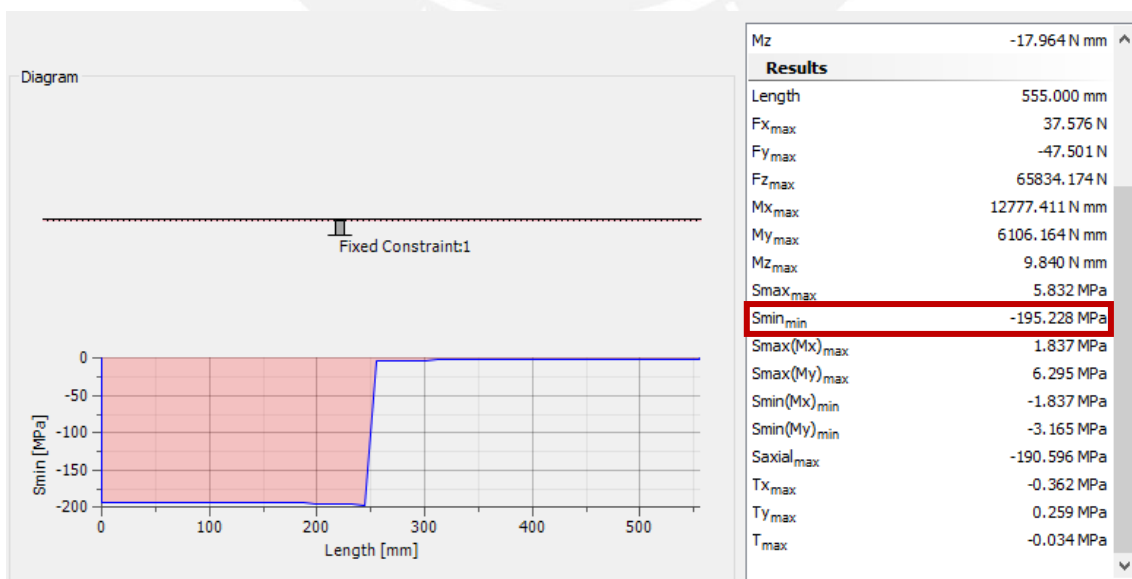


Figura F.2: Resultados de la simulación por impacto lateral.

Fuente: Elaboración propia.

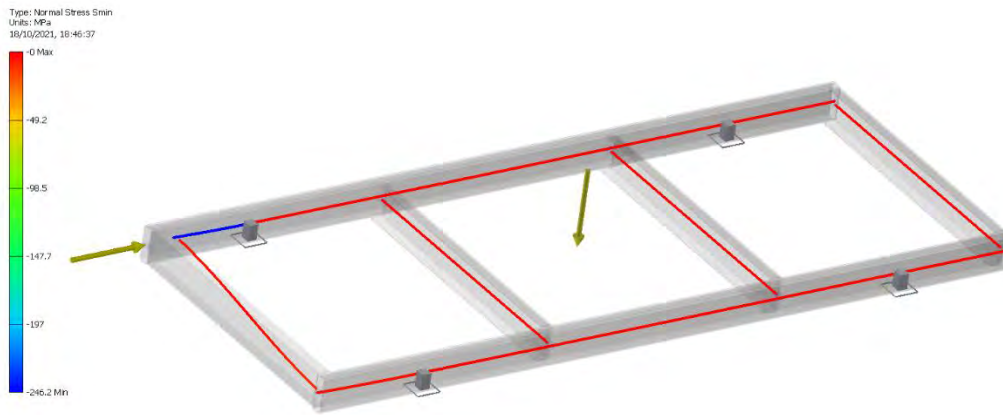


Figura F.3: Distribución para la simulación por impacto frontal.

Fuente: Elaboración propia.

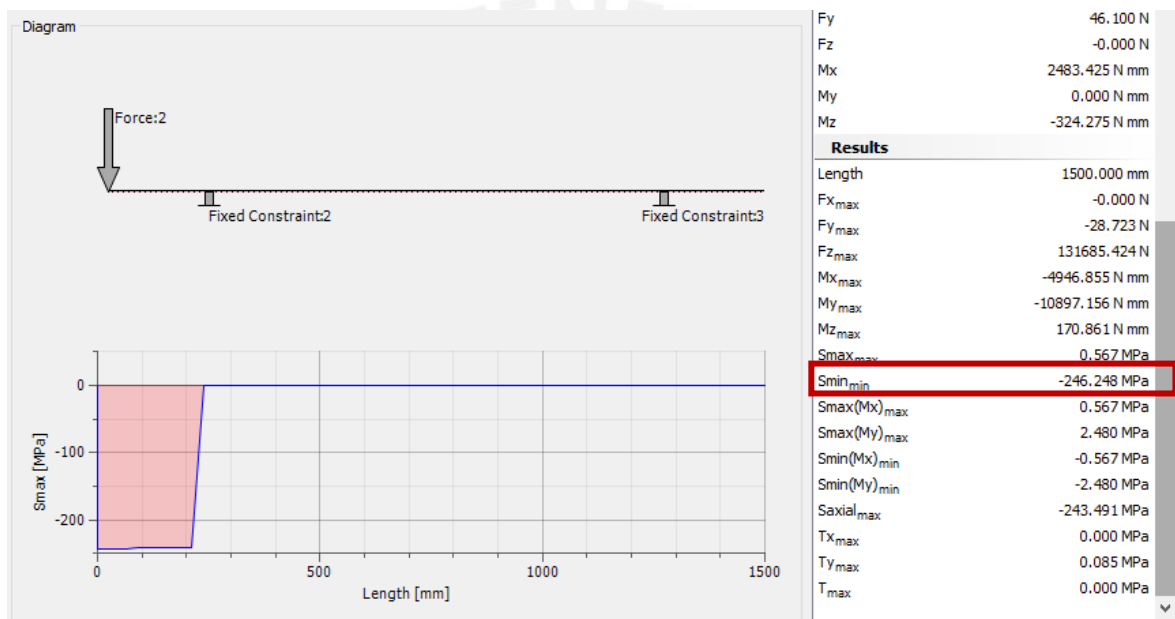


Figura F.4: Resultados de la simulación por impacto frontal.

Fuente: Elaboración propia.

Simulación de unión por soldadura

La Figura F.5 representa la distribución propuesta para la correcta simulación del perfil en L, en esta distribución se incluye el peso que ejerce el arreglo de baterías en cada punto y el peso del perfil en L. Cabe destacar que solo se está simulando la parte de interés, mas no la estructura base completa. Realizando la simulación en el programa Autodesk Inventor Professional 2019 se obtienen los datos de la Figura F.6 la que se puede observar el esfuerzo máximo que soporta cada soldadura (los extremos), lo cual valida la selección del perfil.

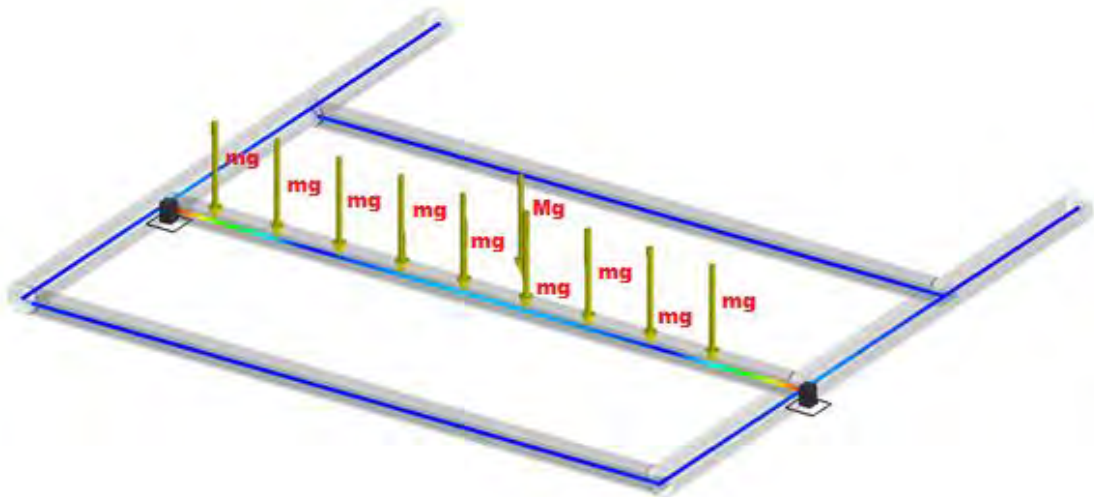


Figura F.5: Distribución para la simulación de unión por soldadura.
Fuente: Elaboración propia.

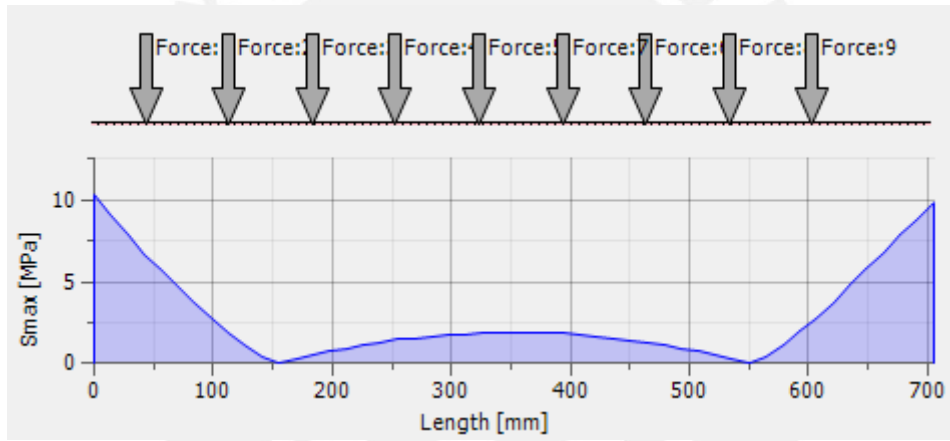


Figura F.6: Resultados de la simulación de unión por soldadura.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO G: CÁLCULOS DE EJE POSTERIOR

Para el desarrollo del presente anexo se ha tomado en consideración el libro Resistencia de Materiales 2 (Rodríguez, 2018).

Para la validación del eje macizo de 40 mm de acero 304 (inoxidable) fabricado a partir de una barra de 1 3/4" vendida por la empresa INAMESA se presenta el análisis de la Figura G.1.

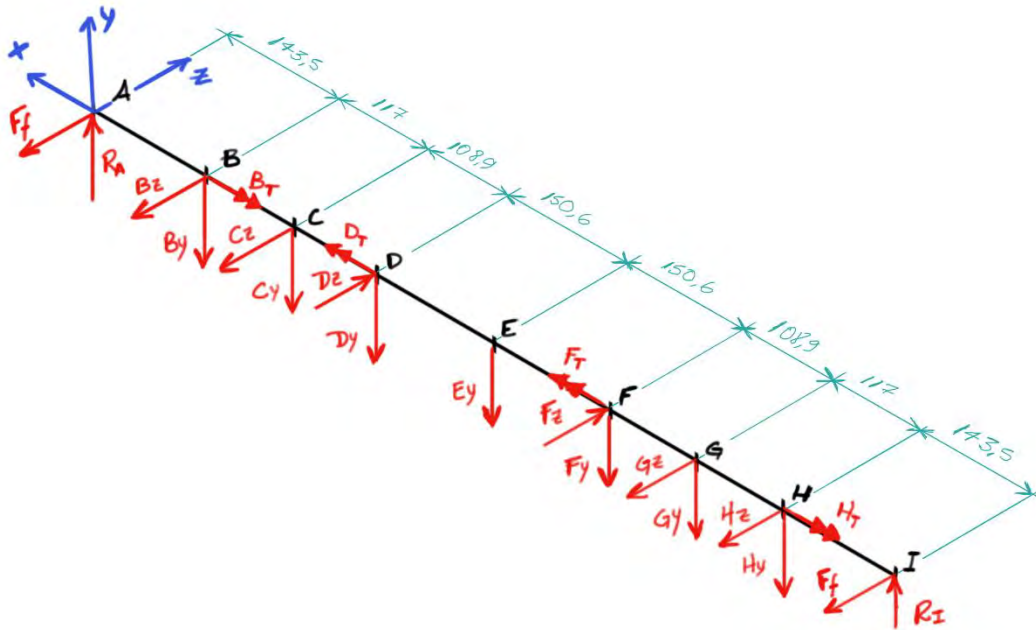


Figura G.1: DCL del eje posterior.

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos indicados presentan la siguiente nomenclatura y designación:

- A y I = Puntos de acople eje-rueda
- C y G = Puntos de acople eje-chasis
- D y F = Ubicación de las poleas
- E = Centro de masa del eje
- B y H = Ubicación del freno de disco

Cálculo de las fuerzas

Dado el torque del motor EMRAX 188 de 90000 N.mm y una relación de transmisión de 1.5 se determina $D_z = F_z = 25352.2$ N y $D_t = F_t = 134366.2$ N.mm

Peso del eje de 10 Kg, de las poleas 5.2 Kg, y del freno de disco 5 Kg. De esta manera: $B_y = H_y = 50$ N, $D_y = F_y = 52$ N y $E_y = 100$ N.

La fuerza de fricción F_f , repartida en cada una de las ruedas y dependiente de un peso promedio de 240 Kg (kart más piloto), es $F_f = 1470$ N.

El torque necesario para frenar un motor es de $B_t = H_t = 134366.2 \text{ N.mm}$ y considerando un diámetro de 175 mm, una fuerza de $B_z = H_z = 1535.6$

El peso que se ejerce sobre los acoples eje-chasis se encuentra simétricamente distribuido con una fuerza de $G_y = C_y = 600 \text{ N}$ en cada punto.

Por sumatoria de fuerzas: $C_z = G_z = 579.6 \text{ N}$ y $R_a = R_i = 752 \text{ N}$.

Con estos valores se arman los diagramas de distribución de fuerza en cada punto del eje posterior, los diagramas se presentan en la Figura G.2 y Figura G.3.

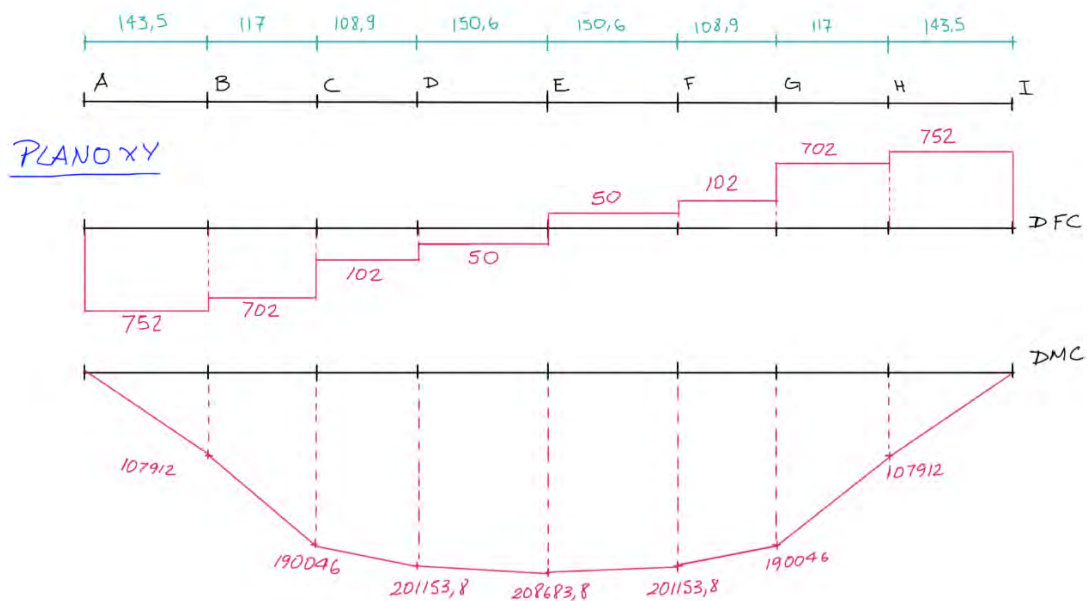


Figura G.2: Diagramas de distribución de fuerza: Plano XY

Fuente: Elaboración propia.

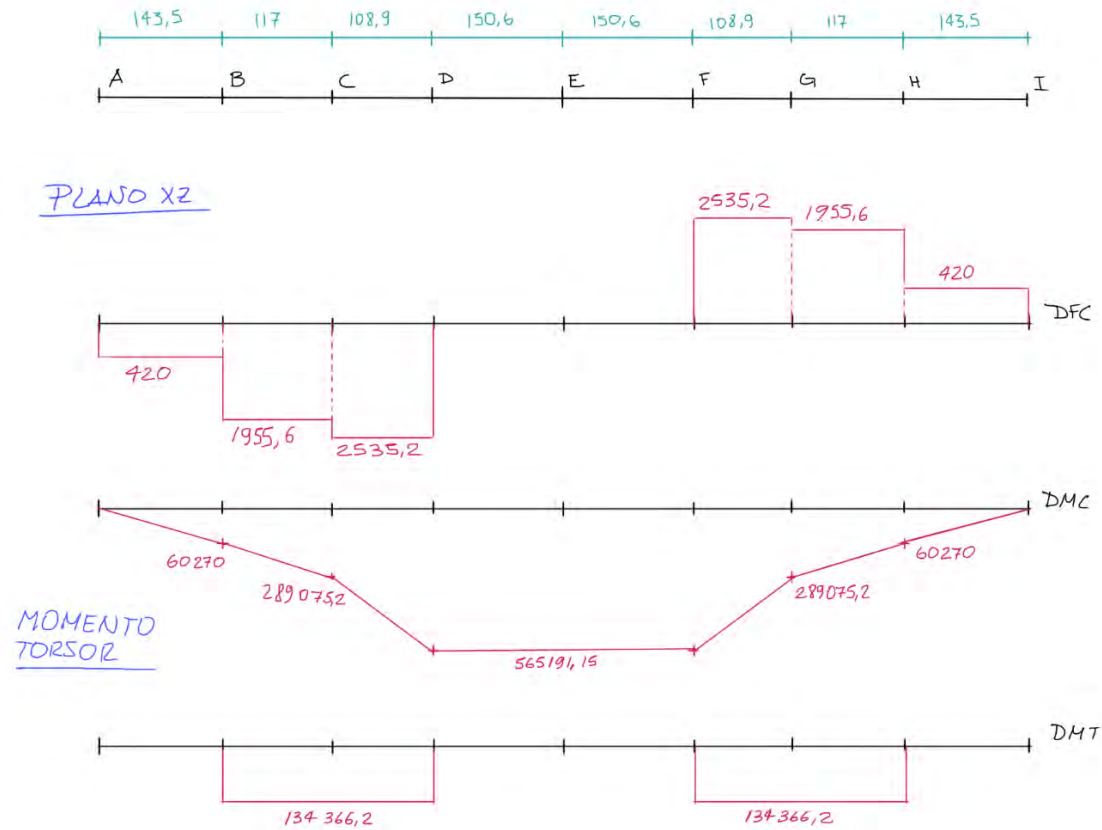


Figura G.3: Diagramas de distribución de fuerza: Plano XZ y Momento Torsor

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo uso de los diagramas se determina el punto D con el más crítico, de tal manera que se realizará un análisis de resistencia y de fatiga para el presente punto. Las ecuaciones siguientes presentan los datos generales a tomar en cuenta al momento de realizar el análisis.

$$W = \frac{\pi}{32} * (D^3); \sigma_F = \frac{M_f}{W}; \tau_c = \frac{F_R}{A}; \tau_T = \frac{2 * M_t}{W} \text{ (ec. G. 1)}$$

Por análisis de Fatiga, se verifica la presencia de flexión y torsión alternantes, lo que implica la búsqueda de coeficientes para realizar la conversión del esfuerzo alternante. Haciendo uso de las tablas proporcionadas en el libro “Resistencias de Materiales 2” (Rodríguez, 2018) se recopilan los coeficientes de la Tabla G.1.

Tabla G.1: Valor de coeficientes

Coefficiente	Flexión	Torsión
Cs	0.9	0.9
Ct	0.75	0.75
Ctemp	1	1
Ccarga	1	1
Cconf	1	1
Bk	1.6	1.3

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se obtiene la conversión de los esfuerzos alternantes y mediante el uso de la fórmula presentada a continuación, se presenta un valor de factor de seguridad (FS) mucho mayor a 5, lo que valida la selección del eje de 40 mm.

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma'_{a-eq}}{\sigma_{alt}} + \frac{\sigma_{m-eq}}{\sigma_B} \quad (ec. G. 2)$$

Por análisis de Resistencia, usando la ecuación de Von Misses y un FS = 2 se obtiene el resultado siguiente, lo que valida la selección del **eje de 40 mm**.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 * (\tau_c^2 + \tau_T^2)} = 142.8 \leq \frac{\sigma_F}{FS} = 207.5 \quad (ec. G. 3)$$

ANEXO H: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE FAJA Y POLEAS

En el cálculo de las fajas y selección de las poleas se va a utilizar el catálogo y guía proporcionados por el fabricante Optibelt en el que se propone una serie de cálculos a utilizar para la selección óptima.

Se selecciona el factor de servicio, cuyo valor es la suma del factor de servicio, de velocidad y de fatiga tal y como se expone en la siguiente ecuación.

$$c_2 = c_0 + c_3 + c_6 = 1.8 + 0 - 0.2 = 1.6 \text{ (ec. H. 1)}$$

A continuación, se selecciona un perfil tomando en consideración el valor de $P_b = P_m * c_2$, donde P_m es la potencia del motor seleccionado, y el valor de las revoluciones del motor. En este caso se requiere una relación de transmisión de 1.5. Tomando en consideración toda esta información se selecciona una faja 8M HP de 85 mm.

Luego, se selecciona un número de dientes igual a $z_1 = 26$ y $z_2 = 40$, con un diámetro de $d_{w1} = 71$ mm y $d_{w2} = 106$ mm para cada una de las poleas de tal manera que se conserve una relación de transmisión aproximada a 1.5 y tomando en cuenta el rango recomendado para la distancia entre centros $a = [103.5; 354]$ se selecciona $a = 180$ y se procede a reemplazar en la ecuación descrita a continuación

$$L_{wth} = 2 * a + \frac{\pi}{2} (d_{w1} + d_{w2}) + \frac{(d_{w1} - d_{w2})^2}{4 * a} = 639.7 \text{ mm (ec. h. 2)}$$

Consultando con el catálogo se obtiene una distancia nominal de 640 mm (L_{wst}), la cual será seleccionada. De esta manera se procede a calcular la distancia entre centros nominal como se puede visibilizar en las ec. H.3 y H.4

$$K = \frac{L_{wst}}{4} - \frac{\pi}{8} (d_{w1} + d_{w2}) = 92 \text{ mm (ec. H. 3)}$$

$$a_{nom} = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{w1} - d_{w2})^2}{8}} = 184 \text{ mm (ec. H. 4)}$$

Después se calcula el número de dientes en constante contacto con la polea (ec. H.5) para poder obtener el valor de $c_1 = 1$ y con el uso de la longitud nominal se obtiene el valor de $c_7 = 0.9$.

$$z_e = \frac{z_k}{6} \left(3 - \frac{d_{w1} - d_{w2}}{a_{nom}} \right) = 12 \text{ (ec. H. 5)}$$

Finalmente, con ayuda de los factores obtenidos anteriormente se realiza el cálculo de validación de la faja (Ecuación H.6) la cual resulta con un valor mayor a la potencia P_b .

$$P_{\ddot{u}} = 23.86 * 4.76 * 1 * 0.9 = 102.72 \text{ KW} \geq P_B = 92.45 \text{ (ec. H. 6)}$$

Se tiene como resultado una faja 8M HP con 640 mm de longitud y 85 mm de espesor y dos poleas 26-8M-85 y 40-8M-85.



ANEXO I: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE MOTOR

Para el desarrollo del presente anexo se ha tomado en consideración el repositorio web Khan Academy – Resistencia del aire y de fluidos.

El vehículo tiene como requerimiento la aceleración de 0 km/h a 100 km/h en un tiempo de 4 segundos como mínimo. Para el cálculo del motor se va a tomar un tiempo de 3.3 segundos. En primera instancia se obtiene la aceleración con la ecuación I.1.

$$V_f = V_i + a * t \text{ (ec.I.1)}$$

Siendo: $V_f = 100 \frac{km}{h}$; $V_i = 0 \frac{km}{h}$; $t = 3.3 \text{ s}$ se obtiene como resultado $a = 8.42 \frac{m}{s^2}$

Con el uso del siguiente DCL ideal, mostrado en la Figura I.1, se calcula la fuerza necesaria para obtener la aceleración calculada anteriormente. El coeficiente de fricción entre neumático y asfalto se asume como 0.7.

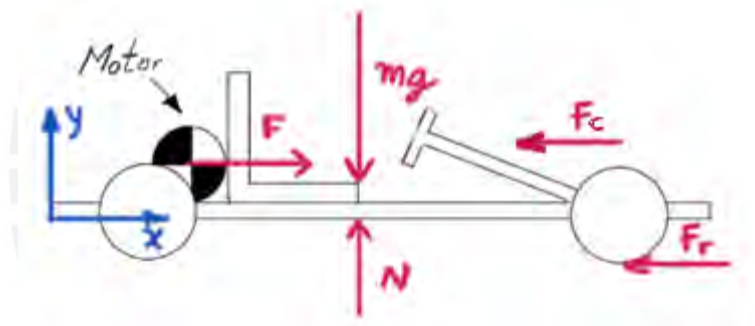


Figura I.1: DCL del vehículo.

Fuente: Elaboración propia.

$$F - F_r - F_c = m * a \text{ (ec.I.2)}$$

Considerando la siguiente fórmula para el cálculo de la fuerza de resistencia al aire F_c

$$F_c = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A * C_d \text{ (ec.I.3)}$$

Siendo: $\rho = 1.223 \frac{kg}{m^3}$ (densidad del aire); $v = 27.8 \frac{m}{s}$; $A = 1.2 \text{ m}^2$; $C_d = 0.3$, se obtiene como valor:

$$F_c = 170.13 \text{ N}$$

Siendo: $m = 235 \text{ kg}$; $\mu = 0.60$; $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ y $F_r = m * g * \mu$ se obtiene como resultado: $F = 3532.04 \text{ N}$

Finalmente se calcula la potencia necesaria haciendo uso de la aproximación:

$$P \approx F * V_{media} \text{ (ec. I. 4)}$$

Siendo: $V_{media} \approx 25 \frac{m}{s}$ se obtiene como resultado:

$$P = 88.3 \text{ KW}$$

Tomando en cuenta el cálculo bajo condiciones ideales, se añaden 7 KW para poder compensar fuerzas adicionales.

$$P = 95.3 \text{ KW}$$

Con respecto al cálculo de los RPM mínimos se toma como velocidad máxima del vehículo 100 km/h, el diámetro de los neumáticos de 25.4 cm.

Se realizan las conversiones para las velocidades relacionadas con las ruedas:

$$V_{max} = 100 \frac{km}{h} * \frac{1 h}{60 min} * \frac{1000 m}{1 km} * \frac{100 cm}{1 m} = 166666.67 \frac{cm}{min} \text{ (ec. I. 5)}$$

$$1 rev = 2 * \pi * r_{rueda} = 79.8 \text{ cm (ec. I. 6)}$$

$$RPM_{rueda} = 166666.67 \frac{cm}{min} * \frac{1 rev}{79.8 cm} = 2088.55 \text{ (ec. I. 7)}$$

Dado que para el cálculo sólo se presenta que la relación de transmisión puede variar de 1.5 a 2, se elige **2848 RPM** como valor mínimo posible del motor y una potencia mínima de **95 KW**.

ANEXO J: CÁLCULOS DEL SOPORTE DE MOTOR

El soporte del motor diseñado presenta el DCL de la Figura J.1, en el que el peso del motor (F_m), las poleas y el eje (F_{pe}) se distribuye a lo largo del eje Z sobre el apoyo del motor.

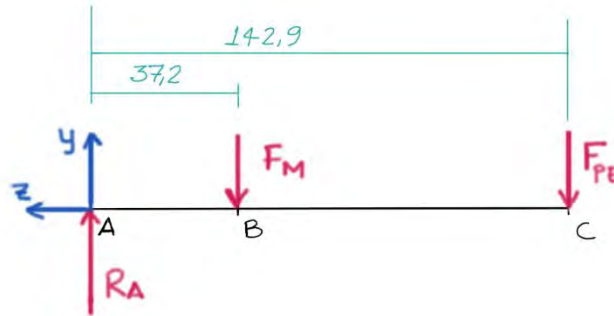


Figura J.1: DCL del soporte del motor e el plano YZ

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esto se elabora el DCL del eje XY en la Figura J.2, donde $R_a = F$.

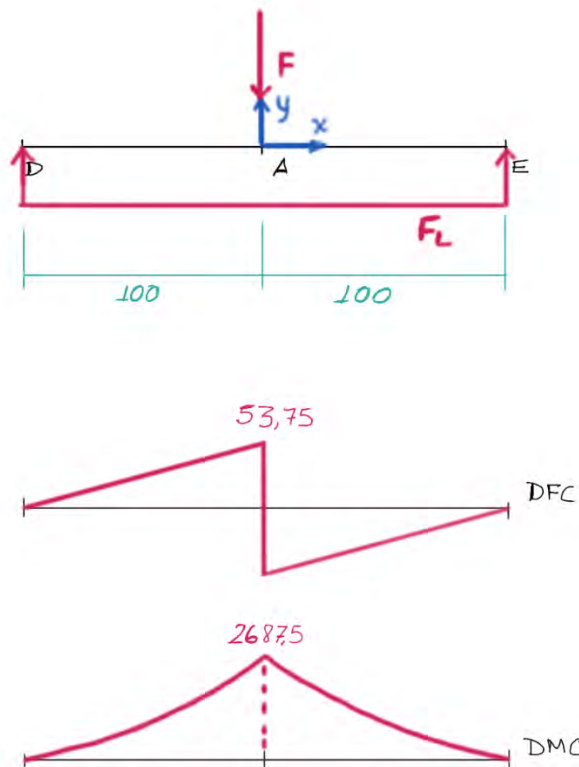


Figura J.2: DCL del soporte del motor en el plano XY

Fuente: Elaboración propia.

Se usará el análisis por resistencia para definir el espesor mínimo necesario para la plancha del cada soporte, para esto con el uso de los momentos y las fuerzas en el punto bajo la presencia de la suma de los pesos se calculan los esfuerzos resultantes. (Ecuación J.1)

$$\sigma_n = \frac{My}{I}; \tau_c = \frac{F}{A}; \tau_t = \frac{2Mt}{I} \text{ (ec.J. 1)}$$

Se obtiene el esfuerzo equivalente con la fórmula de Von Misses y con ayuda de Microsoft Excel, mediante iteraciones, se encuentra el espesor comercial mínimo para soportar las cargas del DCL, el resultado se observa en la Ecuación J.2.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 * (\tau_c^2)} \leq \frac{250}{1.5}; a = 3 \text{ mm (ec.J. 2)}$$



ANEXO K: CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS

Para estimar la cantidad de baterías, así como su autonomía, se tomará en cuenta la información obtenida a partir de las curvas del motor. Adicional a esto se considera que para una relación de transmisión de 1.5 y una velocidad final de 100 km/h, se necesita que el motor llegue a los 3000 RPM, el cual trabaja a 18 kW según curva del motor.

De esta manera obtenemos que, para 18 kW a 110 V, se necesitan 163.6 Ah para un rango de 100 km y por regla de tres simple una autonomía de 17 km por motor, se requerirán 28.8 Ah.

Tomando en consideración una eficiencia del 90 % por parte del banco de baterías, requerimos que este sea de: $(110V * 28.8 \text{ Ah}) / 0.9 = 3520 \text{ Wh}$.

Para la obtención de la carga necesaria se realizó la operación detallada en la ecuación K.1.

$$Carga = \frac{3520 \text{ Wh}}{110 \text{ V}} = 32 \text{ Ah} \text{ (ec. K. 1)}$$

Ecuación K.1: Obtención de carga energética

A continuación, se presentan los cálculos relacionados con el banco de baterías para uno de los motores EMRAX 188 Low Voltage (110V).

En el caso de las baterías del fabricante EEMB: la agrupación de 35 celdas en serie da con el valor de 110 V y la agrupación de 4 celdas en paralelo da con el valor de 32 Ah, obteniendo el resultado total de 140 celdas. De esta manera:

$$Peso \text{ total} = 140 \text{ celdas} * 0.25 \text{ Kg} = \mathbf{35 \text{ Kg}} \text{ (ec. K. 2)}$$

En el caso de las baterías del fabricante Winston: la agrupación de 35 celdas en serie da con el valor de 100 V y la agrupación de 1 celda en paralelo da con el valor de 32 Ah, obteniendo el resultado total de 35 celdas. De esta manera:

$$Peso \text{ total} = 35 \text{ celdas} * 1.6 \text{ Kg} = \mathbf{56 \text{ Kg}} \text{ (ec. K. 3)}$$

En el caso de las baterías del fabricante Headway: la agrupación de 35 celdas en serie da con el valor de 110 V y la agrupación de 4 celdas en paralelo da con el valor de 32 Ah, obteniendo el resultado total de 140 celdas. De esta manera:

$$Peso \text{ total} = 140 \text{ celdas} * 0.25 \text{ Kg} = \mathbf{35 \text{ Kg}} \text{ (ec. K. 4)}$$

ANEXO L: DETALLE REQUERIMIENTOS

Subsistema de dirección y transmisión

- a) Función principal: La función principal del subsistema será la de facilitar la modificación de la dirección del vehículo cuando este se encuentre en movimiento y deberá de transmitir la potencia del motor al eje posterior del kart. Cabe destacar que el subsistema debe mantener la practicidad de los componentes usados en la actualidad y debe de seguir el reglamento propuesto por la CIKFIA.
- b) Cinemática: El radio de giro del vehículo debe de ser menor a 8 metros para poder realizar las maniobras necesarias en los circuitos de competición. Adicionalmente, la presencia de un elemento diferencial se encuentra prohibida, por lo que, al momento de girar, todas las ruedas poseerán una misma velocidad.
- c) Fuerzas: La dirección del vehículo deberá soportar las cargas centrípetas con un valor de 10kN ejercidas al momento de realizar una curva cerrada a alta velocidad.
- d) Estructura: La dirección del vehículo deberá ser fabricada, de ser el caso, con secciones tubulares de 18 mm de diámetro y 1.8 mm de espesor como mínimo.
- e) Montaje: Por motivos de seguridad y practicidad, la transmisión deberá de estar conectada al eje posterior del vehículo. Si existiese una caja de cambios, esta no podrá ser operada con el uso de cadenas o cables metálicos.
- f) Material: Como restricción de fabricación, el material usado para la fabricación del timón del vehículo deberá ser un material tipo acero o aluminio.
- g) Señales: El subsistema recibirá la velocidad del eje posterior del vehículo en RPM y a través de una interfaz le enviará al piloto la velocidad actual del vehículo. Adicionalmente y dependiendo del caso (si se usa una caja de cambios y esta fuese manual) el sistema le avisará al piloto en qué momento es adecuado realizar un cambio.

Subsistema de chasis y carrocería

- a) Función principal: La función principal del subsistema será la de soportar las cargas que son ejercidas al vehículo al momento de estar en movimiento o ante un posible accidente, albergar los componentes, y proveer al vehículo de eficiencia aerodinámica.

b) Geometría: La estructura del vehículo sin contar los parachoques delanteros, posteriores y laterales, no deberá de exceder los 182 cm de largo ni los 140 cm de ancho.

Los parachoques laterales deberán poseer una longitud de 50 cm como mínimo, los posteriores, 134 cm como mínimo y los frontales, 45 cm como mínimo.

Los paneles de la carrocería deberán de ser continuos y sin ángulos cortantes, el radio mínimo de redondeo deberá ser 5 mm. La distancia de separación entre paneles no deberá ser menor a 25 mm, los paneles cubrirán únicamente las partes del vehículo que se encuentren en contacto con el aire.

c) Montaje: La estructura deberá ser modular para que los parachoques (frontal, posterior y laterales) se puedan separar de la estructura principal. Sin embargo, los diferentes módulos deberán de estar unidos por el proceso de soldadura. Las uniones entre módulos deberán tener como mínimo 4 puntos de apoyo y podrán ser unidas con el uso de tornillos. El componente de energización deberá estar integrado en la estructura principal.

Los paneles de carrocería deberán de estar adheridos fijamente a la estructura. Y el asiento del piloto debe permitir que se encuentre en una posición fija a pesar de los movimientos bruscos.

d) Material: La estructura del vehículo deberá ser elaborada con acero estructural o aleaciones del mismo (máximo 5%) que cumplan con la clasificación ISO 4948. Está prohibido el uso de titanio para la estructura. Los paneles de la carrocería deberán ser de material no metálico, tipo fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio o plástico.

e) Estructura: El chasis deberá contar con una sección circular de máximo 40 mm de diámetro y con un mínimo de 2.5 mm de espesor. Los parachoques deberán poseer una sección circular mínimo 20 mm de diámetro.

f) Fuerzas: La estructura del vehículo deberá de soportar tanto las cargas que se ejercen en pleno movimiento, como las que se producen al momento de colisionar con otro vehículo u objeto que tiene una magnitud de 120 kN. Además, para la verificación de esta condición se deberá usar un software de simulación.

g) Ergonomía: La estructura deberá de encontrarse a una altura como máximo de 65 cm del suelo. Esta altura incluye a la estructura más las llantas. Adicionalmente, la estructura debe poseer un suelo que separe al piloto de la pista.

Subsistema de aceleración y frenado

a) Función principal: La función principal del subsistema será la de modificar el valor de la velocidad del vehículo, tanto para aumentarla como para disminuirla.

b) Fuerzas: Los pedales del subsistema deberán de poder soportar las cargas ejercidas por el piloto al momento de maniobrar el vehículo que tienen una magnitud de 120 N.

Deberá de existir un freno que actúe constantemente sobre las ruedas del vehículo cuando este se encuentre apagado, para que permanezca inmóvil.

c) Montaje: Tanto el eje trasero como el delantero deberán contar con frenos que puedan ser manipulados por el piloto. Además, los pedales del subsistema no deberán sobresalir fuera del chasis.

d) Material: Los pedales usados en el subsistema y los discos de freno deberán ser de material tipo acero o acero inoxidable.

e) Control: El subsistema de aceleración deberá de ser eléctrico y deberá de existir un sistema de control sobre la variable velocidad que la mantenga estable según lo requiera el piloto.

f) Funcionamiento: Es requisito que los frenos del subsistema sean operados mediante un sistema hidráulico.

g) Señales: El subsistema recibirá la señal de posición del pedal de aceleración y la del pedal de freno, procesará los datos y le enviará una señal al motor y otra al sistema de frenado para la variación de la velocidad.

El subsistema recibirá la señal de estado del freno de mano y enviará una señal a la interfaz para visualizar si se encuentra activo o inactivo.

h) Seguridad: En cuanto a la programación, los frenos delanteros deberán de operar de manera independiente de los traseros, de esta manera si falla uno de los dos el que esté operativo quedará como respaldo.

El freno de mano deberá de ser completamente independiente y deberá de actuar sobre las 4 ruedas.

Subsistema de propulsión y energía

a) Función principal: La función principal del subsistema será la impulsar el vehículo para causar su movimiento y la de energizar todo el sistema.

b) Fuerzas: El (los) motor(es) deberá(n) proporcionar el torque necesario para poder llegar a los 100 km/h, para poder ser capaz de competir con los vehículos actuales usados para este tipo de competiciones.

c) Cinemática: El (los) motor(es) deberá(n) permitir la aceleración de todo el vehículo ensamblado en 4 segundos como mínimo para llegar a 100 km/h, para poder ser capaz de competir con los vehículos actuales usados para este tipo de competiciones.

d) Energía: Teniendo en cuenta el costo y las diferencias entre los motores de combustión interna y los eléctricos, el (los) motor(es) a usar deberá(n) poseer una potencia de 50 HP como mínimo.

La autonomía de la batería deberá de ser de 9 KWh como mínimo para poder ser capaz de competir con los vehículos actuales de su misma categoría.

e) Señales: El subsistema deberá recibir la señal de arranque para su correcta operación, y a su vez deberá emitir una señal referente al estado del motor (Encendido/Apagado).

f) Uso: Debido a que las condiciones climáticas en las que se usan estos vehículos son cambiantes, para evitar accidentes las baterías deberán ser a prueba de agua (IP 66).

g) Montaje: El motor deberá ser de fácil accesibilidad y podrá ser desmontable en caso sea necesario, para fines de rapidez al momento de realizar reparaciones en plena competencia.

Subsistema de control

a) Función principal: La función principal del subsistema será optimizar la energía distribuida por el banco de baterías para aumentar la autonomía de sistema.

b) Energía: La autonomía de la batería deberá de ser de 8 Km como mínimo para poder ser capaz de competir con los vehículos actuales de su misma categoría.

c) Señales: El subsistema deberá recibir la velocidad actual del motor y la posición del pedal de aceleración para establecer un correcto control sobre el manejo del motor y la distribución de las baterías, el subsistema deberá recibir la velocidad actual del motor y

la posición del pedal de aceleración, con esta información determinará la correcta distribución de la energía para prolongar su duración y emitirá como salida a el porcentaje de batería restante y la nueva velocidad del motor.

Subsistema de recopilación de datos

a) Función principal: La función principal del subsistema será la de realizar el sensado de diferentes datos referentes al movimiento del vehículo y al procesamiento de estos.

b) Señales: La finalidad de este subsistema es la de leer, procesar los datos y enviárselos al piloto para que los pueda visualizar, por lo tanto, como señales de entrada y salida deberán estar la temperatura del motor, la velocidad del vehículo, la aceleración y los tiempos por vuelta.

c) Comunicación: Está prohibido el envío de datos a otros usuarios que no sean el piloto.

Subsistema global

a) Uso: Debido a que el uso de karts se puede realizar tanto en interiores como exteriores y bajo diferentes condiciones climáticas, todos los componentes eléctricos usados en el vehículo (pantallas, interruptores, cables, entre otros) deberán de ser a prueba de agua. Adicionalmente el ruido emitido por el vehículo no debe de superar los 108 dB/A.

b) Ergonomía: Tanto el cableado como los componentes mecánicos no deberán dificultar lo movilidad del piloto, de esta manera podrá retirarse eficientemente del vehículo en caso pase algún accidente.

c) Montaje: Con el fin de evitar desprendimientos al momento de operar el vehículo, los elementos mecánicos y electrónicos deberán de estar adheridos fijamente a la estructura del vehículo de modo que no puedan causar ningún accidente.

d) Geometría: En cuanto a las ruedas del vehículo, estas serán de caucho y no deberán superar los 350 mm de diámetro ni los 250 mm de ancho.

Habiendo listado anteriormente los requerimientos establecidos por las regulaciones de la CIKFIA, se presentan tablas resumen para cada subsistema en el Anexo A.

ANEXO M: ESTRUCTURA DE FUNCIONES

A continuación, se presenta una descripción de las funciones que forman parte de la Figura M.1.

Subsistema de Mecánica:

- Albergar / proteger / soportar piloto y componentes varios: Estructura del vehículo que incluye el asiento, los paneles y la integración del elemento de energización.
- Manipular la dirección de las ruedas: Mecanismo que tiene como objetivo la modificación del ángulo de las ruedas frontales.
- Frenar por completo: Mecanismo que permite la detención del vehículo, conocido como “freno de mano”.
- Transmitir potencia: Mecanismo que permite la transmisión del torque del motor hacia el eje trasero del vehículo.
- Transformar F.L. en F. de fricción: Mecanismo que tiene como objetivo la reducción de velocidad cuando este se encuentre en movimiento.
- Realizar movimiento frontal: Mecanismo que permite el desplazamiento sobre una superficie. Se encuentra relacionado con la dirección del vehículo.
- Realizar movimiento posterior: Mecanismo que permite el desplazamiento sobre una superficie. Recibe la potencia del motor.

Subsistema de Energía:

- Acondicionar energía: Componente que transforma la energía emitida por las tomas de corriente (220 V) a la energía que necesita la batería para su energización.
- Almacenar energía: Componente que almacena la energía y la usa para alimentar todo el sistema del vehículo.
- Acondicionar energía para los actuadores: Componente que distribuye el correcto voltaje a los actuadores.
- Acondicionar energía para los sensores: Componente que distribuye el correcto voltaje a los sensores.
- Acondicionar energía para el controlador: Componente que distribuye el correcto voltaje al controlador.

- Acondicionar energía para los elementos de interacción: Componente que distribuye el correcto voltaje a los elementos de interacción.

Subsistema de Actuadores:

- Transformar E.E. en E.M: Motor eléctrico, su eje se encuentra enlazado con el eje posterior.
- Obtener Fuerza Lineal: Freno de disco que actúa sobre las cuatro ruedas.

Subsistema de Sensado:

- Sensar posición del freno: Componente que revisa continuamente la posición angular del pedal de freno.
- Sensar posición del acelerador: Componente que revisa continuamente la posición angular del pedal de aceleración.
- Sensar energía restante: Componente que revisa continuamente la energía actual de la batería.
- Sensar posición del freno de mano: Componente que revisa el estado del freno de mano (Activado/Desactivado)
- Sensar revoluciones por minuto: Componente que revisa la velocidad en RPM con la que el eje posterior se encuentra actualmente.
- Sensar temperatura: Componente que revisa la temperatura actual del motor.

Subsistema de Interfaz:

- Transformar E.M. en fricción continua: Mecanismo que permite interactuar al piloto con el freno de mano del vehículo.
- Aumentar torque de E.M.: Timón usado para modificar la dirección.
- Energizar sistema: Sistema que permite el encendido del vehículo.
- Transformar E.M. en E. Hidráulica: Mecanismo que permite interactuar al piloto con el frenado del kart.
- Transformar E.M. en E.E. de movimiento: Mecanismo que permite interactuar al piloto con la aceleración del kart.
- Recibir información: Componente que permite recibir la información emitida por los sensores.
- Mostrar datos: Componente que permite mostrar la información que es emitida por los sensores.

Subsistema de Control:

- Procesar datos: Recepción (y conversión de ser necesario) de las señales emitidas por los sensores.
- Calcular batería restante: Transformación de una señal para obtener el porcentaje de batería restante.
- Obtener inclinación del pedal: Transformación de una señal para obtener el ángulo de inclinación del pedal.
- Obtener velocidad del motor: Transformación de una señal para obtener la velocidad actual del motor.
- Calcular distribución de energía: Calcular la correcta distribución de energía restante para prolongar la duración de la misma.
- Calcular el movimiento del freno: Calcular la señal necesaria para realizar el frenado según lo requerido por el piloto.
- Calcular voltaje de energización del motor: Calcular el voltaje del motor en base a la batería restante y a la posición del pedal de aceleración.
- Acondicionar señal del motor: Envío de señales al motor a través de un pre actuador

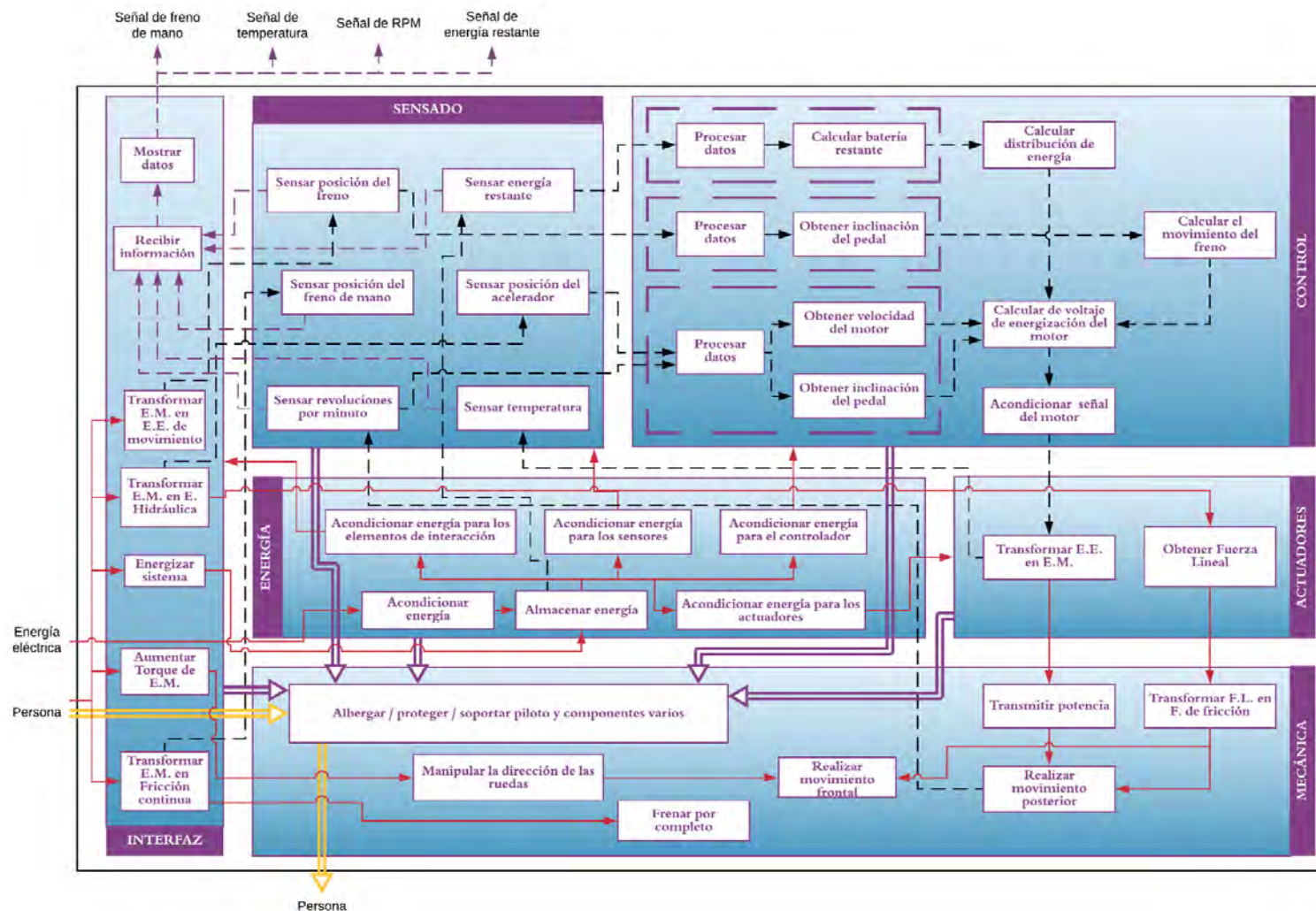


Figura M.1: Diagrama de funciones

ANEXO N: EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA

A continuación, con la información detallada en las tablas anteriores referentes a los 3 conceptos de solución propuestos, se presenta la evaluación técnica – económica utilizada para obtener el concepto de solución óptimo. Con el fin de obtener buenos resultados se han establecido 5 criterios técnicos y 5 criterios económicos a evaluar en cada concepto, en las siguientes líneas se describen los criterios establecidos y se les asigna un peso del 1 al 4 dependiendo de la importancia.

Criterios técnicos:

Ubicación de las baterías: Referido a la ubicación que posee el banco de baterías dentro del chasis y el riesgo que implica para el piloto. Este criterio se elige por temas de seguridad, lo que se busca es el menor daño posible al piloto en caso de la explosión de la batería, debido a esto se le asigna un peso de 4.

Facilidad de mantenimiento: Referido a la facilidad de montar y desmontar los componentes al momento de realizar el programa de mantenimiento o al momento de una competición. Este criterio se elige porque la complejidad de los mecanismos es algo que se busca evitar en el diseño de estos sistemas para hacer simple su mantenimiento, debido a esto se le asigna un peso de 3.

Facilidad de montaje: Referido a la facilidad de montaje que necesita el vehículo para la primera vez de ensamblado y a la factibilidad del proceso. Este criterio se elige para verificar que el vehículo se puede ensamblar, debido a esto se le asigna un peso de 3.

Distribución de peso: Referido a la ubicación del centro de masa del vehículo y a la tendencia que tiene para ubicarse debajo del asiento del piloto. Este criterio se elige porque la ubicación del centro de masa determina la estabilidad del vehículo, si se encontrara muy a la derecha o a la izquierda el vehículo podría voltearse al momento de realizar una vuelta, debido a esto se le asigna un peso de 3.

Transportabilidad: Referido a la facilidad de transportar el vehículo cuando se encuentre apagado y se quiera ir a una competición o mover el vehículo unos cuantos metros. Este criterio se elige por el constante traslado que pasan los vehículos de competición al momento de ser enviados a una competencia o al momento de realizar el mantenimiento, debido a esto se le asigna un peso de 2.

Criterios económicos:

Complejidad de fabricación: Referido al costo de los procesos de fabricación necesarios. Este criterio se elige debido a que mientras más compleja sea una pieza, será más difícil de fabricar y mientras más difícil de fabricar sea, mayor será el costo. Debido a esto se le asigna un peso de 4.

Costo de componentes: Referido al costo de los componentes que forman parte del vehículo. Este criterio se elige para poder mantener un control sobre el presupuesto del sistema considerando que los karts de competición tienen un valor de 6 mil euros, cabe destacar que no es un factor muy importante, debido a esto se le asigna un peso de 3. A mayor costo, menor puntaje.

Cantidad de piezas: Referido a la cantidad de piezas que posee el vehículo. Teóricamente mientras mayor cantidad de piezas exista, mayor será el costo total, debido a esto se le asigna un peso de 3.

Costo de mantenimiento: Referido al costo de los procedimientos que se realizan para mantener el vehículo en funcionamiento. Este criterio se elige por el impacto que poseen los procesos de mantenimiento en los gastos posteriores a la “compra” de una máquina. Debido a esto se le asigna un peso de 3.

Repuestos: Referido a la facilidad de adquisición en envíos de los repuestos del sistema. Este criterio se elige para poder comparar las tasas de envío tanto nacional como internacional, debido a esto se le asigna un peso de 2.

El presente acápite se completa con la realización de la evaluación de los 3 conceptos de solución expuestos en antelación y se describe la razón de la puntuación (de 1 a 4).

Evaluación del concepto de solución 1

En cuanto a la facilidad de mantenimiento, recibe el puntaje de 1 debido a que la inclusión de los motores “in-Wheel” requiere que se retiren por completo las llantas para realizar el mantenimiento a los motores. Recibe un puntaje de 4 para ubicación de las baterías por la rigidez que le otorga el chasis a las baterías y disminuir el riesgo de explosión, debido a la versatilidad que proveen los motores “in-Wheel” el criterio de facilidad de montaje recibe un puntaje de 3 por la modularidad que posee. Con respecto a la distribución de peso recibe un puntaje de 3 gracias a la distribución simétrica que posee el vehículo. En

transportabilidad recibe una puntuación de 3 debido a la variedad de puntos de apoyo que tiene el operador y a la distribución del peso.

Referente al costo de componentes y por el actual desarrollo de los motores “in-Wheel” que aumenta el precio de este motor, el criterio recibe el puntaje de 1. Se le asigna un puntaje de 2 al criterio de repuestos debido a que los propulsores del vehículo se pueden adquirir mediante envíos internacionales y cuentan con un peso significativo. Con respecto al criterio de menor cantidad de piezas, se le asigna el puntaje de 3 debido a que los motores incluyen los discos de freno. En cuanto al costo de mantenimiento, los costos aumentan en demasía al usar componentes aún en desarrollo por lo que recibe una puntuación de 2. Finalmente, se le asigna un puntaje de 3 al criterio de complejidad de fabricación debido al uso único de uniones soldadas.

Evaluación del concepto de solución 2

En cuanto a la facilidad de mantenimiento, recibe el puntaje de 3 debido a la inclusión de una caja de cambios que se encuentra unida al eje posterior por engranajes. Recibe un puntaje de 3 para ubicación de las baterías ya que si bien posee una rigidez que le otorga el parachoques del chasis, la probabilidad de colisión es más frecuente en esa área, debido a la presencia de una caja de cambios y un eje posterior el criterio de facilidad de montaje recibe un puntaje de 3 por la alineación necesaria para el buen funcionamiento del vehículo. Con respecto a la distribución de peso recibe un puntaje de 2 debido a que el motor se encuentra en un costado. En transportabilidad recibe una puntuación de 3 debido a la variedad de puntos de apoyo que tiene el operador y a la distribución del peso.

Referente al costo de componentes y por el uso de un motor asíncrono con una caja de cambios automática, el criterio recibe el puntaje de 2. Se le asigna un puntaje de 3 al criterio de repuestos debido a que los propulsores del vehículo se pueden adquirir mediante envíos internacionales. Con respecto al criterio de menor cantidad de piezas, se le asigna el puntaje de 2 debido a la presencia de los componentes del sistema de frenado. En cuanto al costo de mantenimiento, al usar componentes conocidos y con la gran variedad de expertos en el mantenimiento de los mismos recibe una puntuación de 4. Finalmente, se le asigna un puntaje de 2 al criterio de complejidad de fabricación debido al uso único de uniones soldadas y la fabricación de los engranajes.

Evaluación del concepto de solución 3

En cuanto a la facilidad de mantenimiento, recibe el puntaje de 3 debido a la inclusión de una transmisión a base de una cadena. Recibe un puntaje de 2 para ubicación de las baterías ya que si bien posee una rigidez que le otorga el chasis, genera obstrucciones al momento de ubicar los demás elementos, debido a la presencia de una cadena y un eje posterior el criterio de facilidad de montaje recibe un puntaje de 4 por la facilidad de instalación de la transmisión. Con respecto a la distribución de peso recibe un puntaje de 3 debido a que el motor se encuentra en un costado, pero sin desviar mucho el centro de masa. En transportabilidad recibe una puntuación de 3 debido a la variedad de puntos de apoyo que tiene el operador y a la distribución del peso.

Referente al costo de componentes y por el uso de un motor brushless, el criterio recibe el puntaje de 2. Se le asigna un puntaje de 3 al criterio de repuestos debido a que los propulsores del vehículo se pueden adquirir mediante envíos internacionales. Con respecto al criterio de menor cantidad de piezas, se le asigna el puntaje de 2 debido a la presencia de los componentes del sistema de frenado. En cuanto al costo de mantenimiento, al usar componentes conocidos y con la gran variedad de expertos en el mantenimiento de los mismos recibe una puntuación de 4. Finalmente, se le asigna un puntaje de 3 al criterio de complejidad de fabricación debido al uso único de uniones soldadas.

A partir de lo descrito se presentan tablas resumen (Ver Tabla N.1 y Tabla N.2) para la evaluación técnica – económica y se adjunta la Figura N.1 en la cual se puede observar la ubicación de cada concepto de solución según el puntaje en un gráfico Parámetro Técnico vs Parámetro Económico. Se asume una solución ideal con suma de puntaje de 60 para los criterios técnicos y 60, para los económicos.

Tabla N.1: Evaluación técnica

Criterio	P	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
		Nota	P*Nota	Nota	P*Nota	Nota	P*Nota
Facilidad de mantenimiento	3	1	3	3	9	3	9
Ubicación de las baterías	4	3	16	3	12	2	8
Facilidad de montaje	3	3	9	3	9	3	12
Distribución de peso	3	3	9	1	6	3	9
Transportabilidad	2	3	6	3	6	3	6
Suma			39		39		41
Promedio (%)			65		65		68,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.2: Evaluación económica

Criterio	P	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
		Nota	P*Nota	Nota	P*Nota	Nota	P*Nota
Costo de componentes	3	1	3	2	6	2	6
Repuestos	2	2	4	3	6	3	6
Cantidad de piezas	3	3	9	2	6	2	6
Costo de mantenimiento	3	2	6	4	12	4	12
Complejidad de fabricación	4	3	12	2	8	3	12
Suma			34		35		39
Promedio (%)			56,67	58,3	63,3		65

Fuente: Elaboración propia.

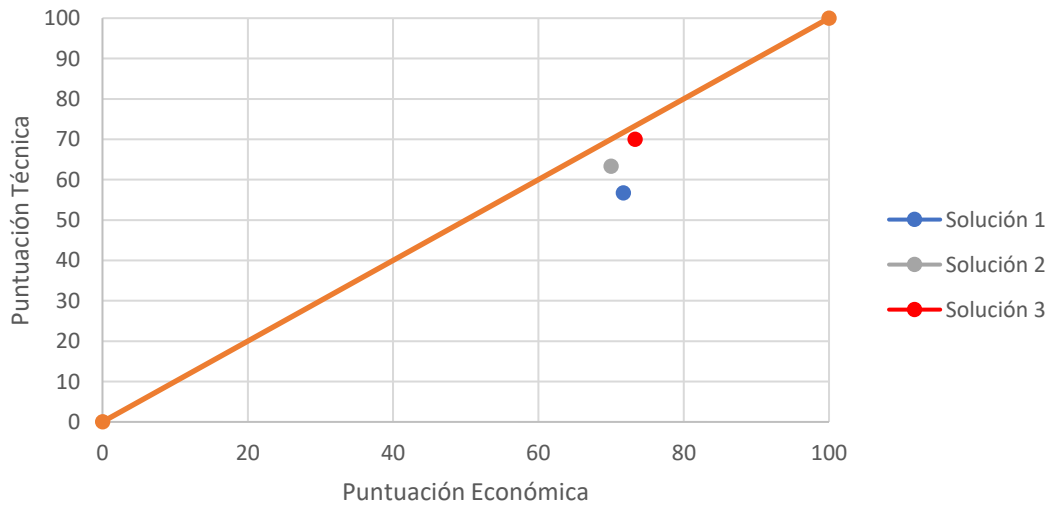


Figura N.1: Puntuación técnica vs económica

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura N.1 el concepto de solución 3 propuesto es de mayor desempeño a partir de la evaluación realizada.

ANEXO O: CONCEPTO DE SOLUCIÓN ÓPTIMO

A continuación, se presenta el concepto de solución óptimo planteado a partir de la evaluación de las 3 soluciones planteadas. Se presenta en la Figura O.1 un bosquejo de la solución acompañada con una descripción.

La solución óptima cuenta con un chasis tubular que posee una característica modular, los parachoques se pueden separar (frontal, posterior y laterales). Se decide incluir a la batería como parte de la estructura principal por temas de distribución de peso y por seguridad. El vehículo presenta una dirección mecánica y discos de freno hidráulicos ubicados en 3 puntos para asegurar un mejor agarre. Los pedales utilizados son tubulares, en el caso del acelerador es acompañado por un sistema de sensado por rotación operado por un mecanismo que facilita el movimiento del sensor rotatorio, y en el caso del freno será conectado directamente al sistema hidráulico.

Con respecto a la propulsión del sistema se utilizarán dos motores DC (Brushless) acoplados mediante una cadena al eje trasero del vehículo, estos motores se apoyarán en una estructura secundaria que los alineará con el eje de simetría del vehículo logrando mantener el centro de masa en la posición deseada. Y la velocidad del vehículo será sensada con el uso de un sensor rotacional.

En el caso de la batería de litio, se propone energizarla con el uso de un rectificador y se usará un regulador de voltaje para energizar el todo el sistema y para realizar una medición de la batería actual se usará un sensor Coulomb counter. Todos los datos se mostrarán en una pantalla TFT y para poner en marcha el vehículo se hará por medio de una llave a arranque.

Finalmente, para el control y mejora del uso de la energía se propone un uso alternado de los 2 motores dependiendo de las necesidades del piloto, de tal manera que se pueden usar 2, 1 o ninguno.

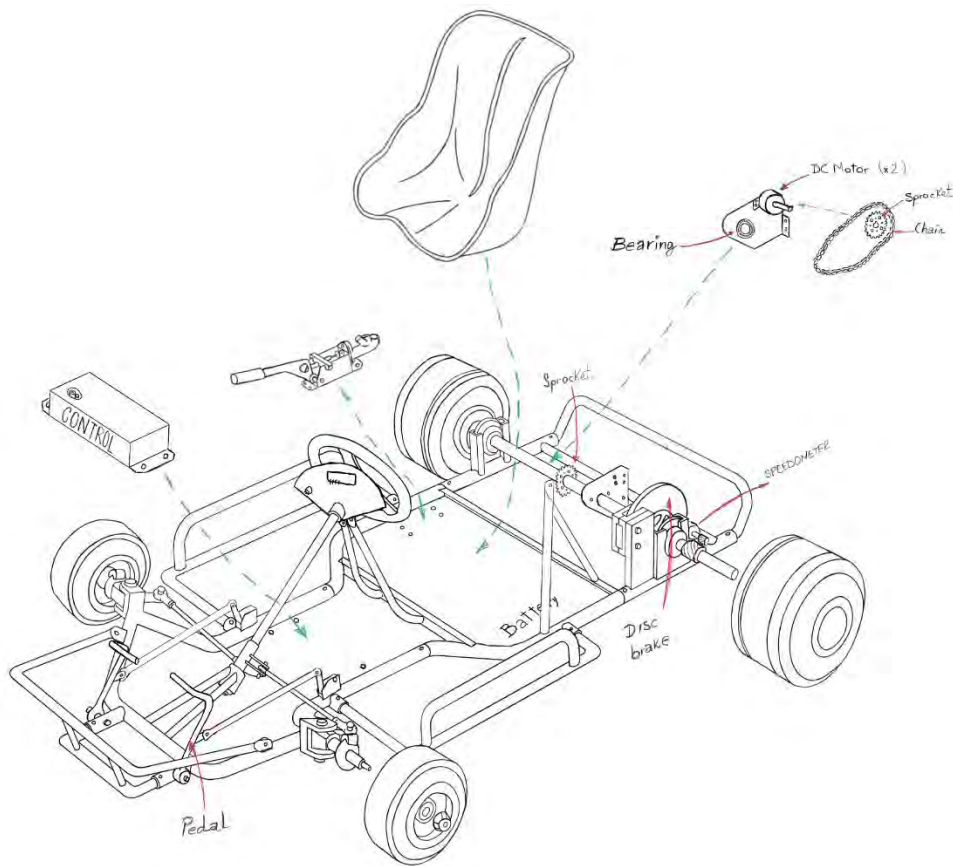


Figura O.1: Concepto de solución óptimo

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta en la Figura O.2 y Figura O.3 un bosquejo tridimensional, elaborado en el software Autodesk Inventor, a partir de lo planteado anteriormente.

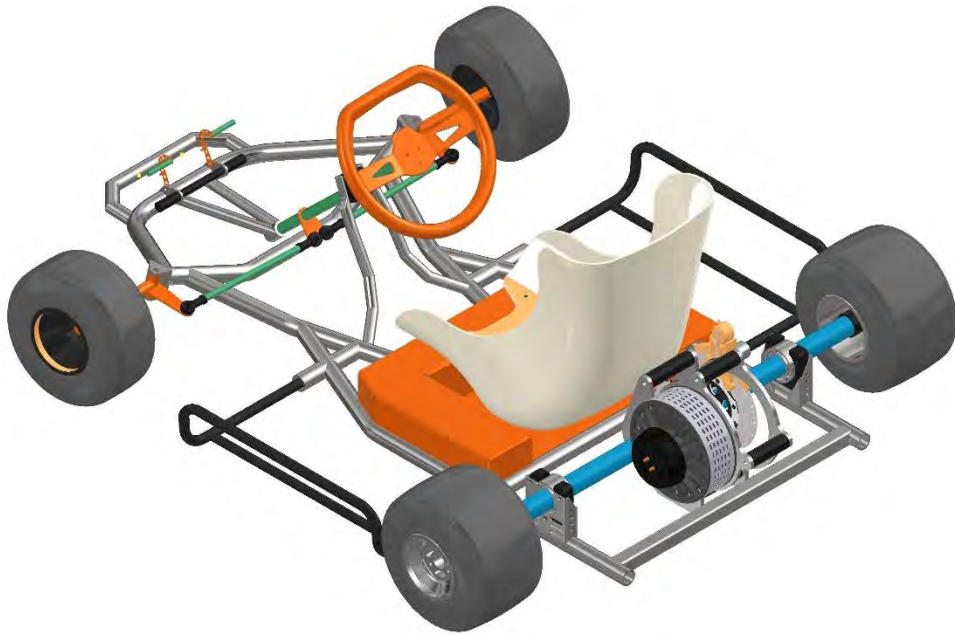


Figura O.2: Primera vista del boceto 3D
Fuente: Elaboración propia.

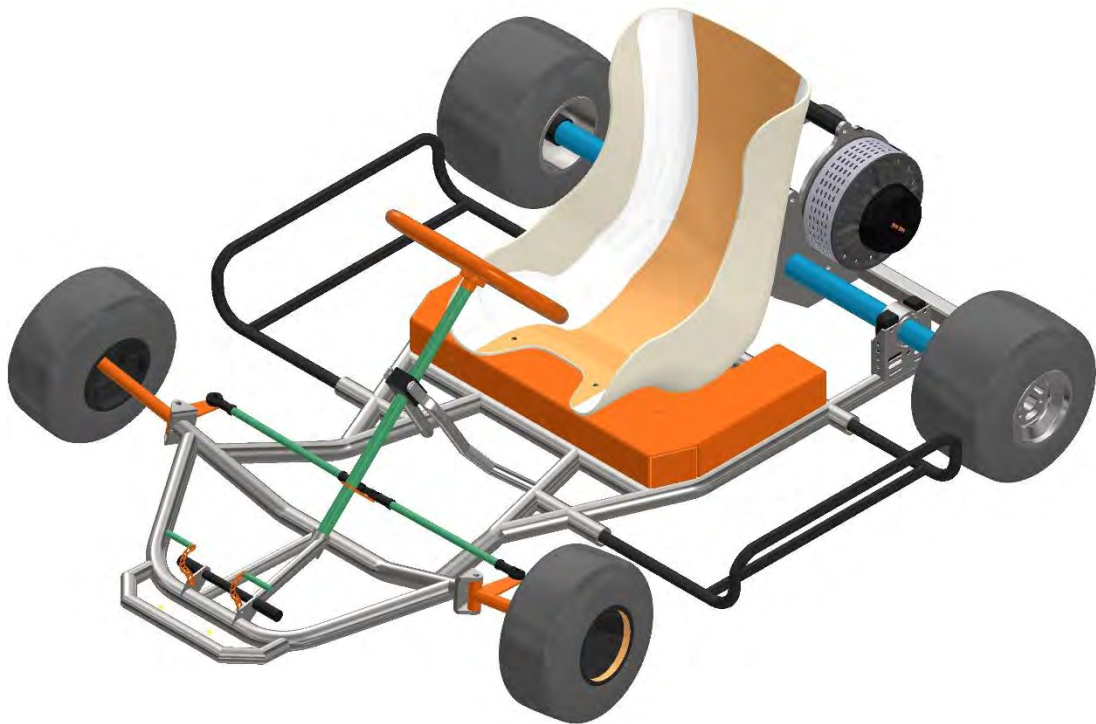
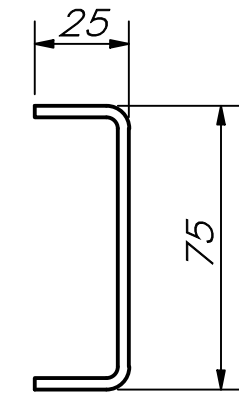
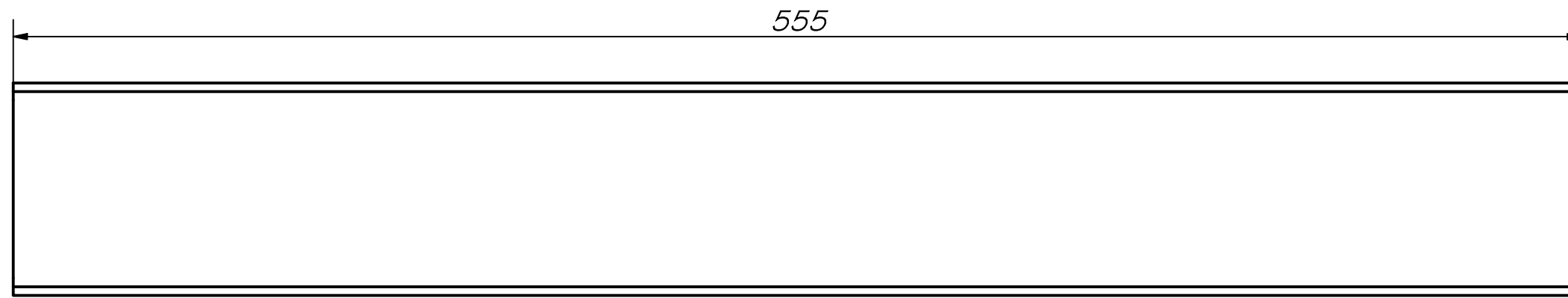
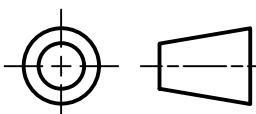


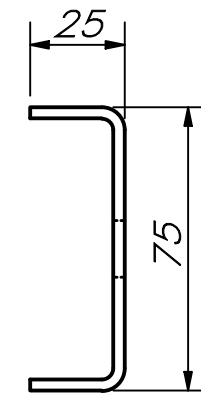
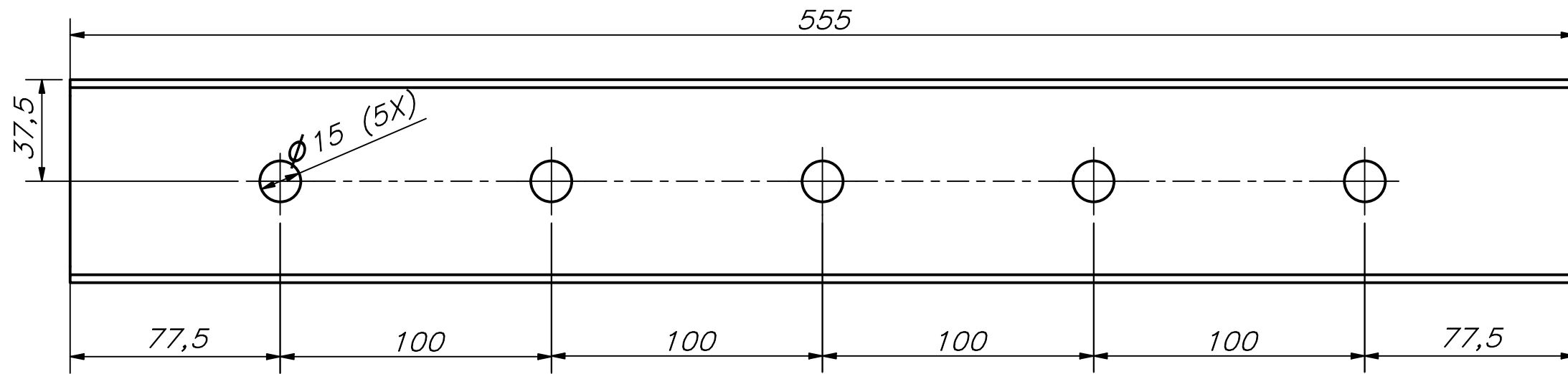
Figura O.3: Segunda vista del boceto 3D
Fuente: Elaboración propia.



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRAVESAÑO 1	ESCALA
		1:2
E-1-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

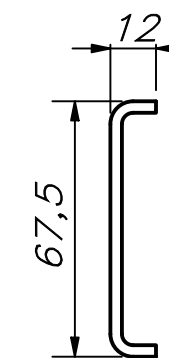
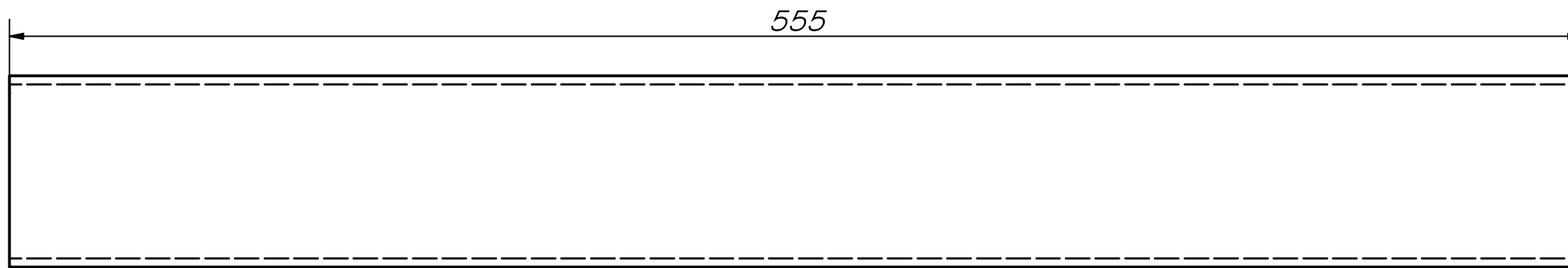
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRAVESAÑO 2	ESCALA
		1:2
E-2-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

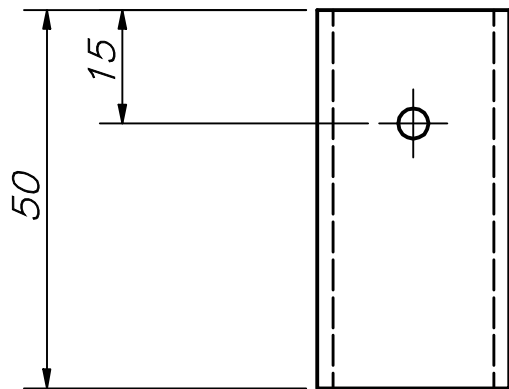
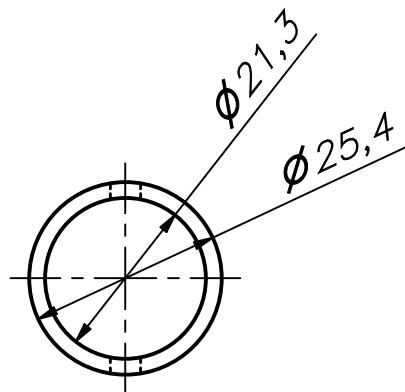
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

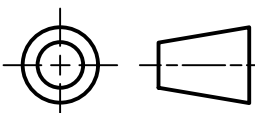


ESPESOR 3 MM

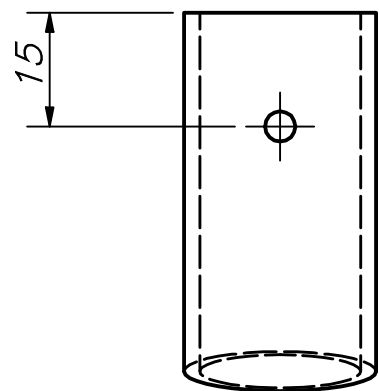
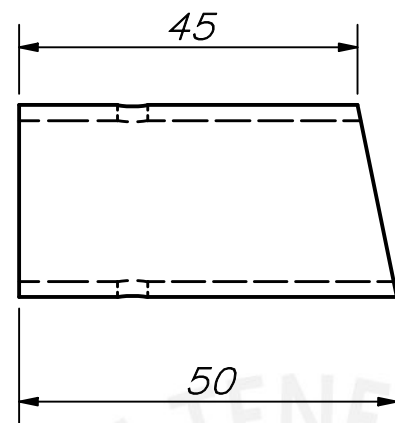
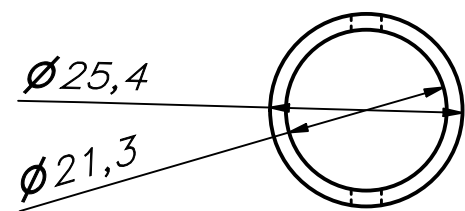
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRAVESAÑO 3	ESCALA
		1:2
E-3-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

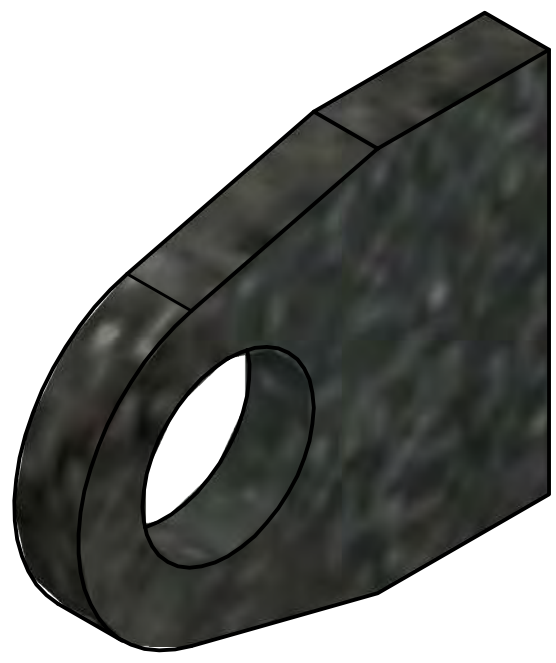
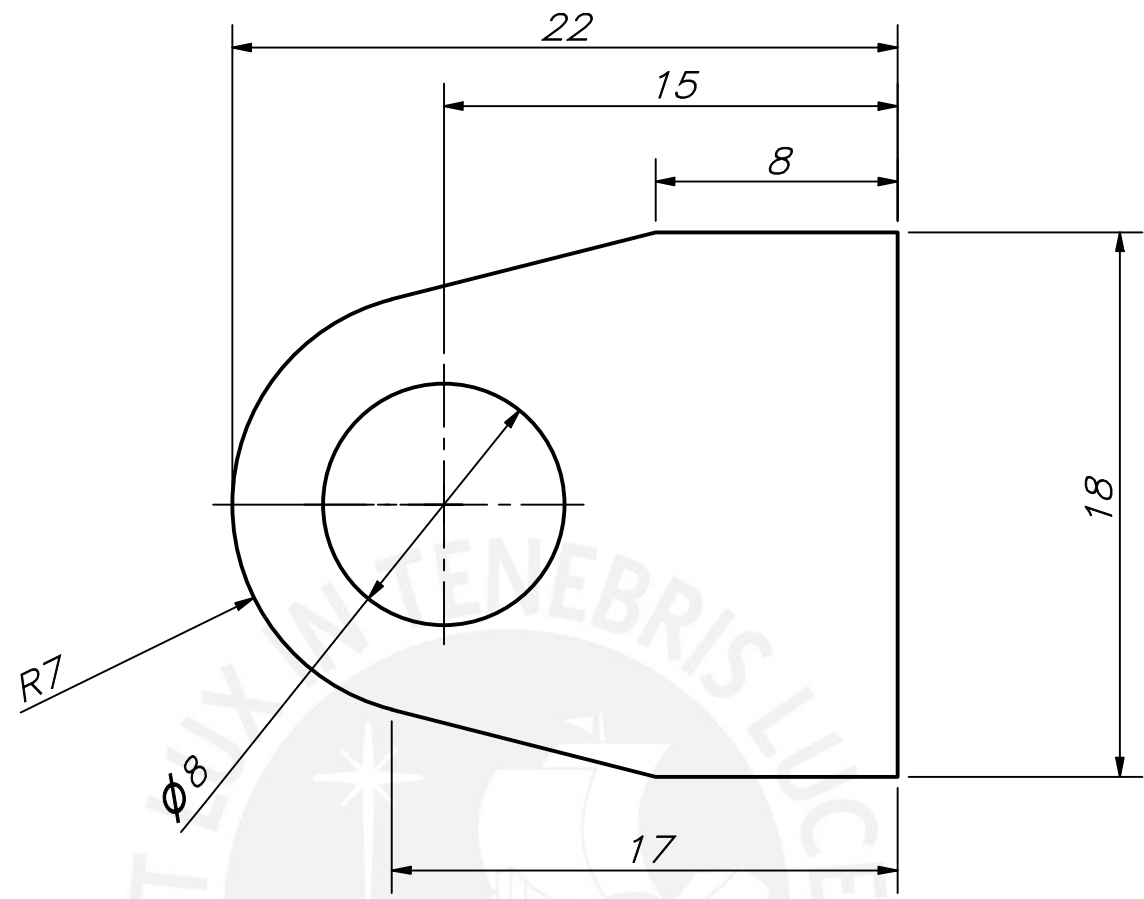


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	SOPORTE PARACHOQUES 1	ESCALA 1:1
E-4-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



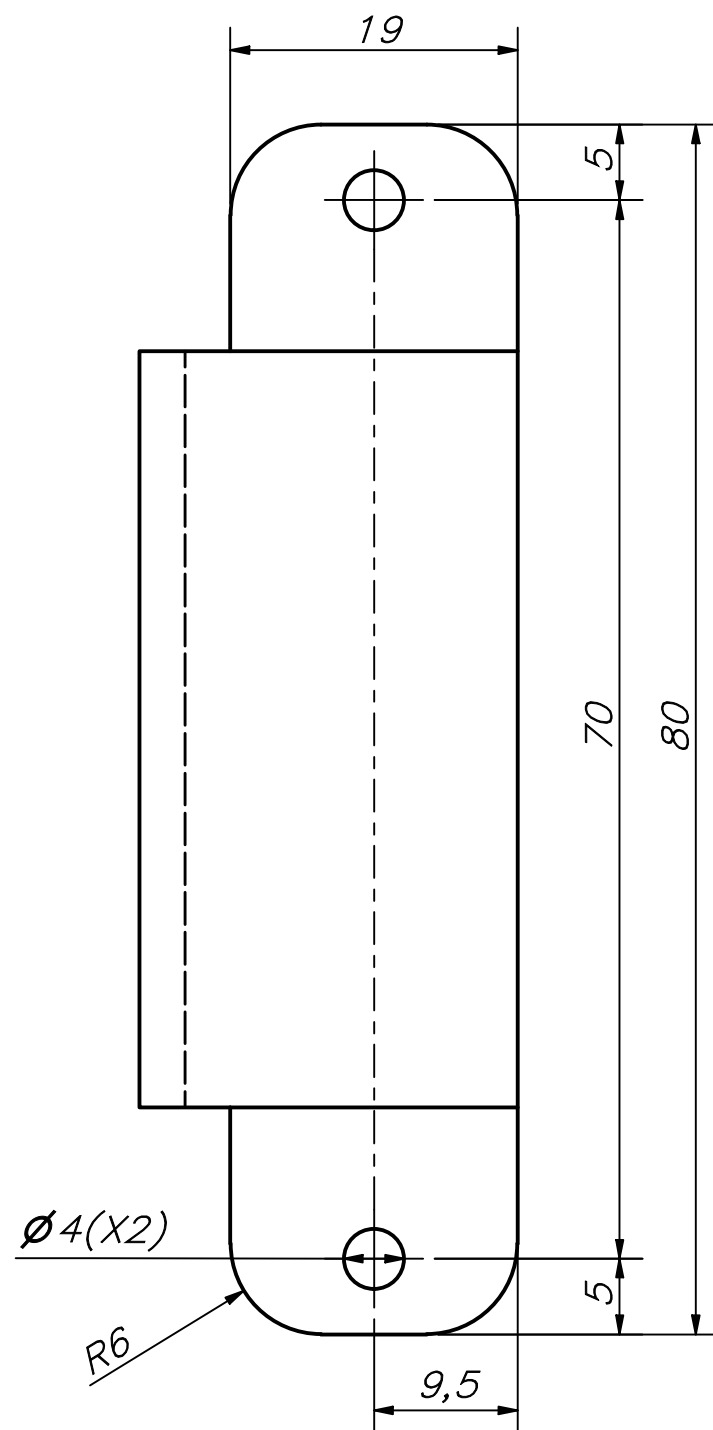
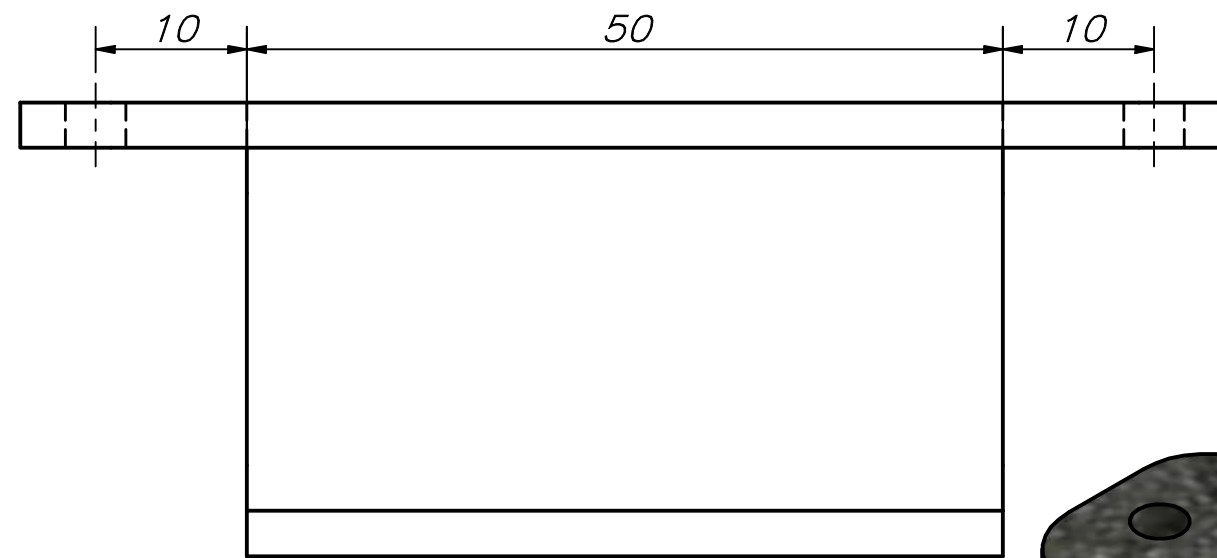
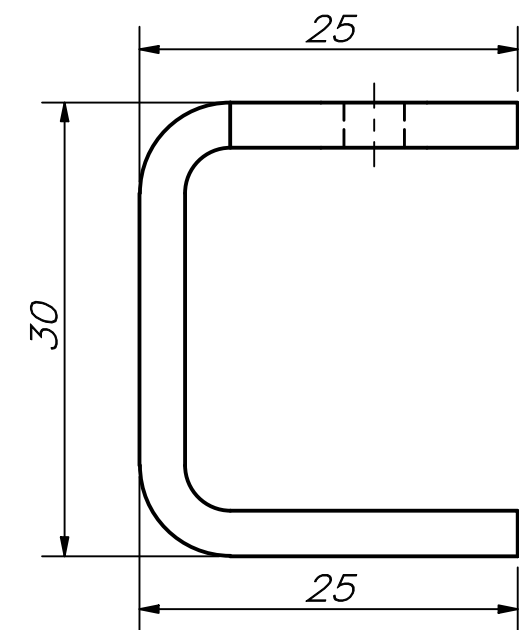
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE PARACHOQUES 2	ESCALA 1:1
E-5-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A4



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
		4:1
E-6-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

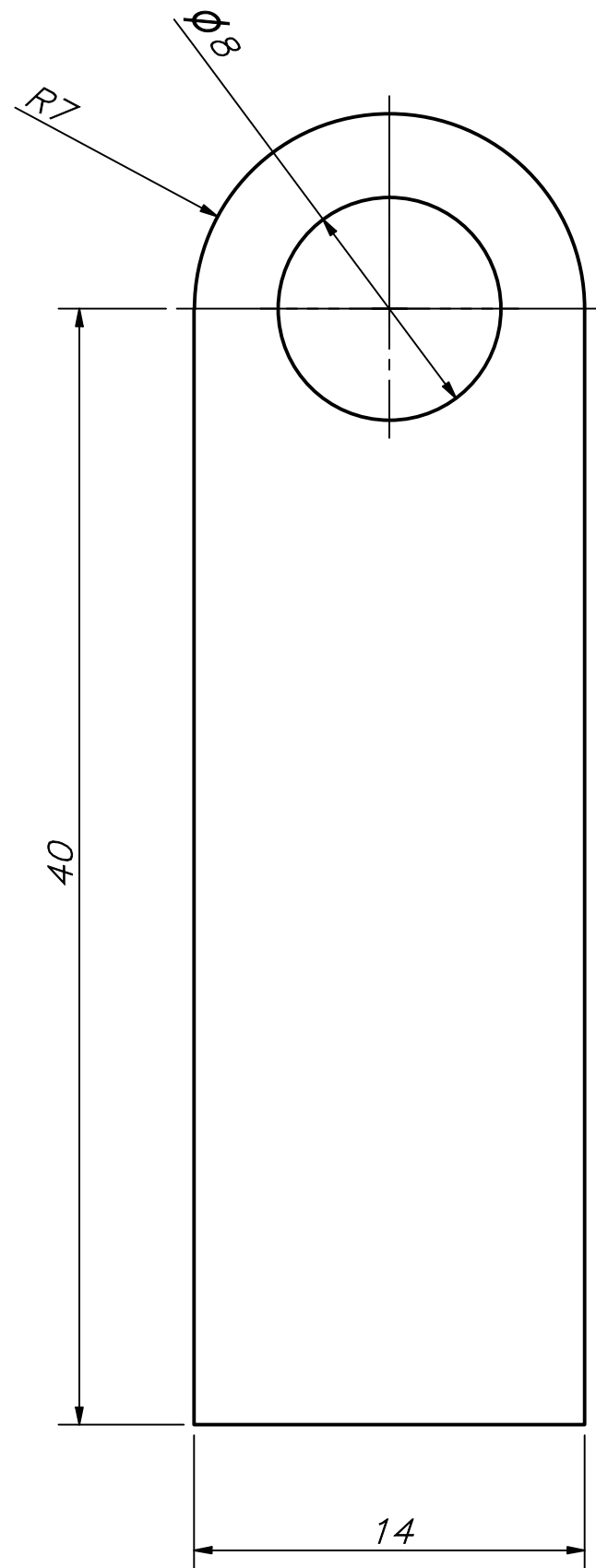
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE POTENCIOMETRO	ESCALA 2:1
	E-7-D	PARIONA PINO, GONZALO
		FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

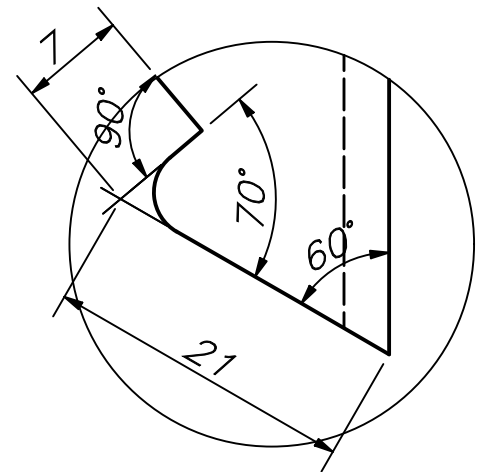
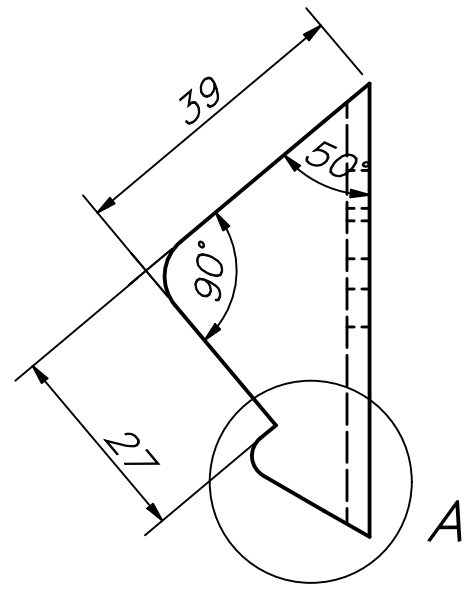
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



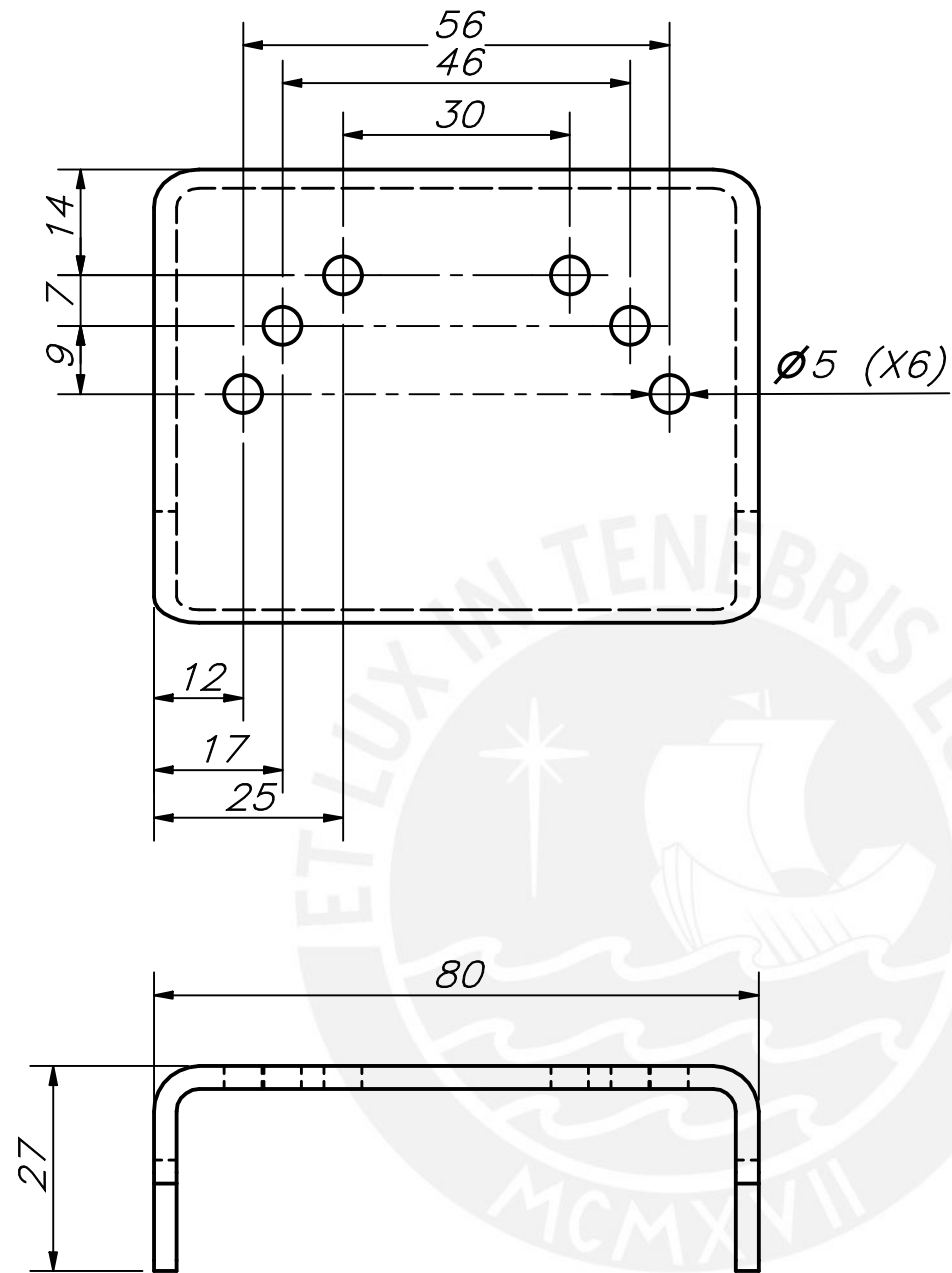
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE BOMBA	ESCALA
		4:1
E-8-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



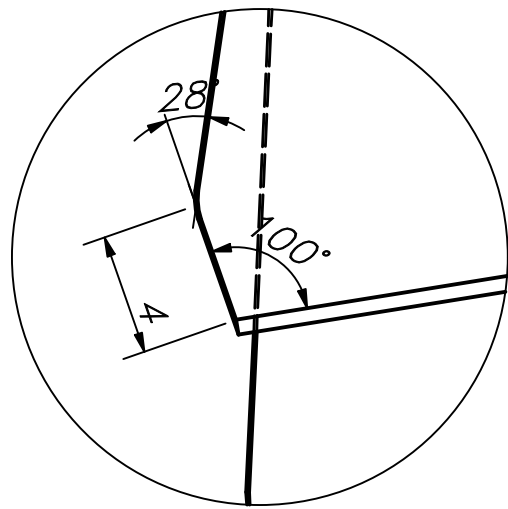
DETALLE A



ESPESOR 3 MM

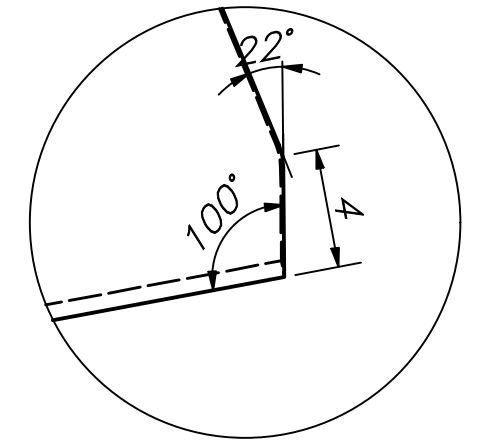
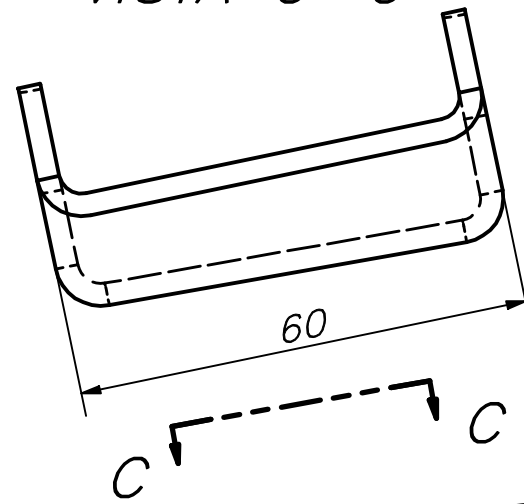
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE DIRECCION 1	ESCALA
		1:1
E-9-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

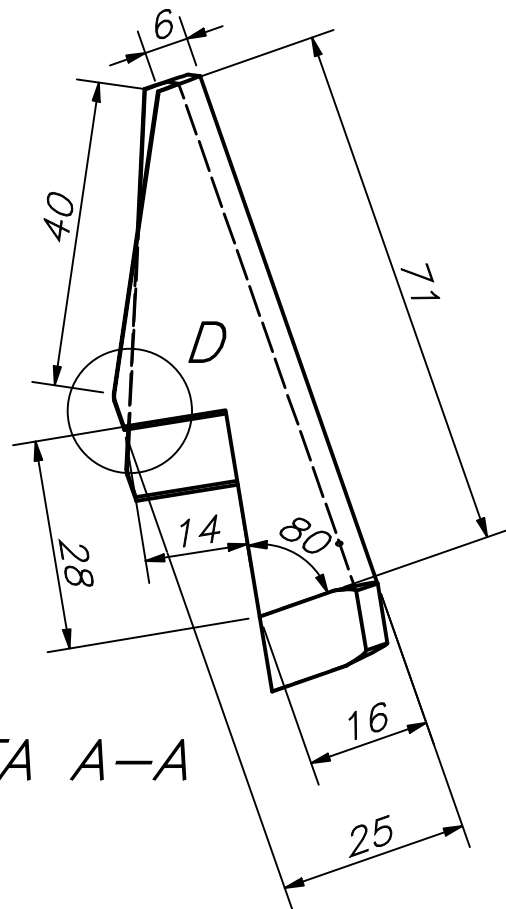


DETALLE D

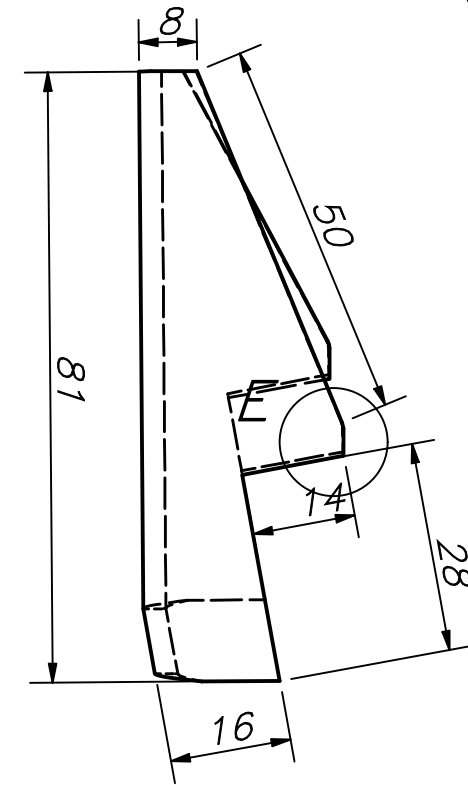
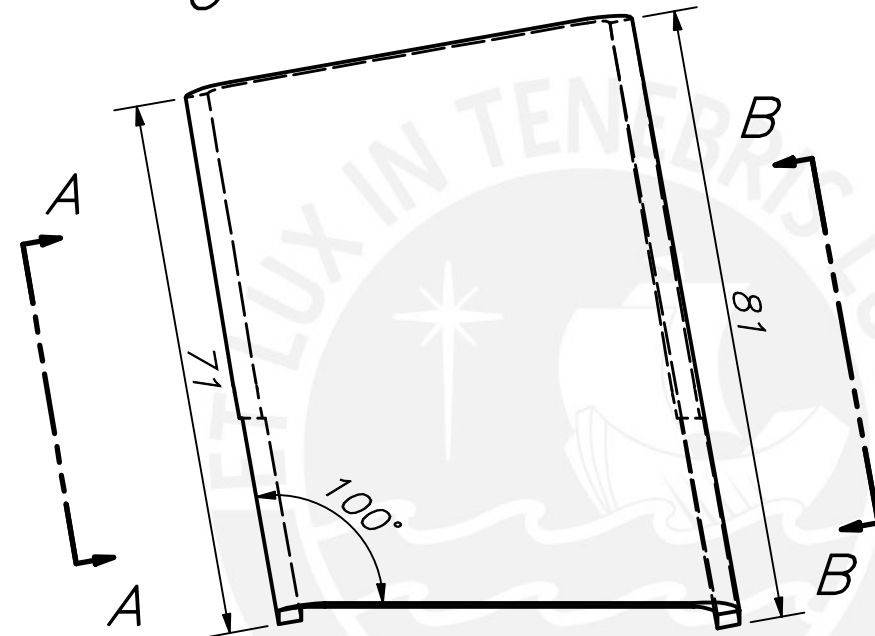
VISTA C-C



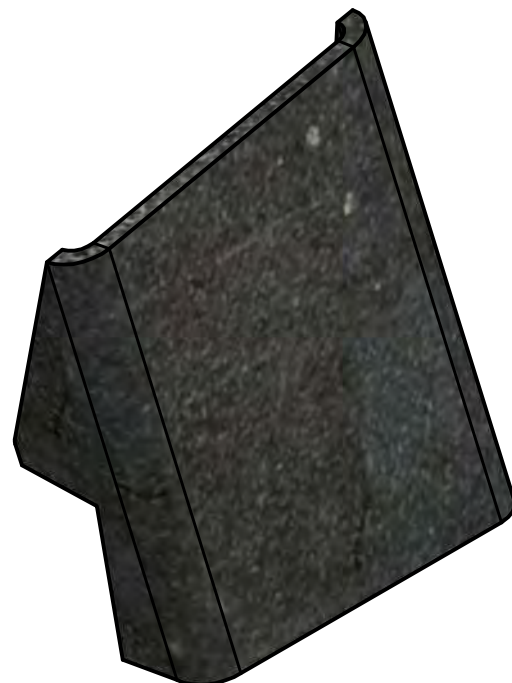
DETALLE E



VISTA A-A



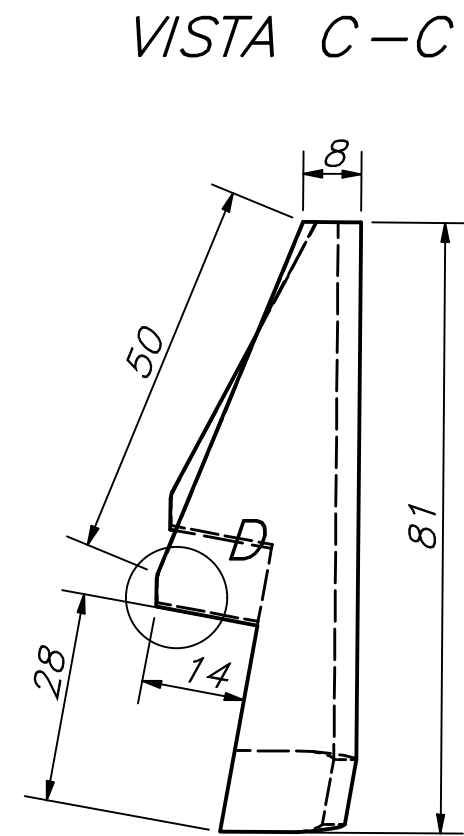
VISTA B-B



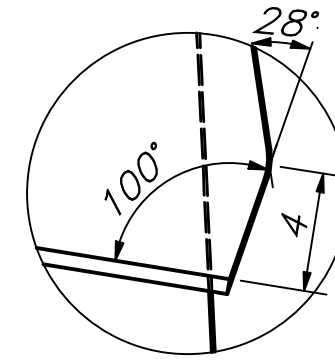
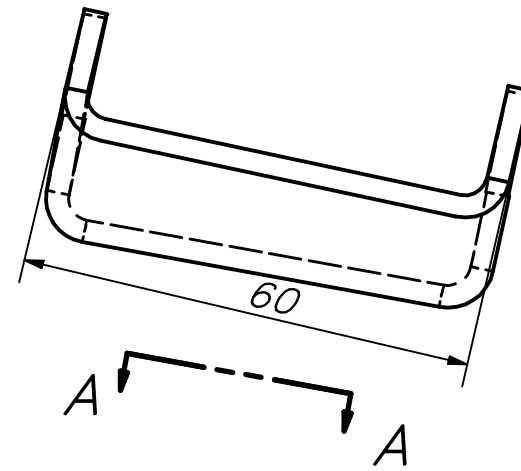
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE DIR IZQ	ESCALA
		1:1
E-10-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

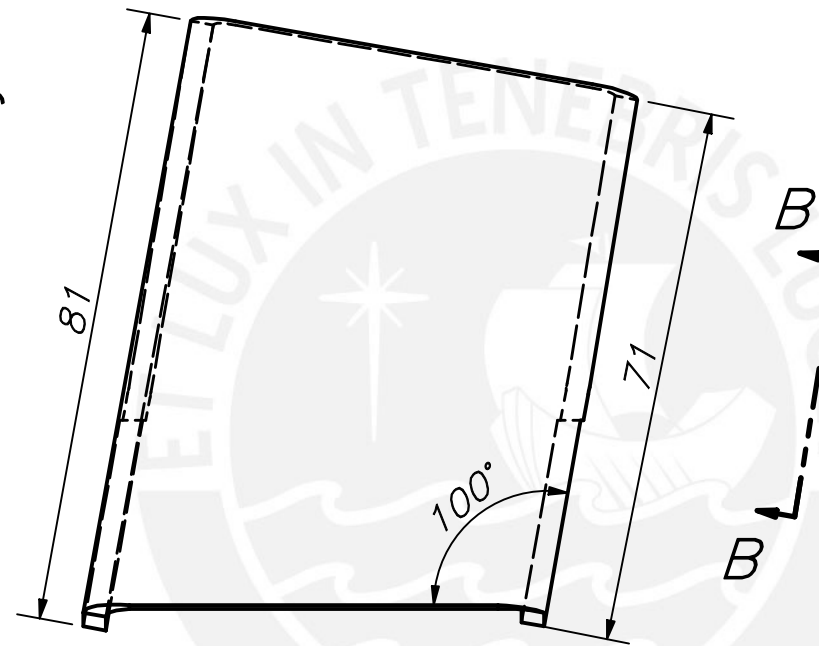


VISTA A-A

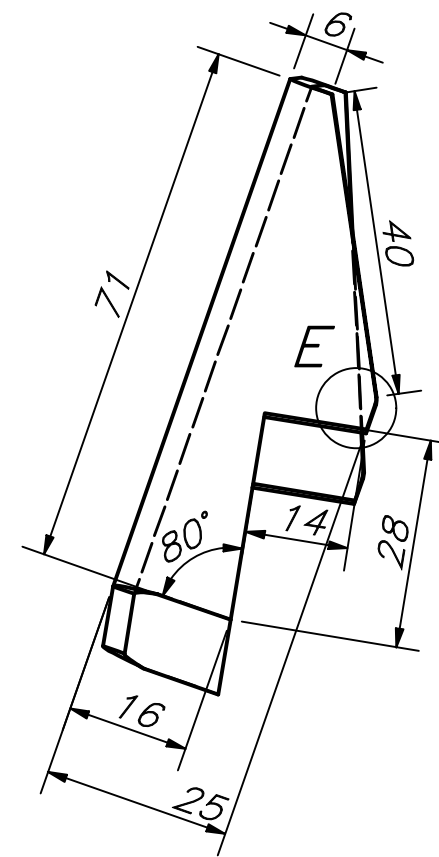


DETALLE E

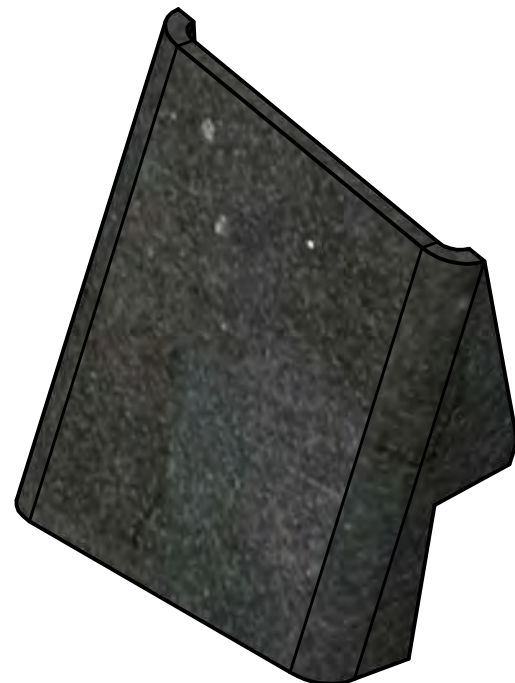
C



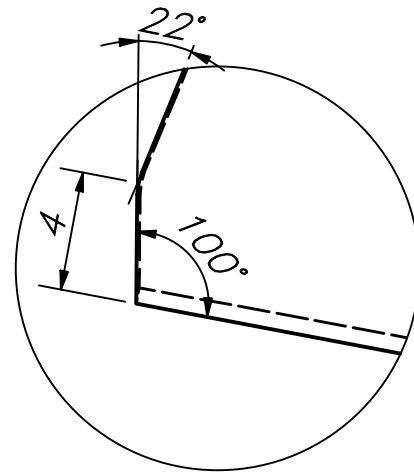
VISTA B-B



ESPEJOR 3 MM

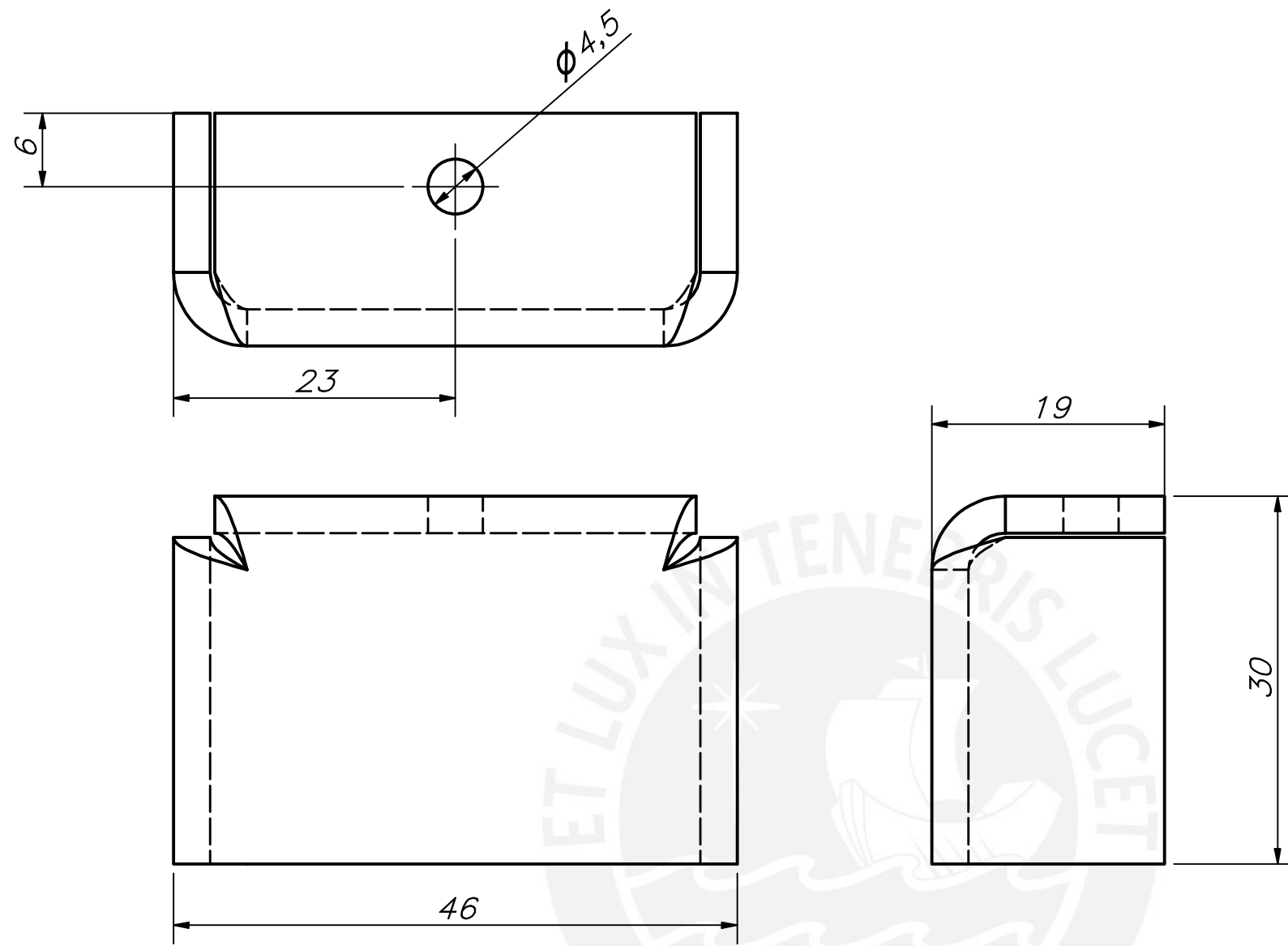


DETALLE D



ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE DIR DER	ESCALA
		1:1
E-11-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

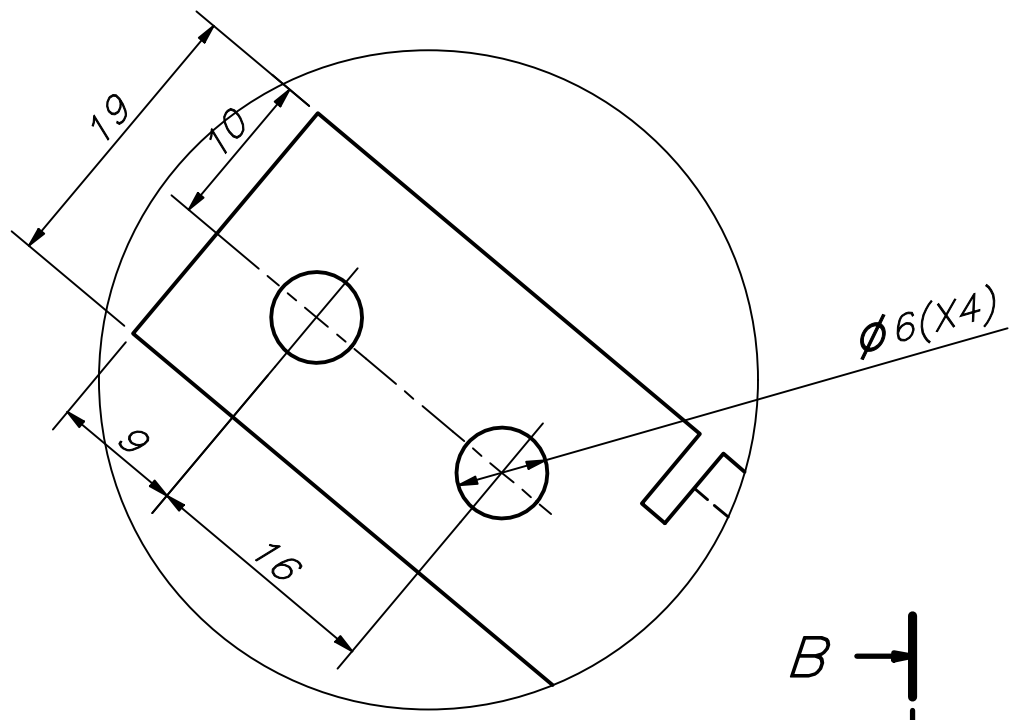
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

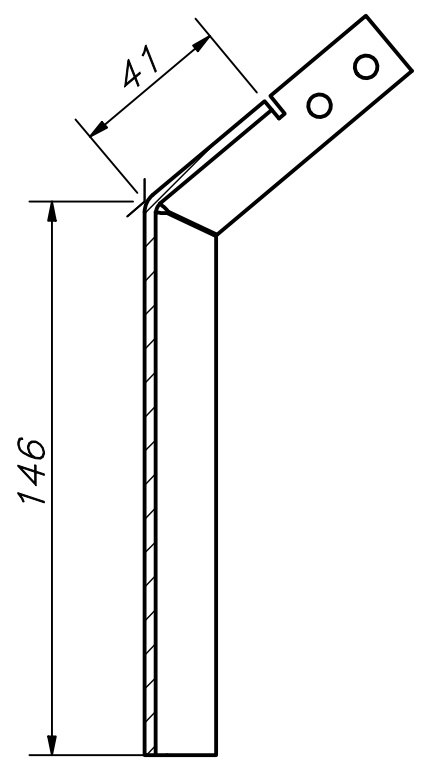
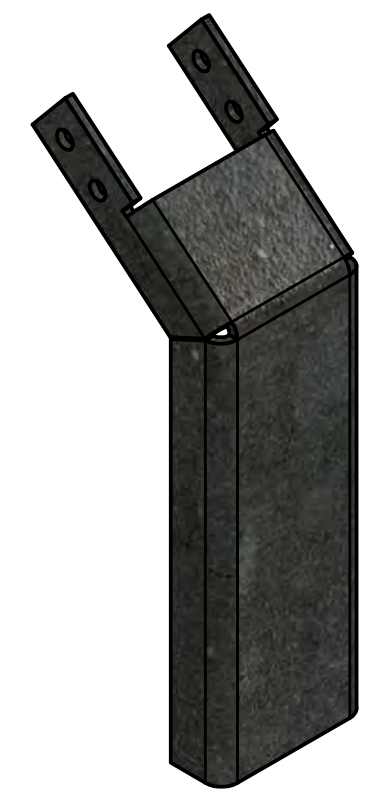
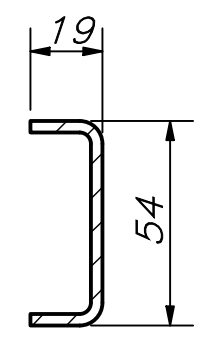
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE ASIENTO 1	ESCALA
		2:1
E-12-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

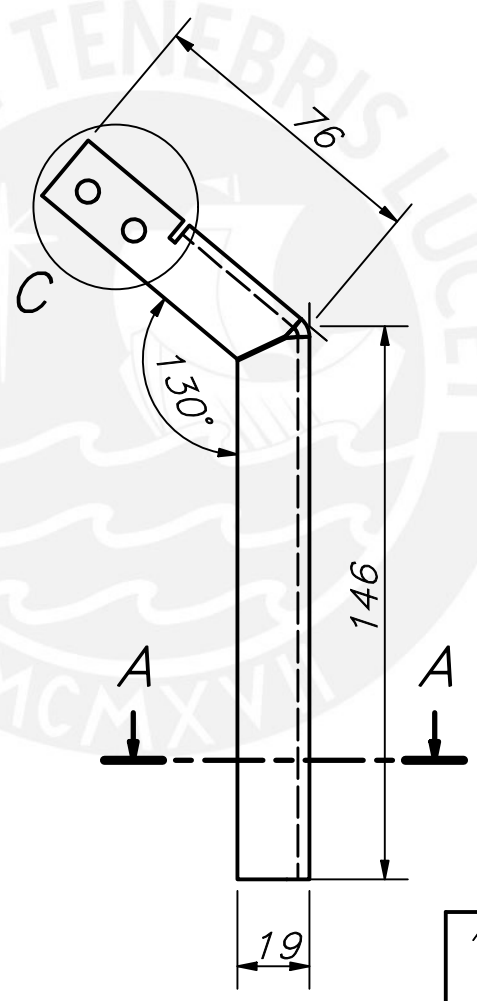
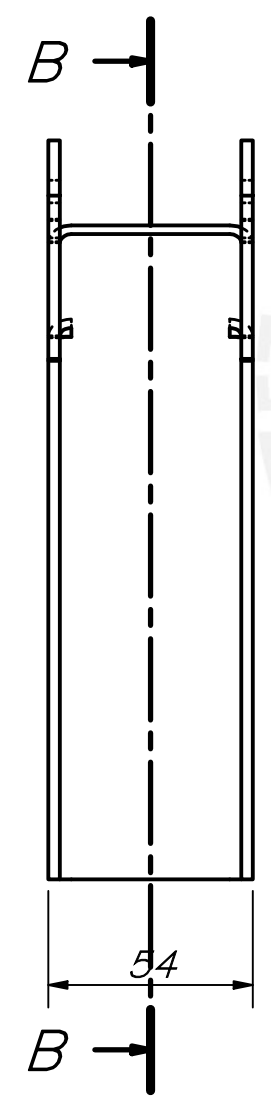


DETALLE C

SECCION A-A



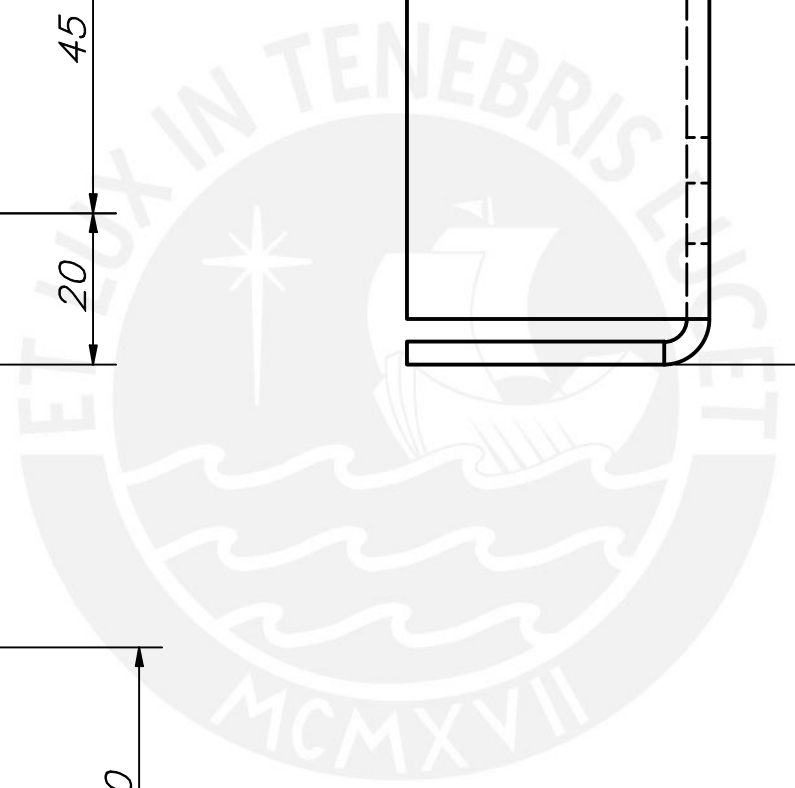
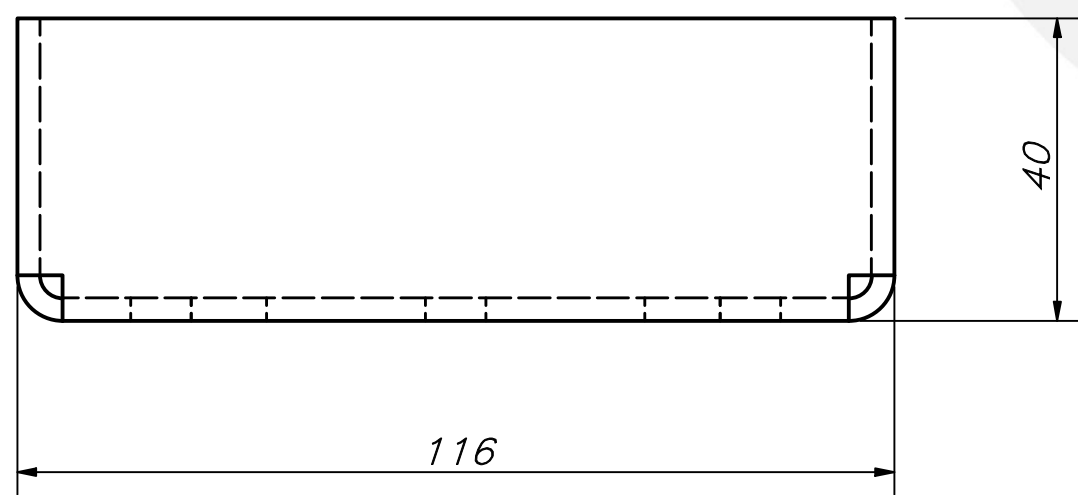
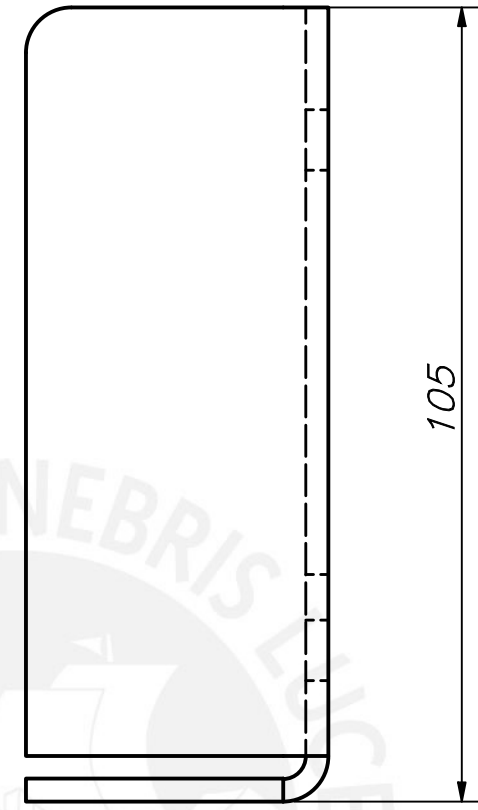
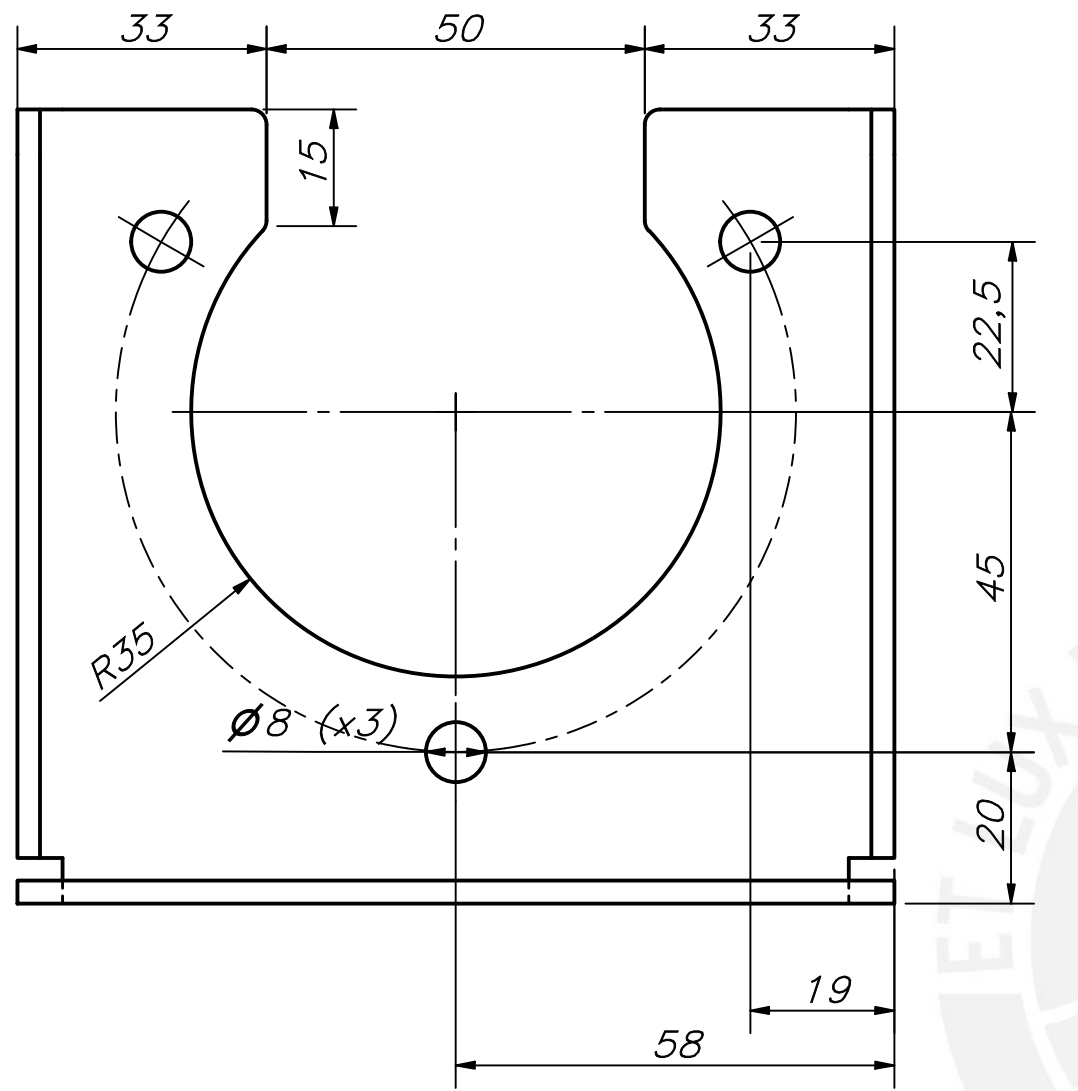
SECCION B-B



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE DIRECCION 2	ESCALA
		1:2
E-13-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

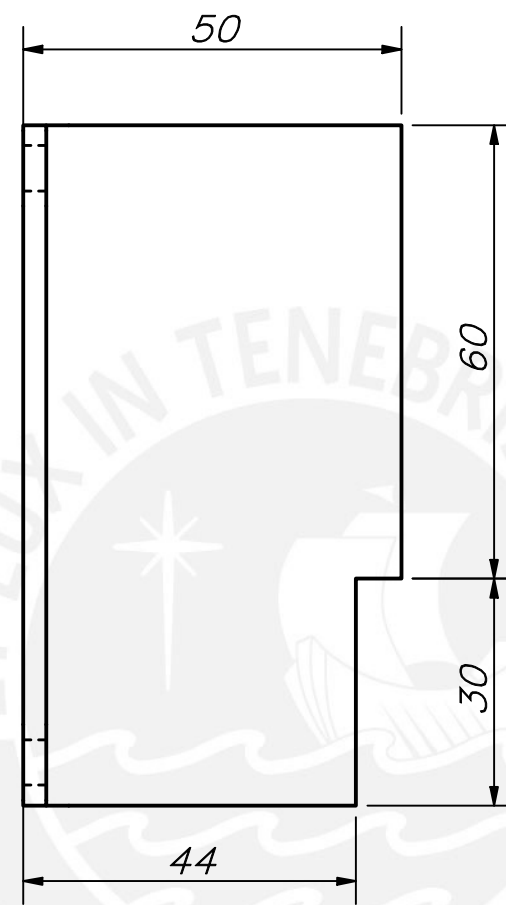
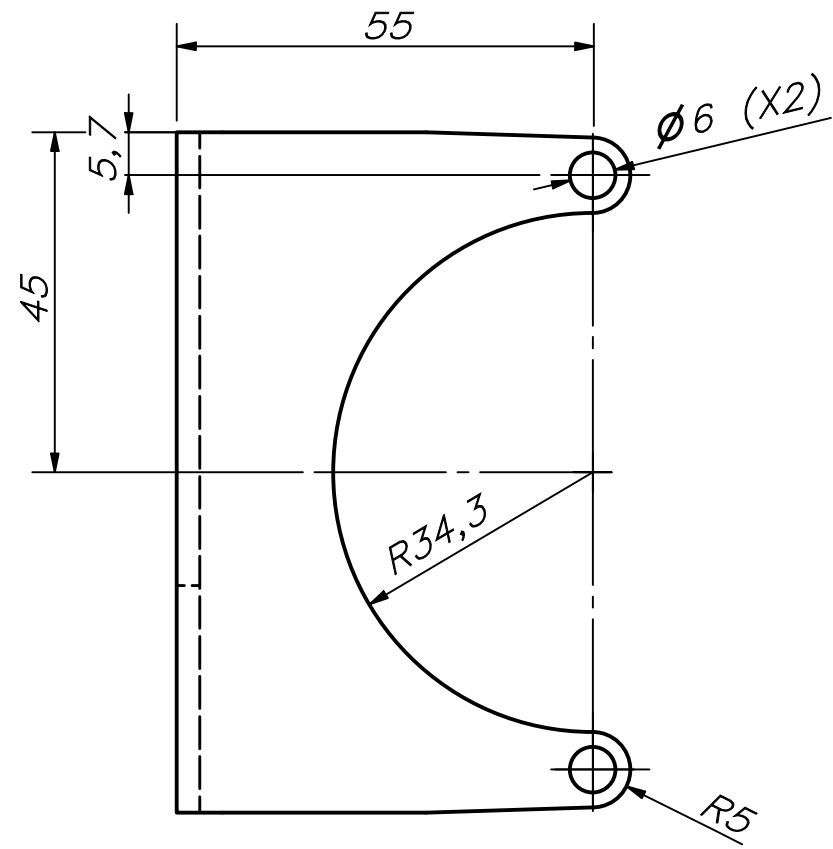
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	SOPORTE RODAMIENTO	1:1
E-14-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

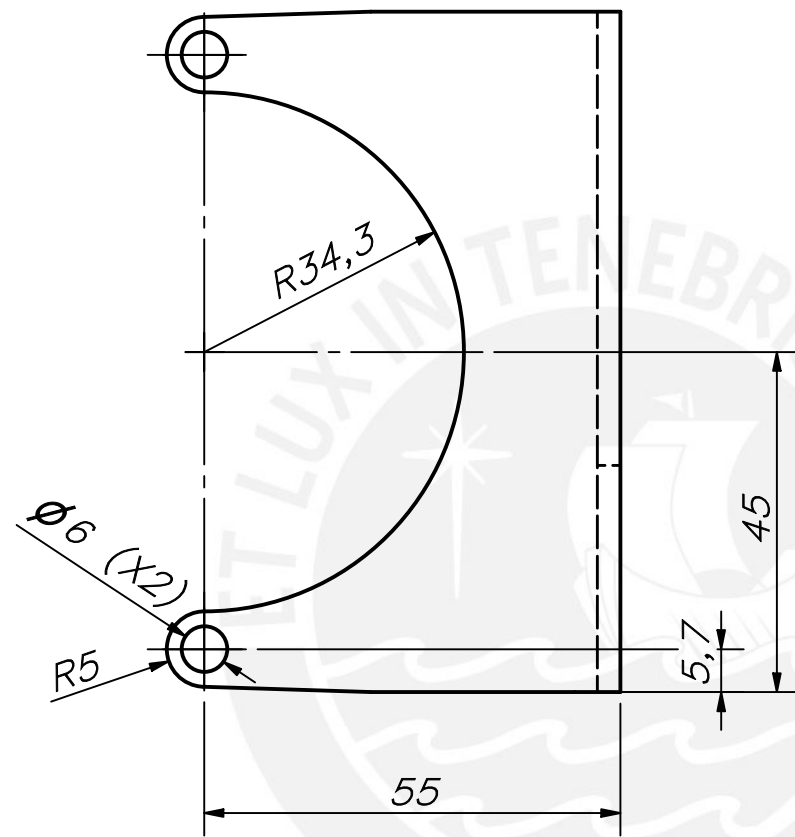
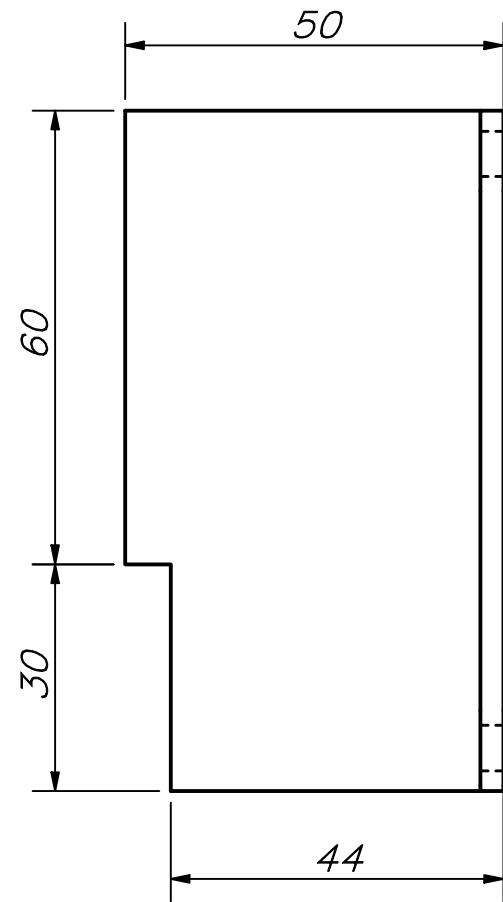
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE FRENO IZQ	ESCALA
		1:1
E-15-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

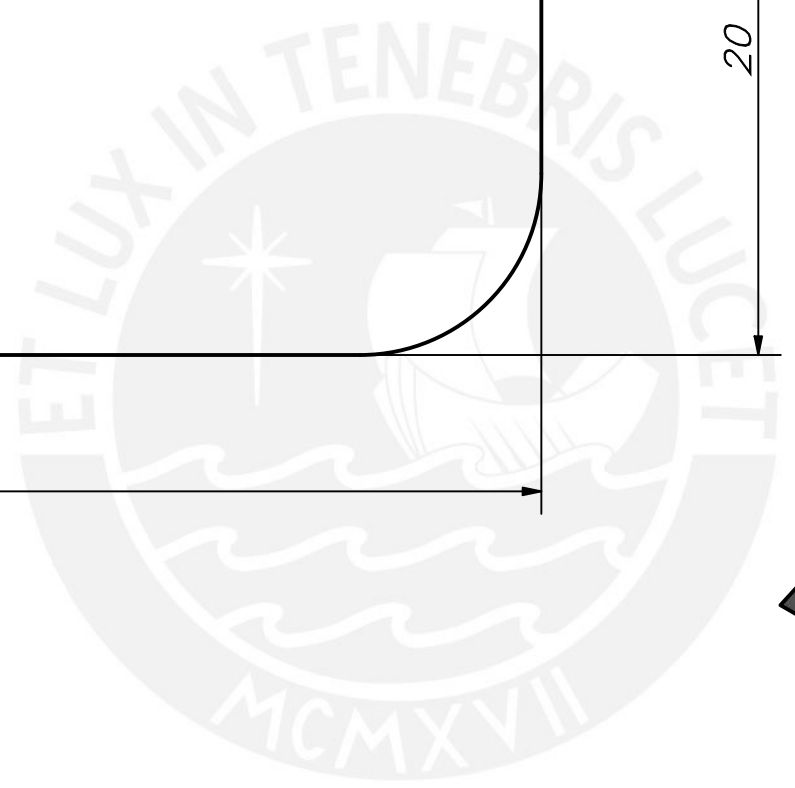
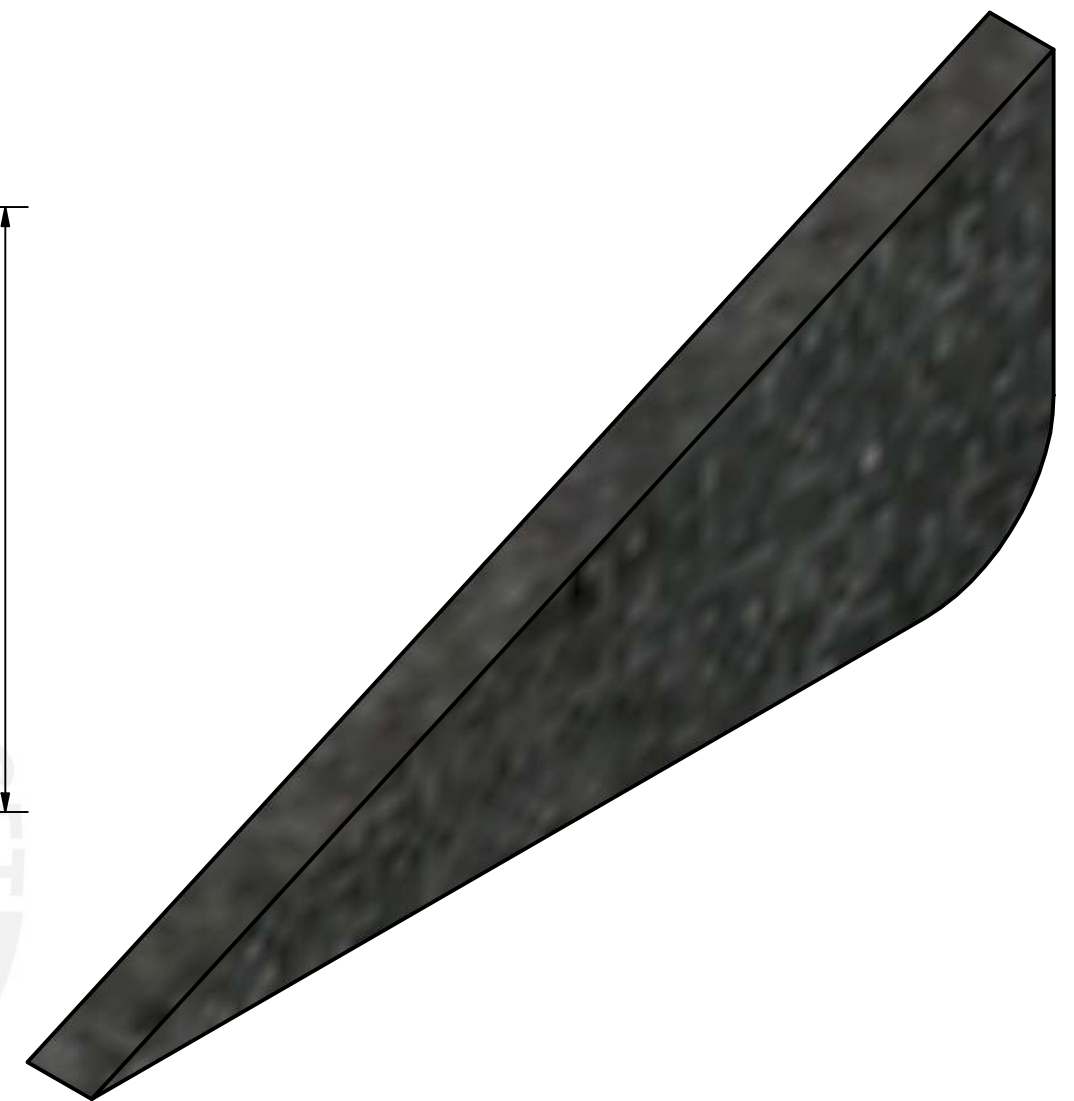
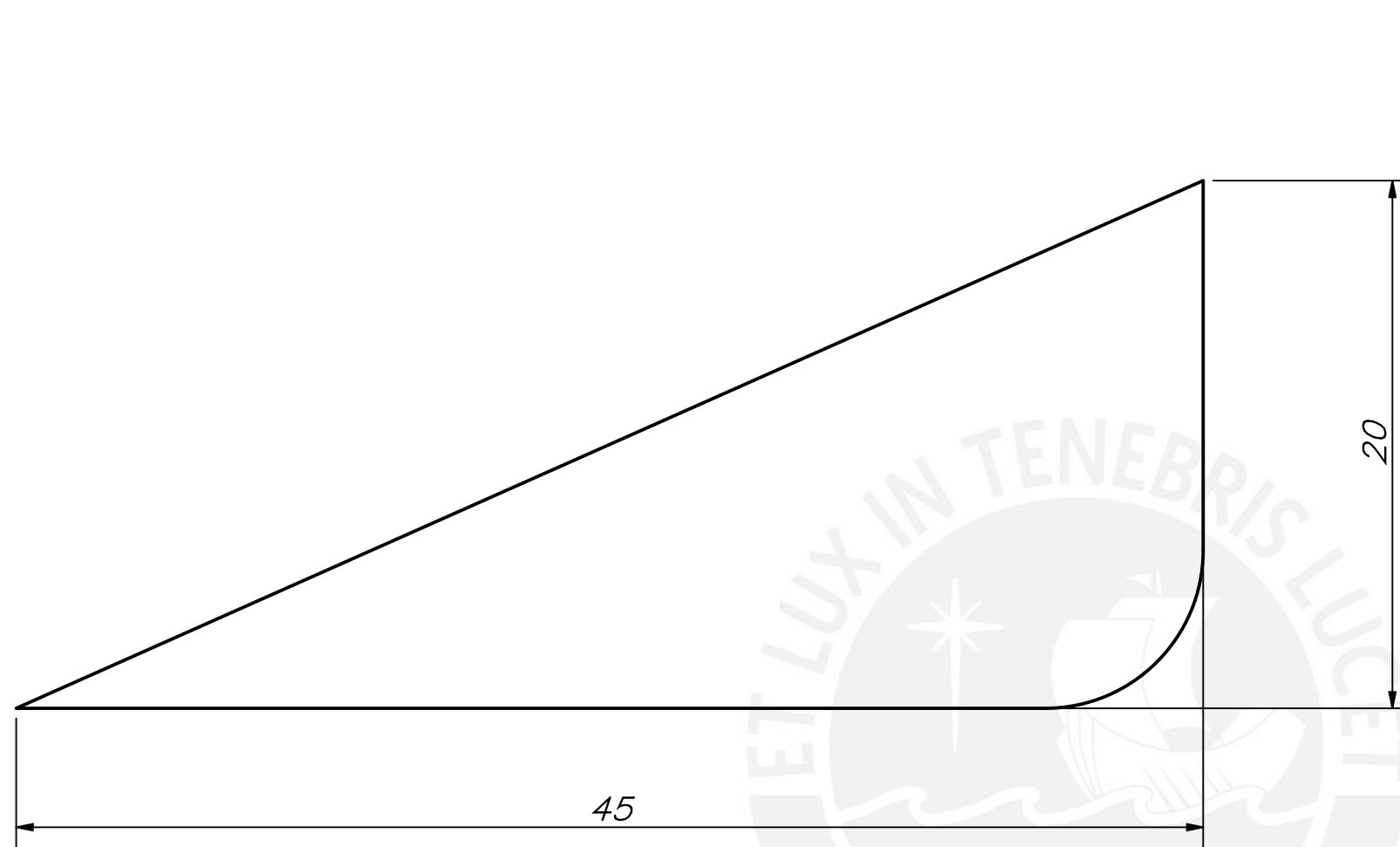


ER

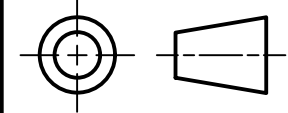
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE FRENO DER	ESCALA
		1:1
E-16-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

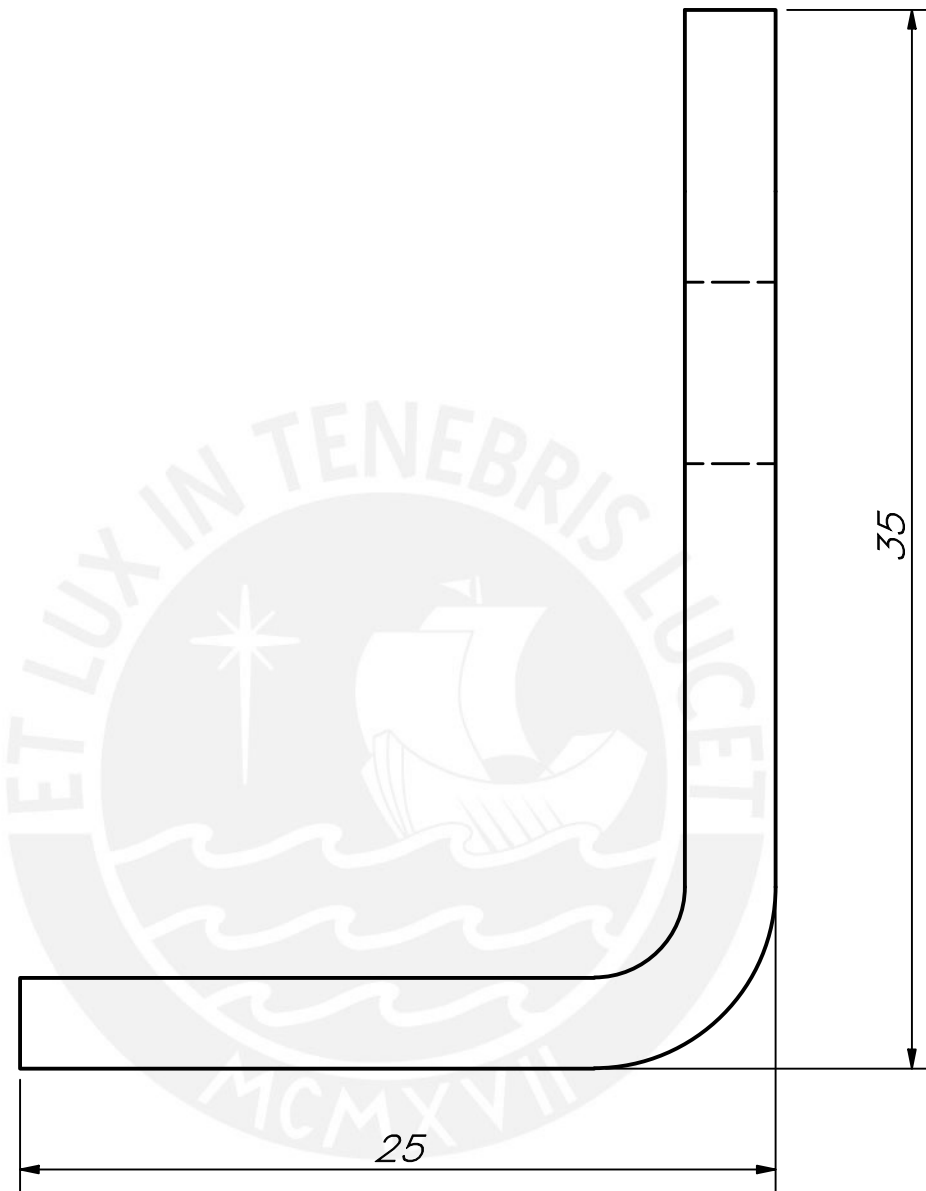
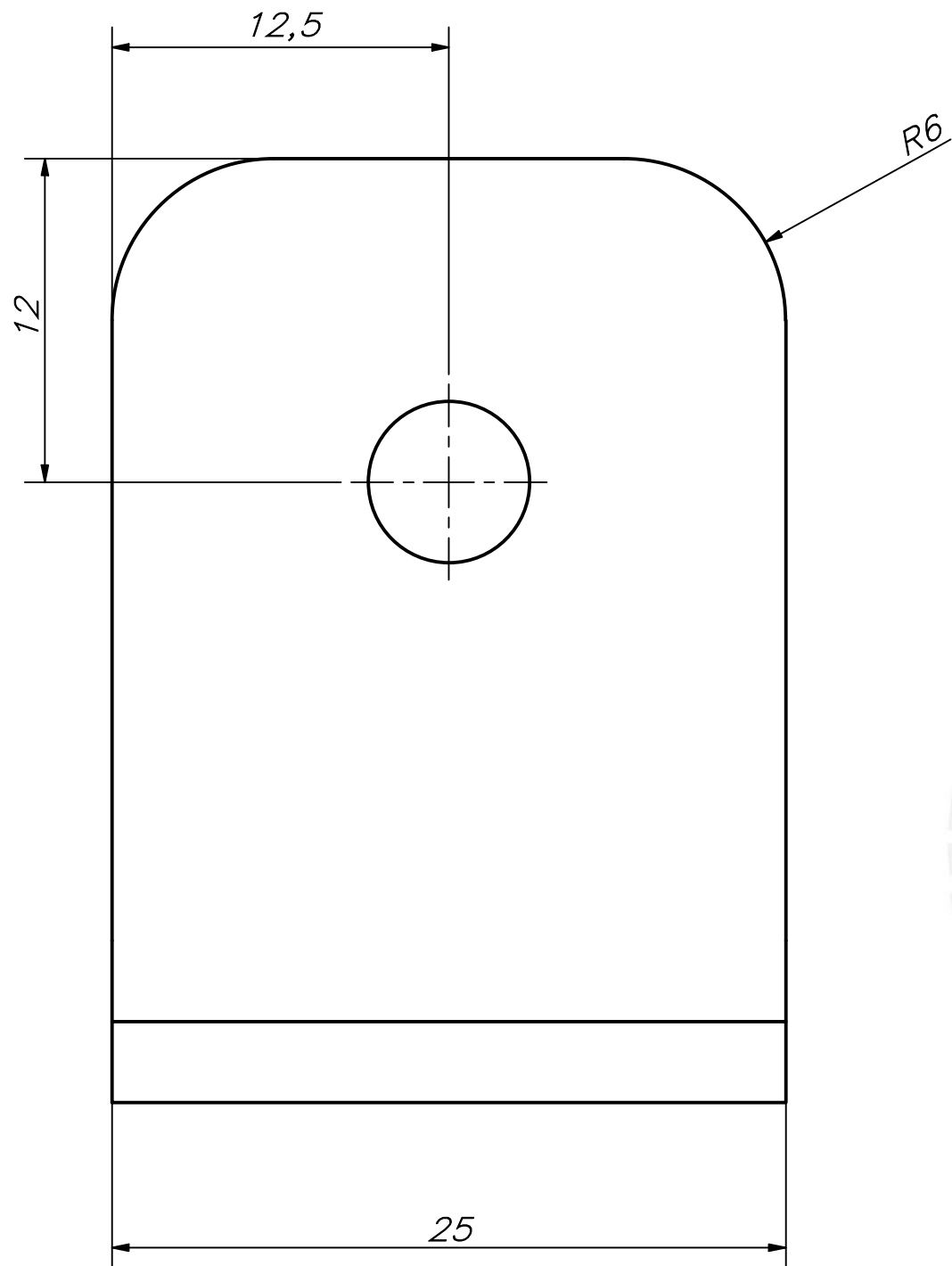
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	CARTELA	4:1
E-17-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

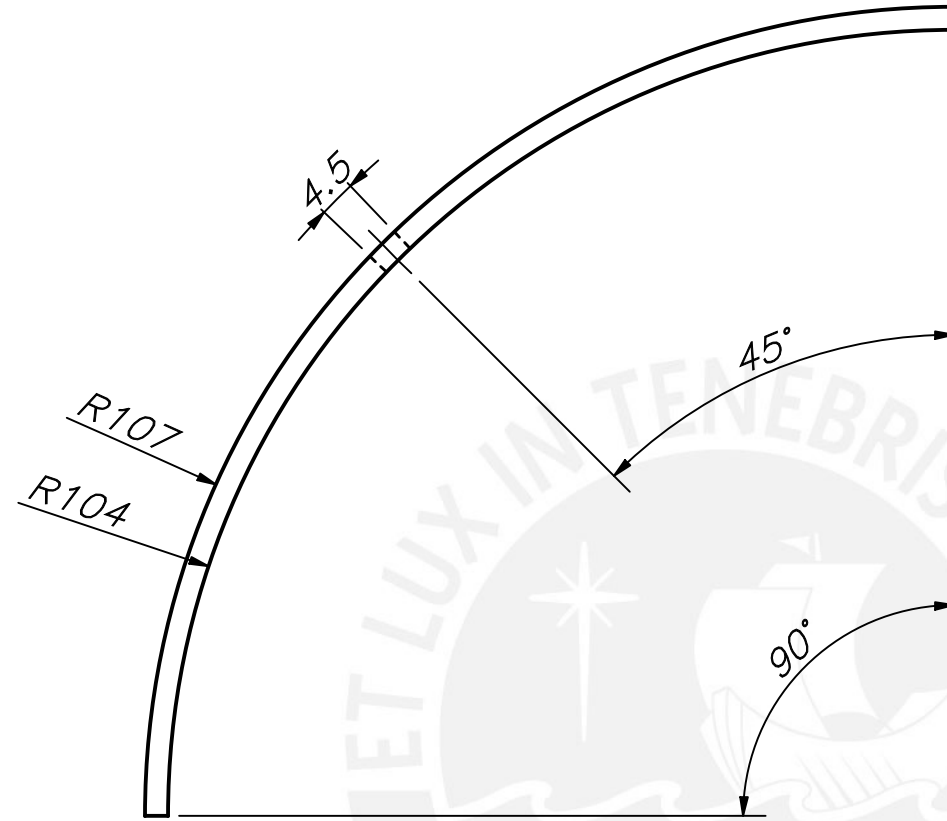
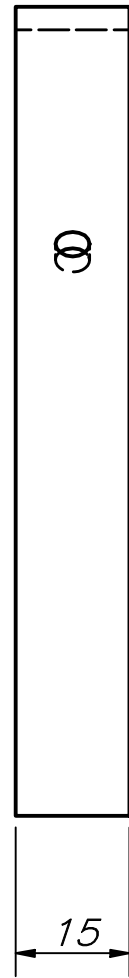
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE ASIENTO 2	ESCALA
		4:1
E-18-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

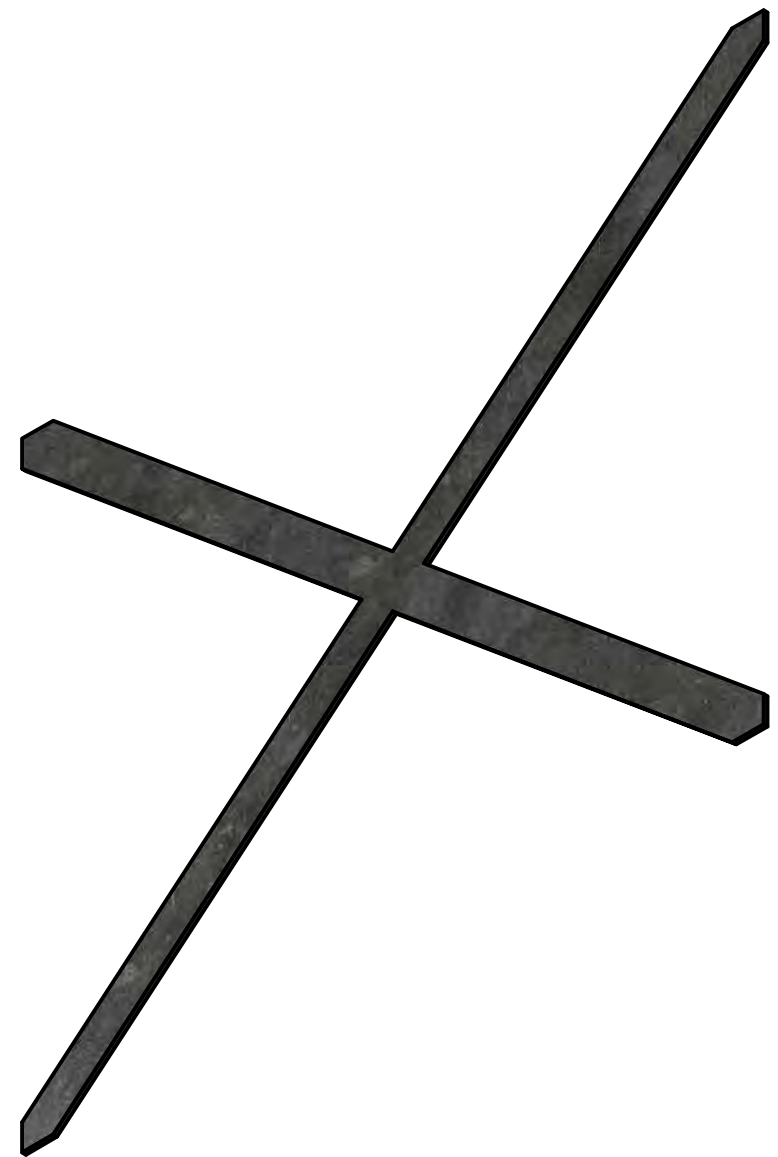
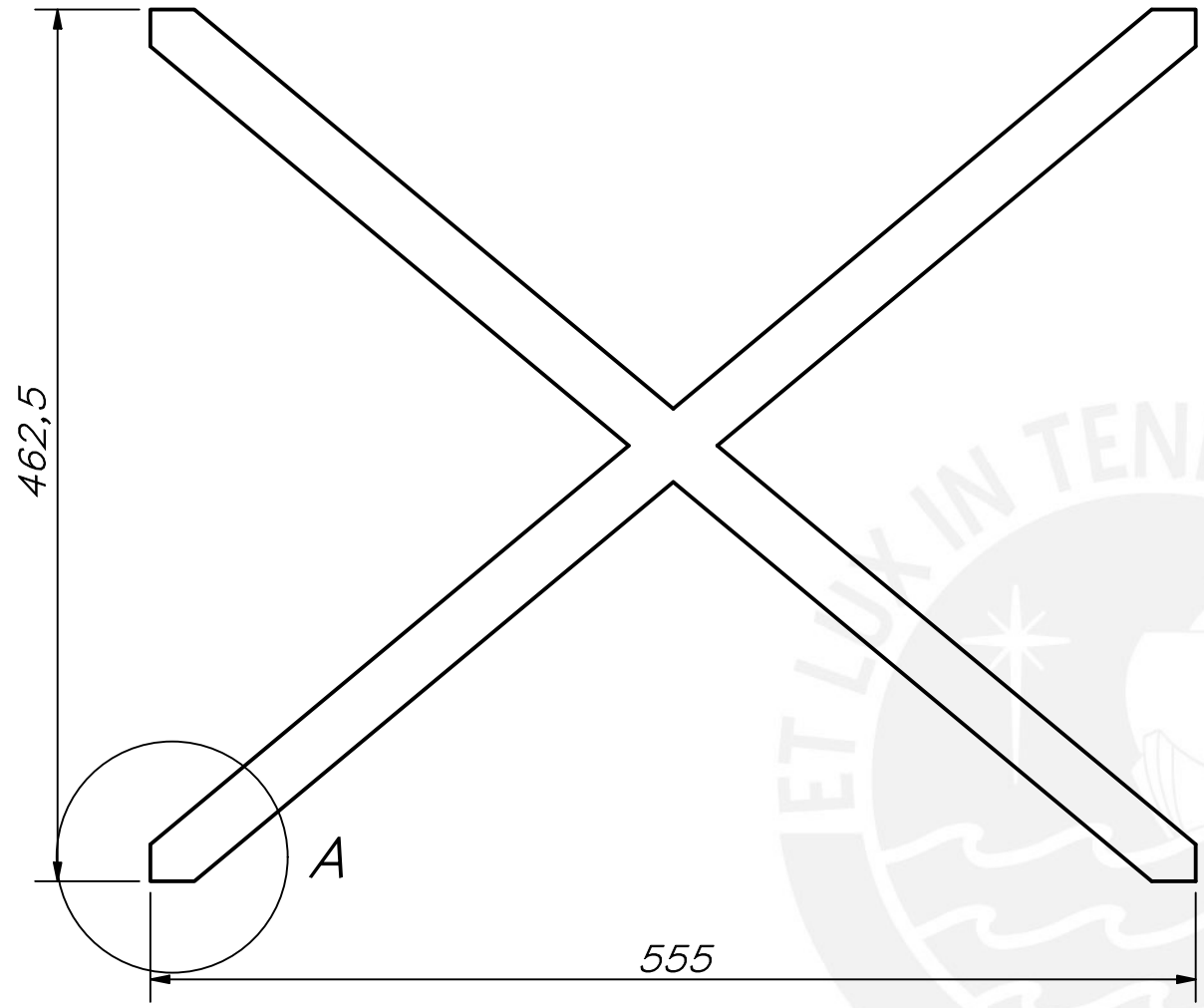
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



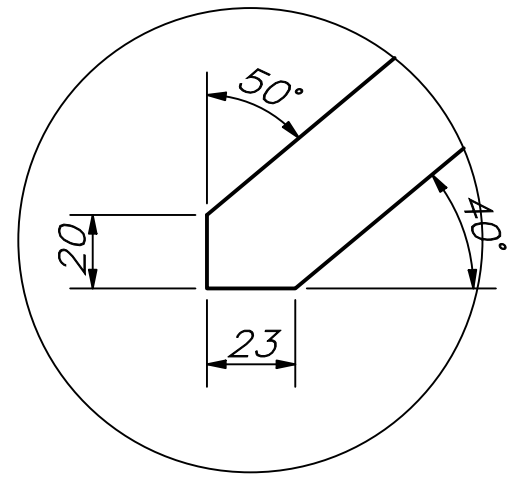
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TOPE MALLA	ESCALA
		2:1
E-19-E	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



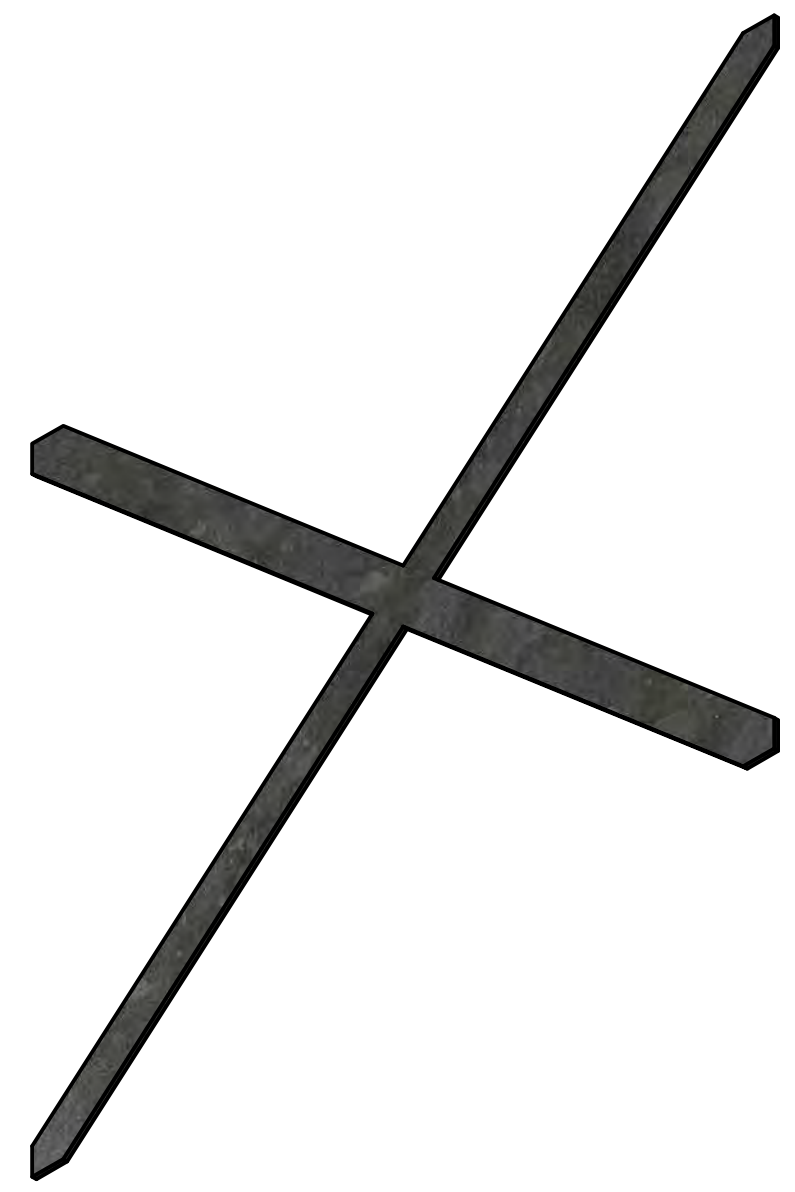
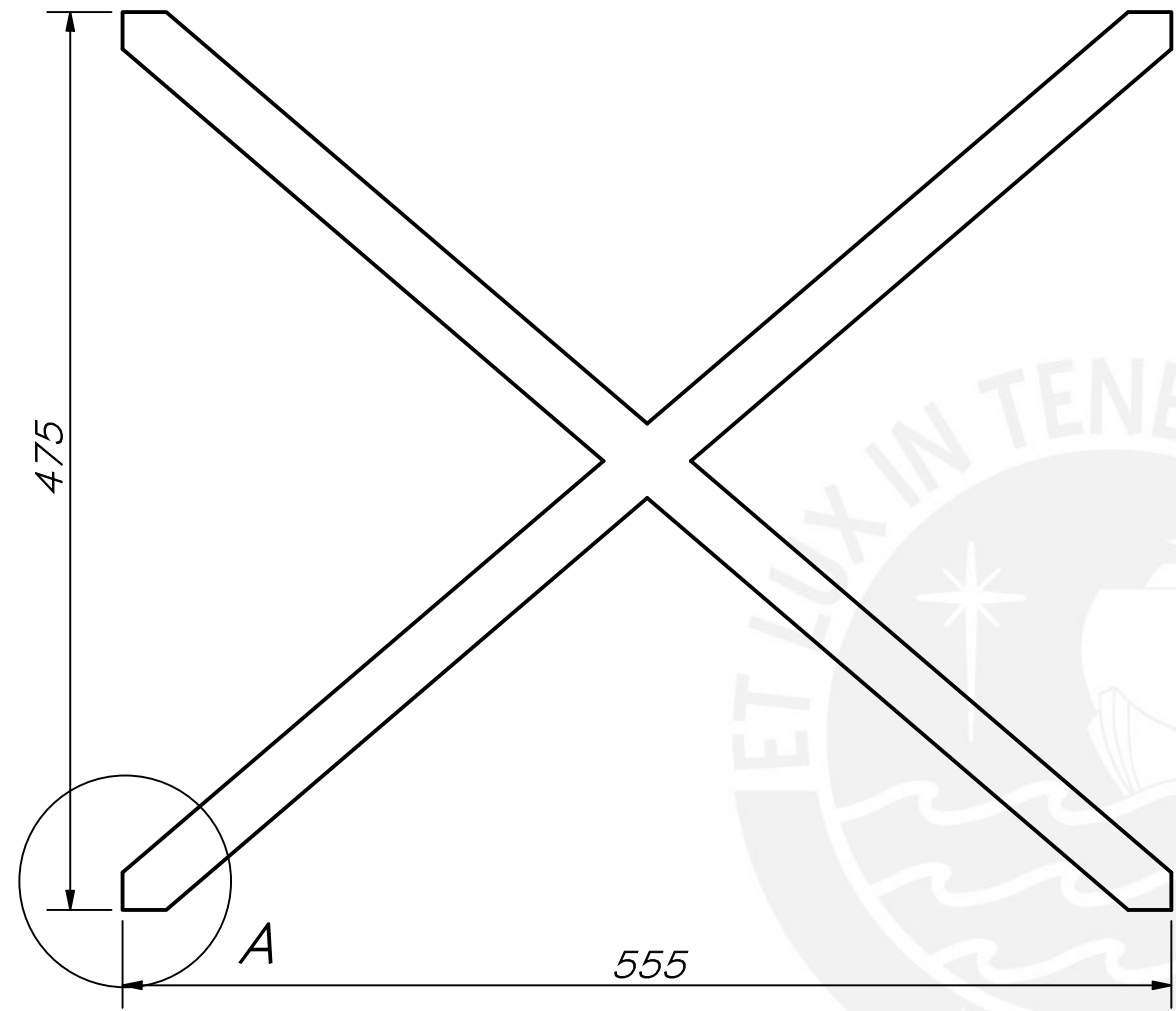
DETALLE A



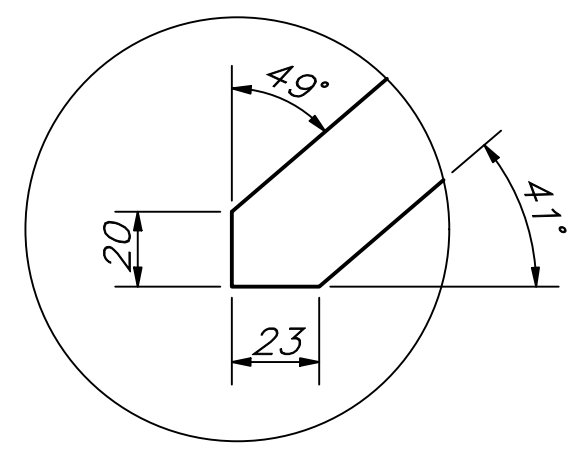
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	REFUERZO BATERIA 1	ESCALA
		1:4
E-20-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE A

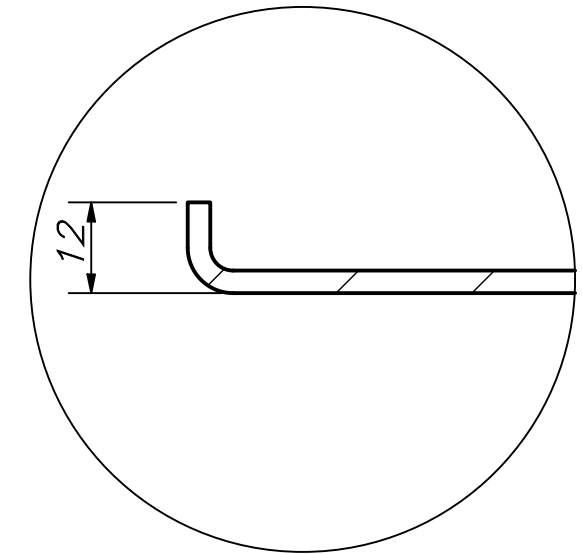
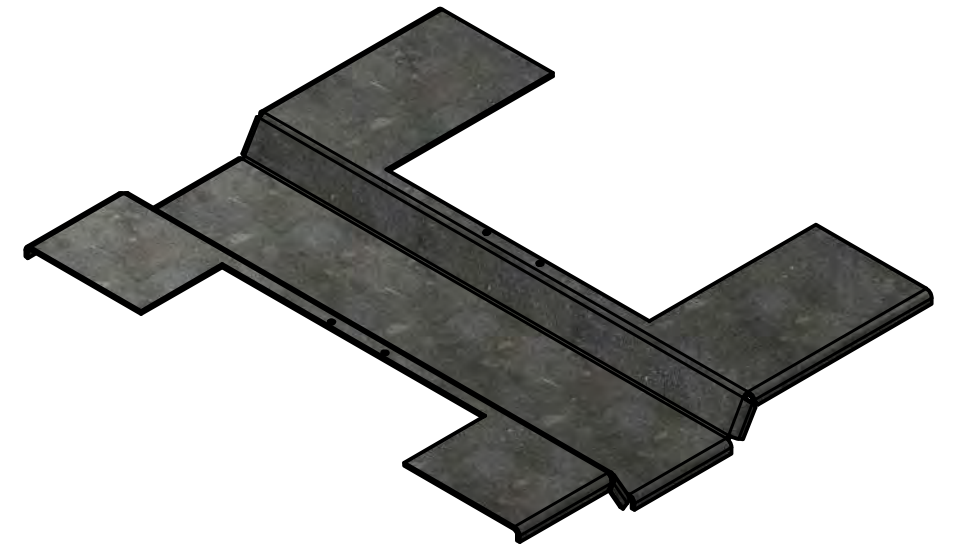
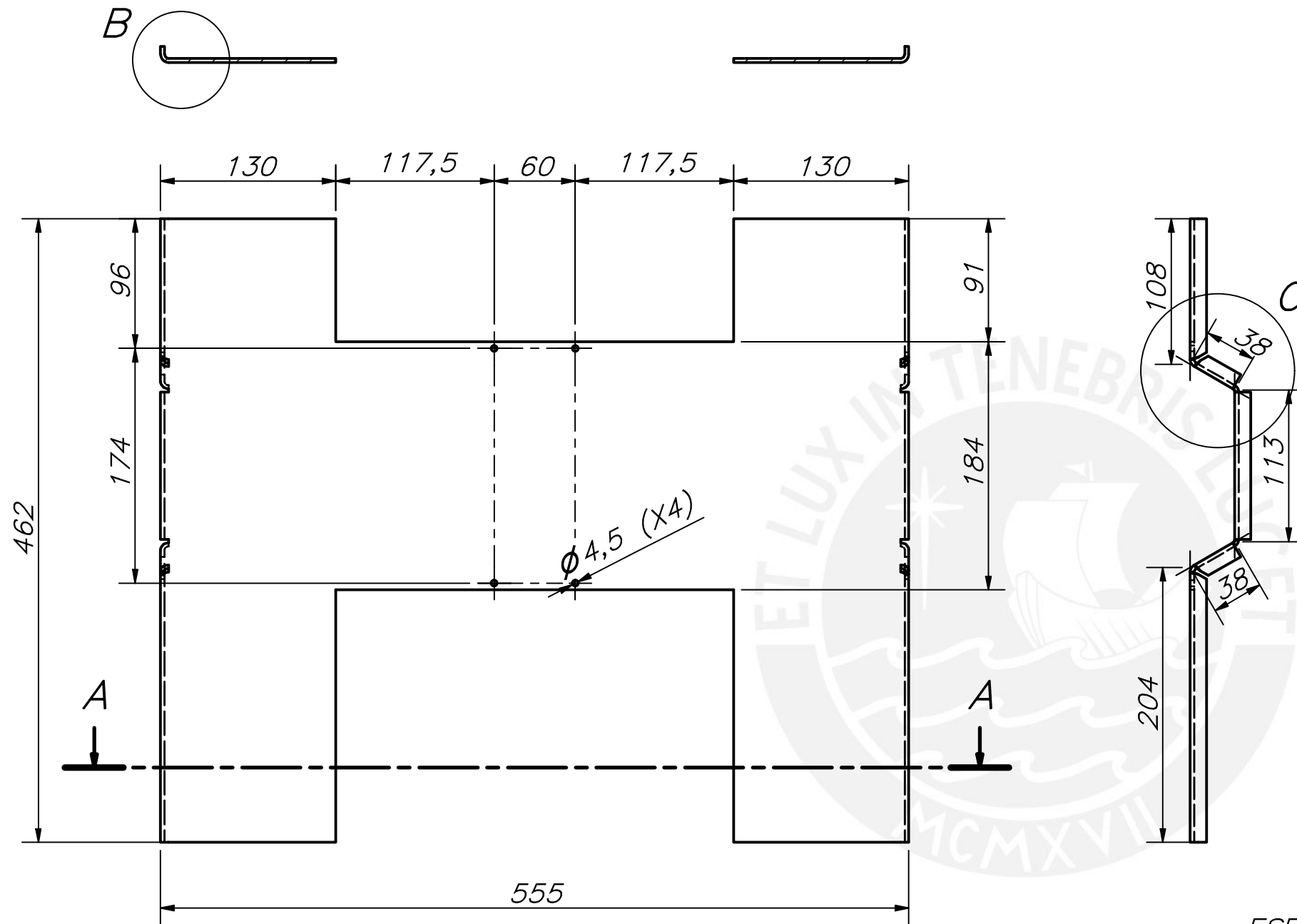


ESPESOR 3 MM

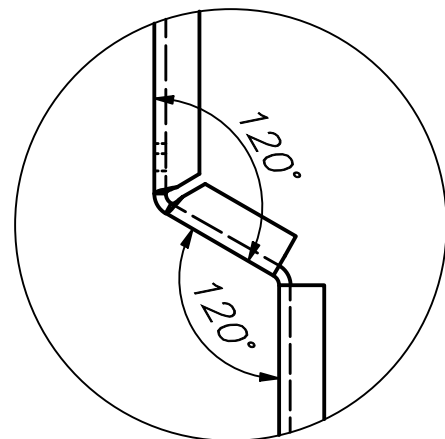
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	REFUERZO BATERIA 2	ESCALA
		1:4
E-21-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

SECCION A-A



DETALLE B

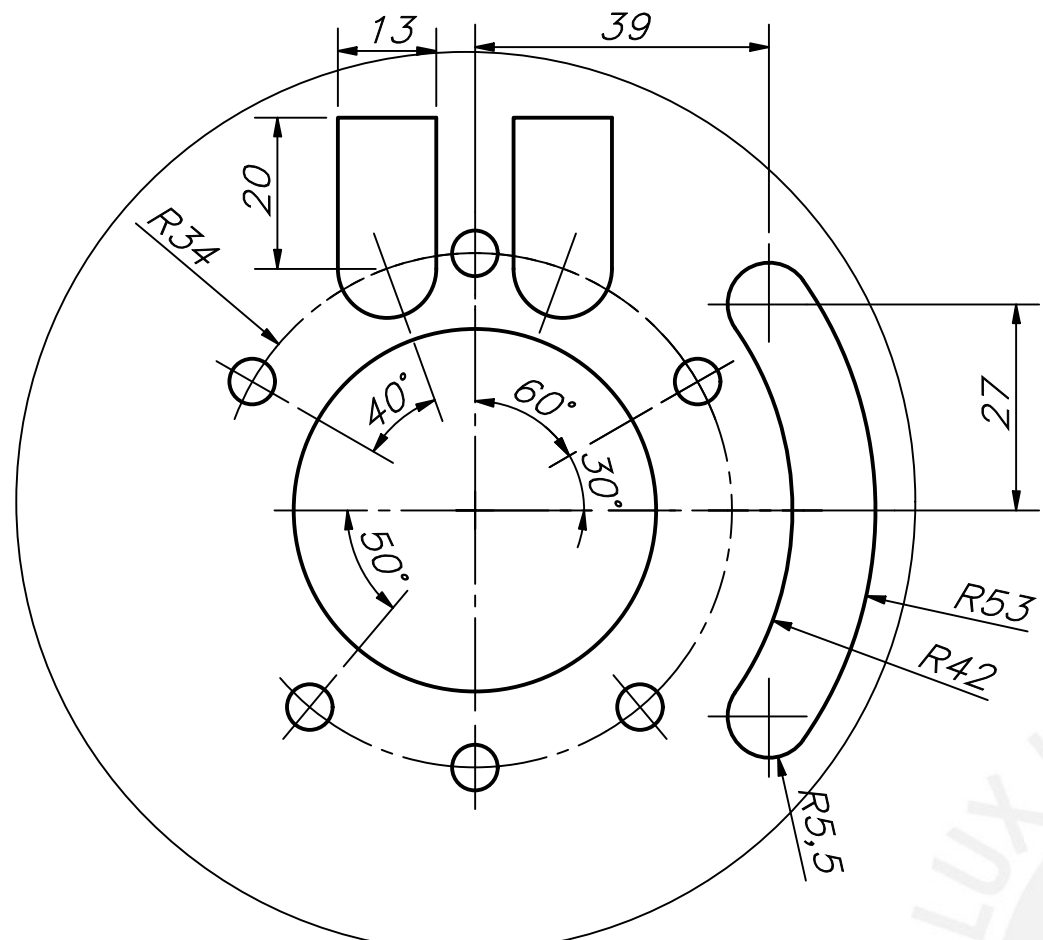


DETALLE C

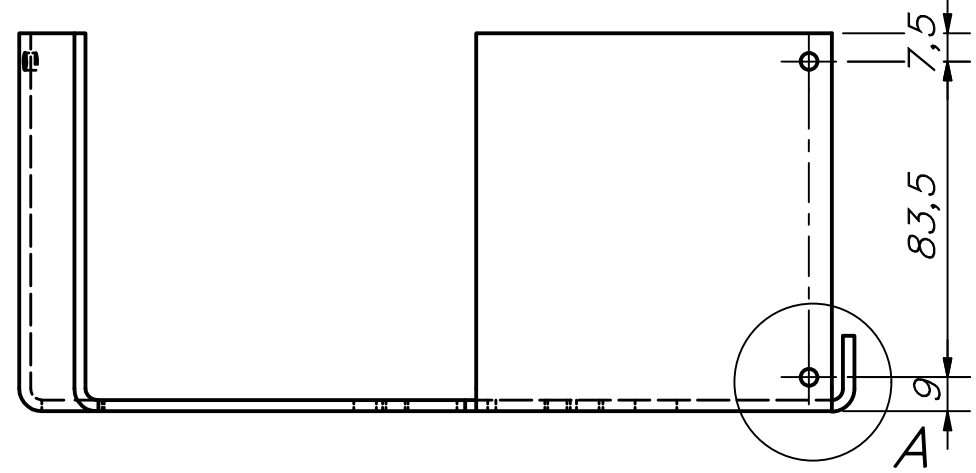
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRAVESAÑO 4	ESCALA
		1:4
E-22-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

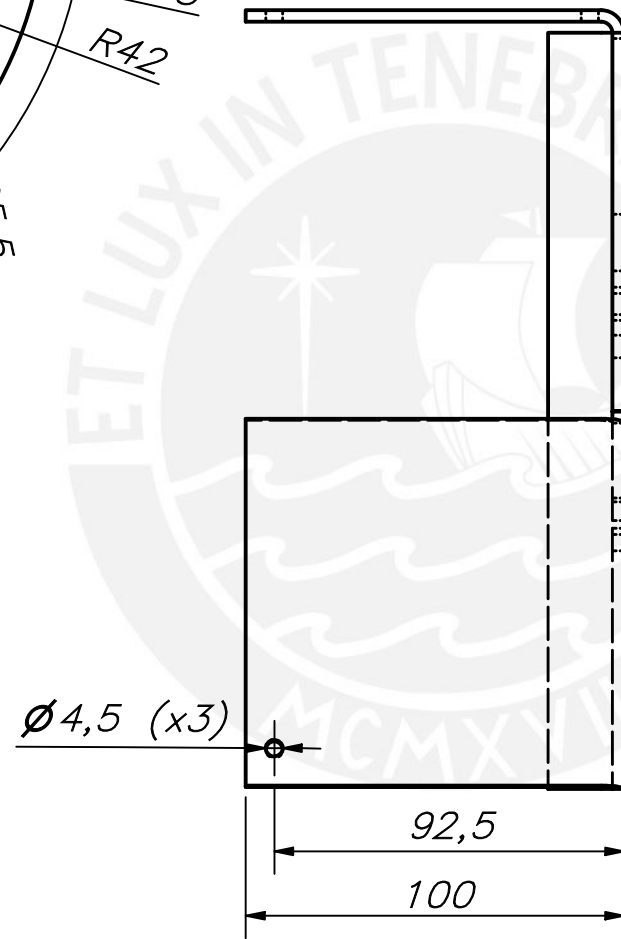
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



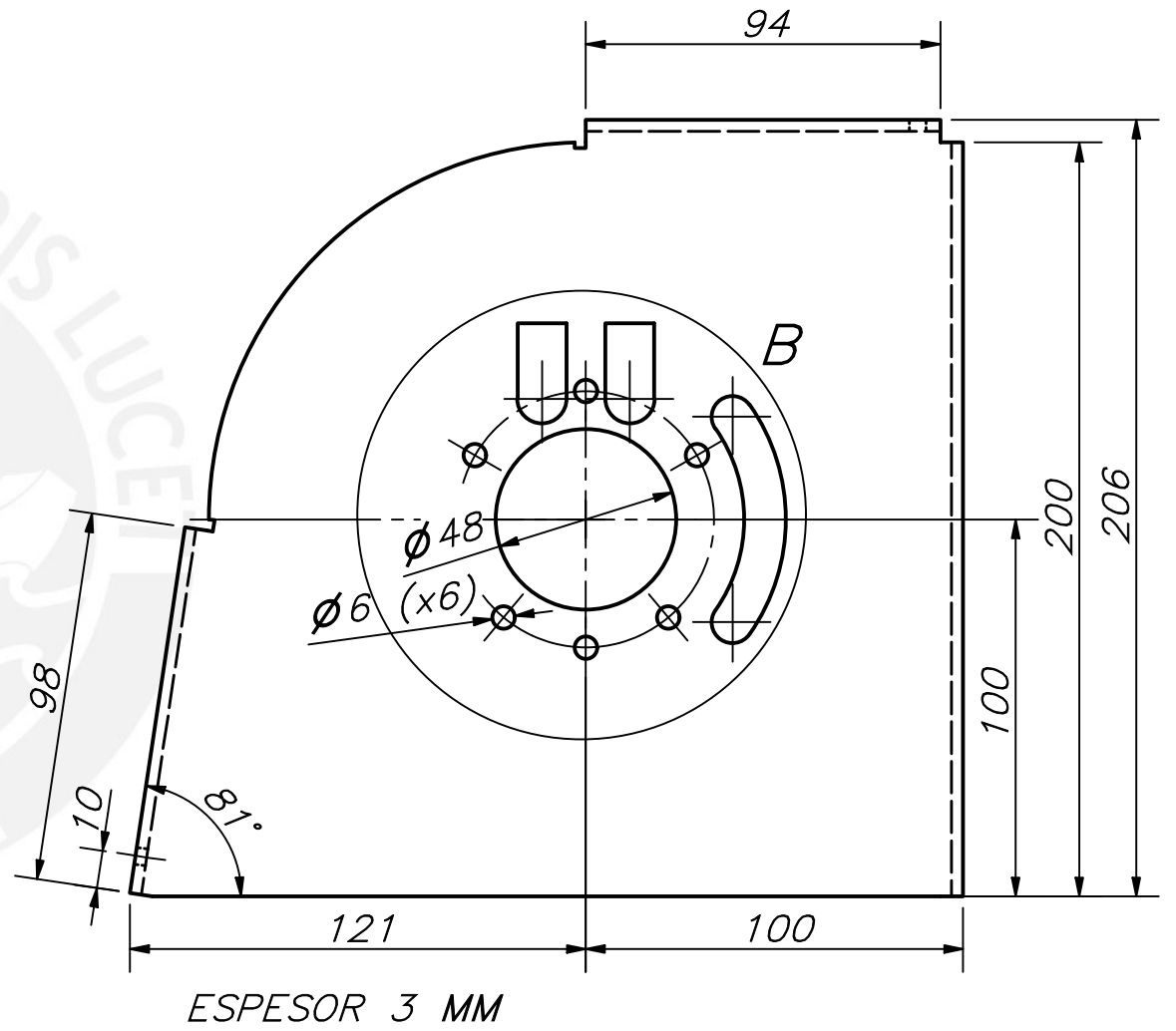
DETALLE B



A



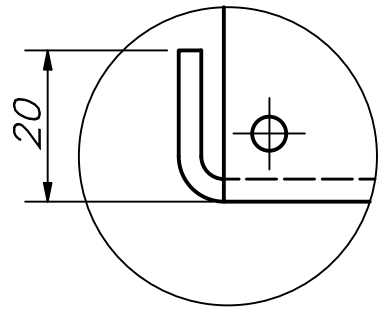
DETALLE A



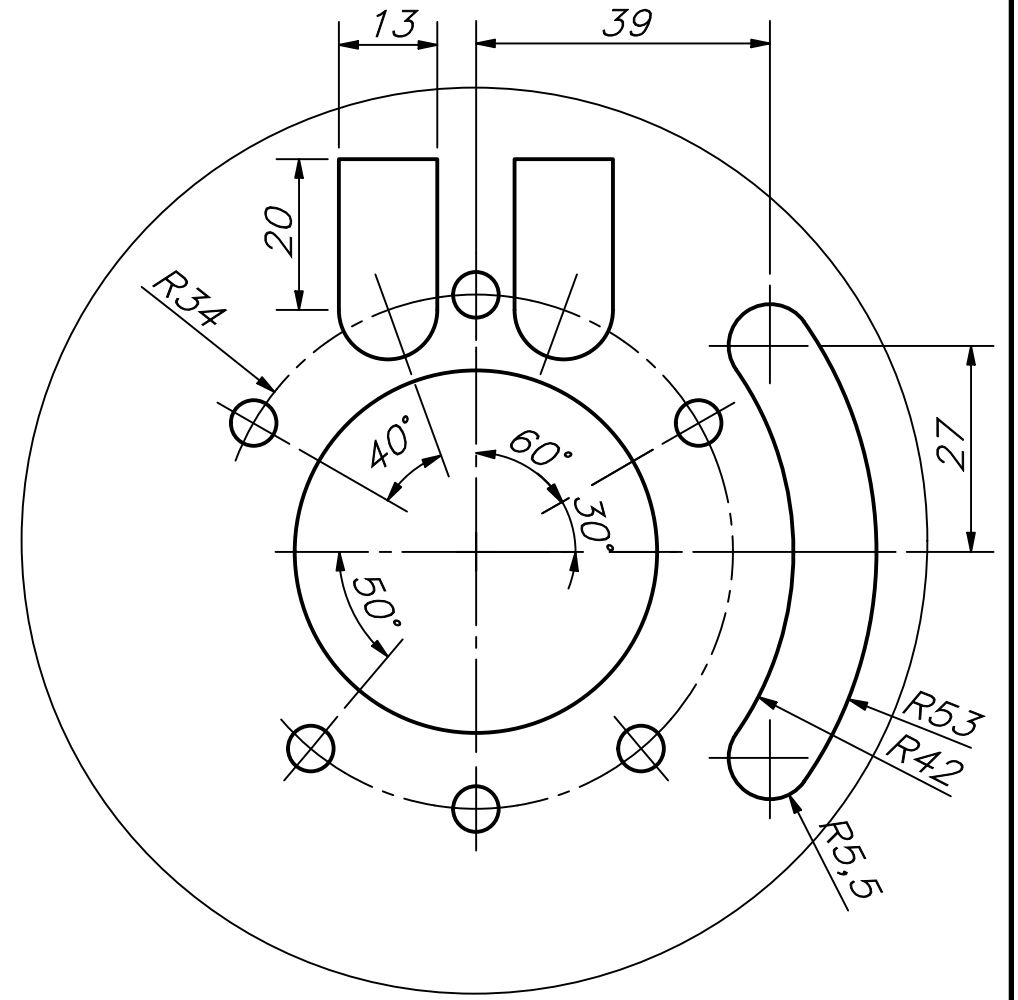
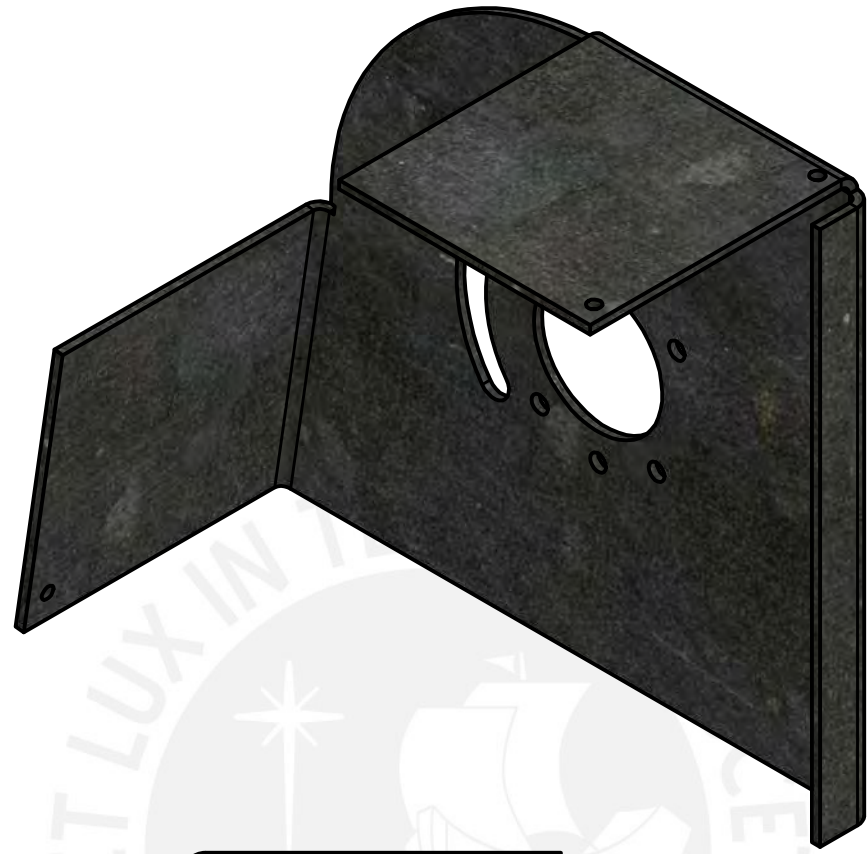
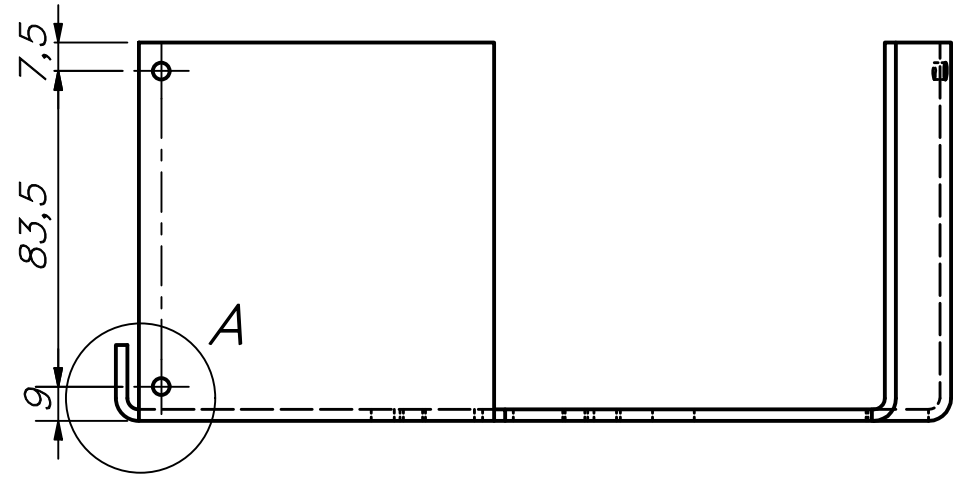
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE MOTOR IZQ	ESCALA
		1:2
E-23-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

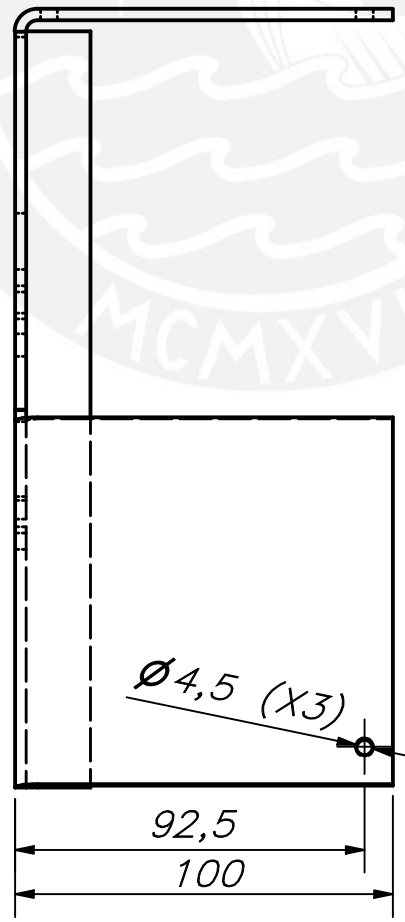
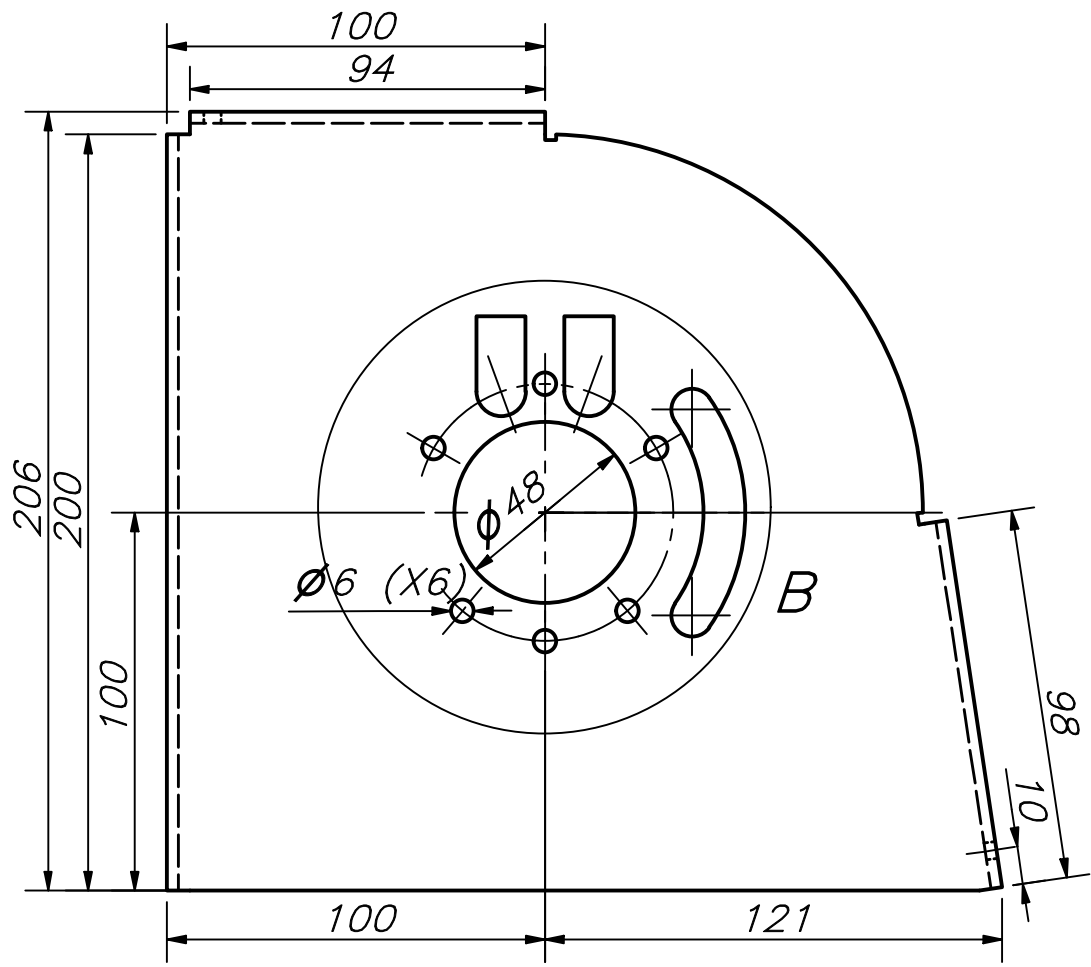
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE A



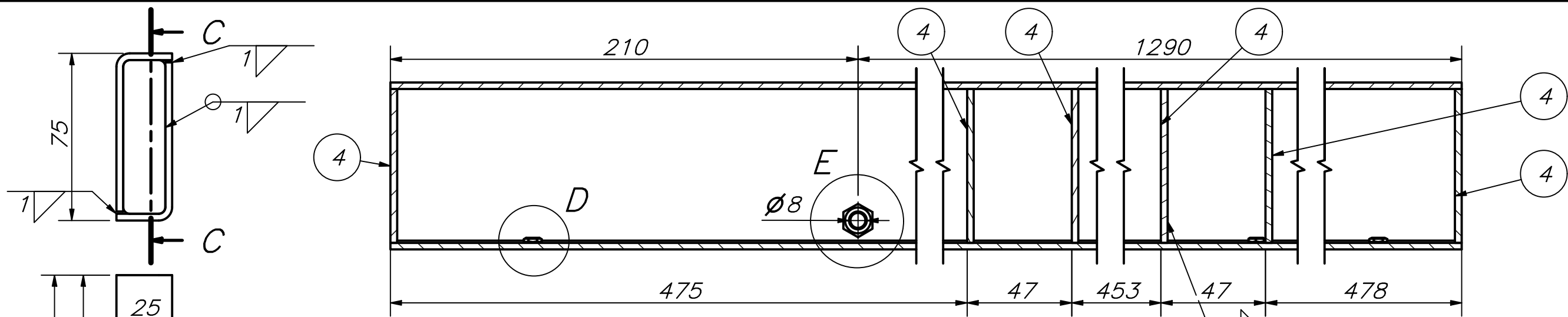
DETALLE B



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE MOTOR DER	ESCALA
		1:4
E-24-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

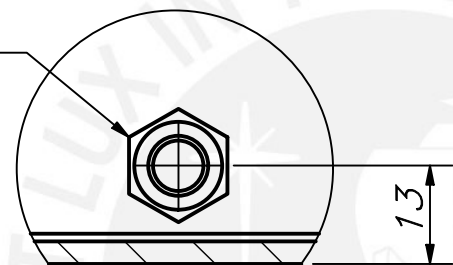


SECCION C-C

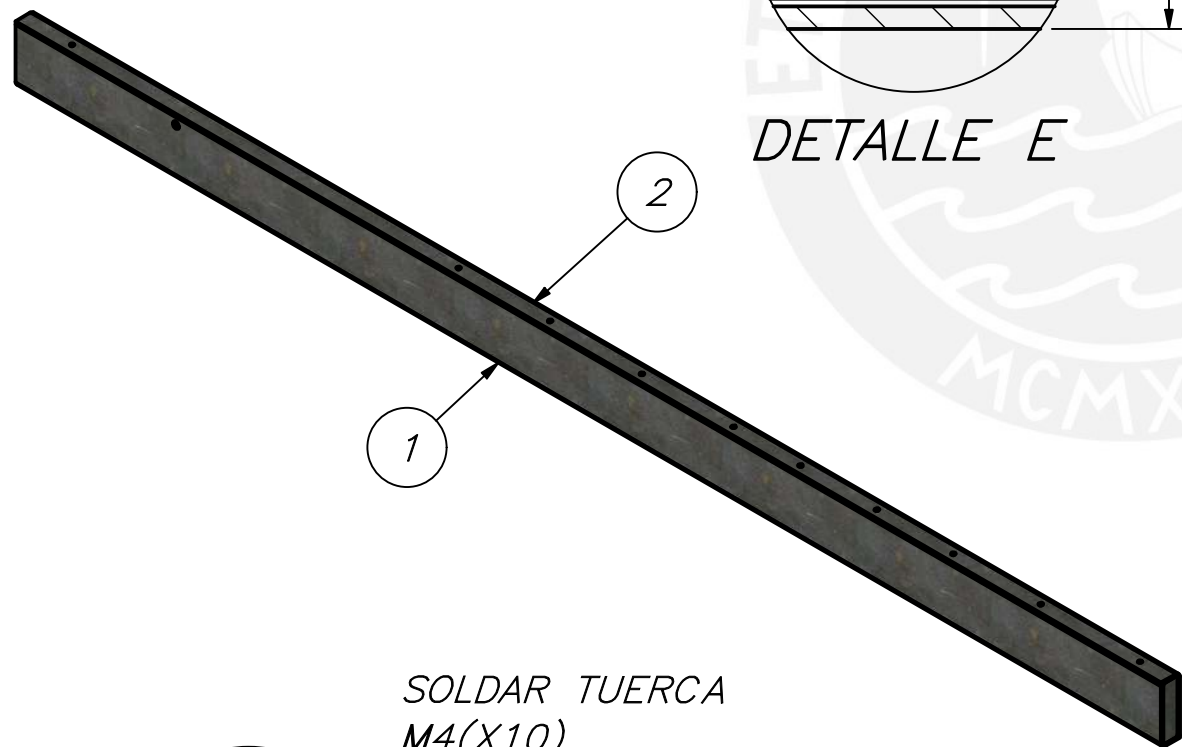
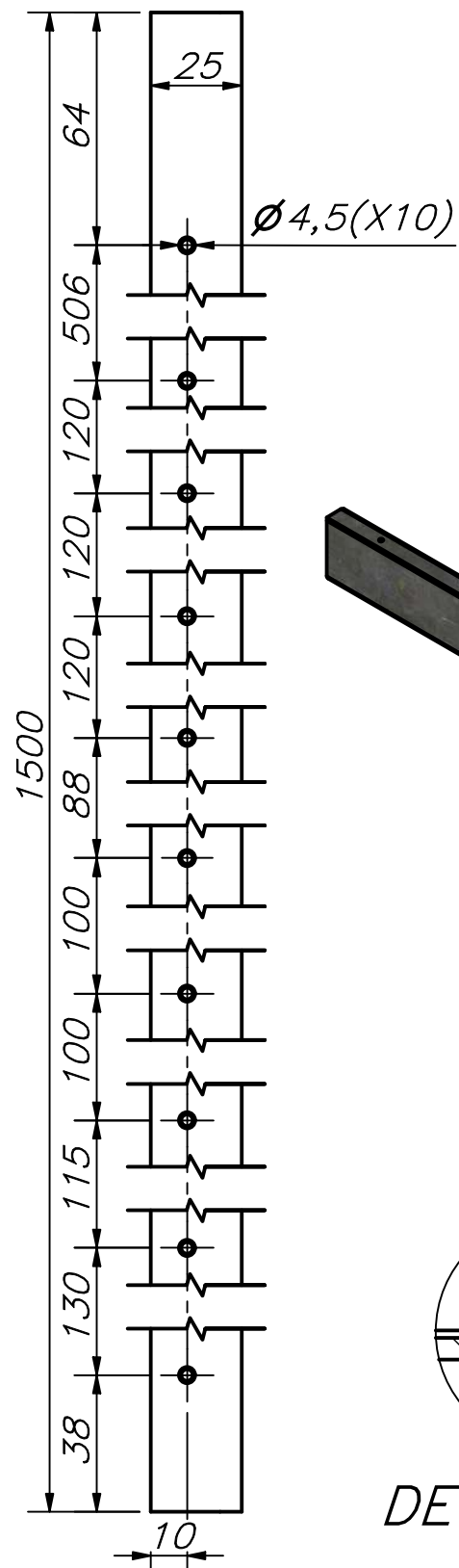
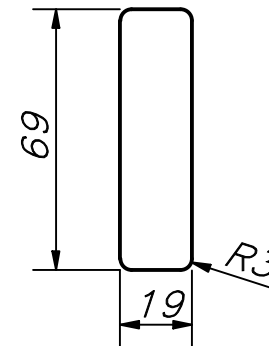
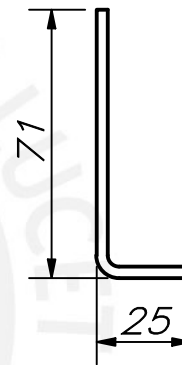
ITEM 1 Y 2

ITEM 4

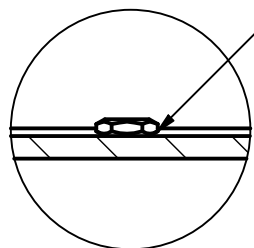
SOLDAR TUERCA M8



DETALLE E



SOLDAR TUERCA M4(X10)



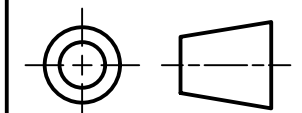
DETALLE D

ESPESOR 3 MM

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
5	10	TUERCA M4	ISO 4035	ACERO	
4	6	REFUERZO PARACHOQUE		NASTRAL 700 QL	
3	1	TUERCA M8	ISO 4033	ACERO	
2	1	PERFIL L EXTERIOR		NASTRAL 700 QL	
1	1	PERFIL L INTERIOR		NASTRAL 700 QL	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



LARGUERO IZQUIERDO

ESCALA

1:2

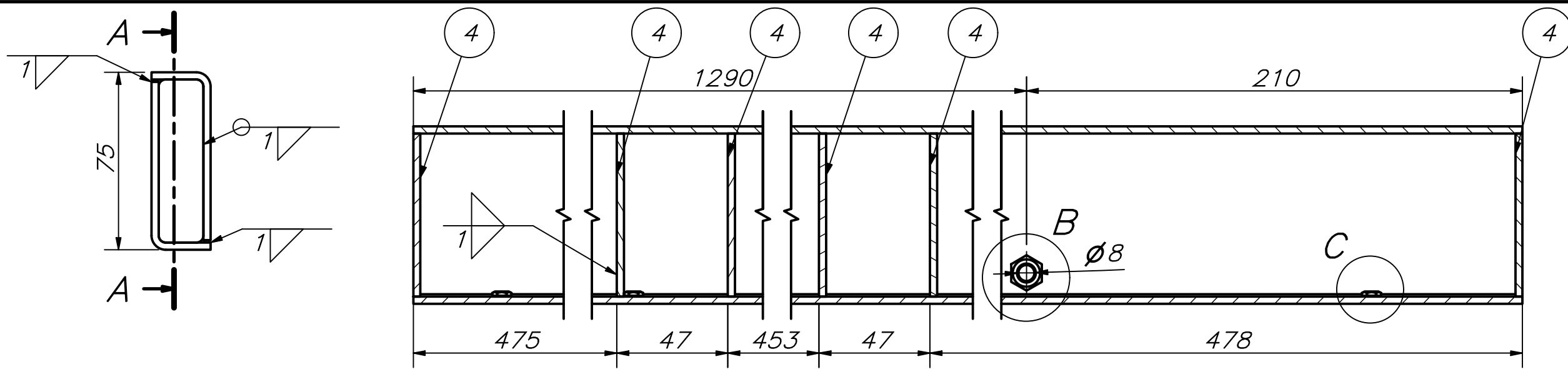
E-1-E

PARIONA PINO, GONZALO

FECHA:
2021.10.19

LÁMINA:
A3

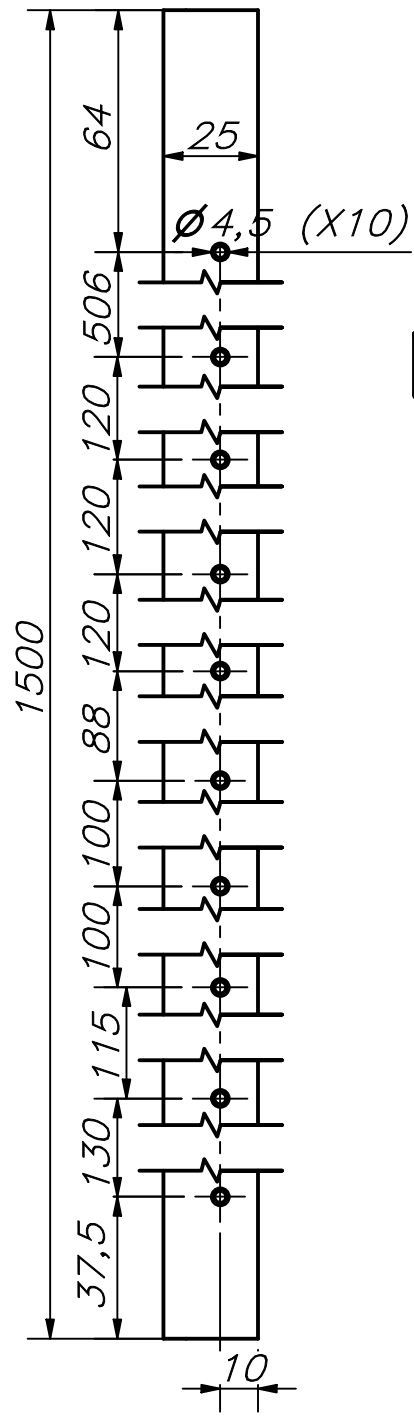
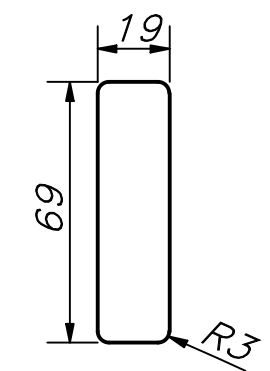
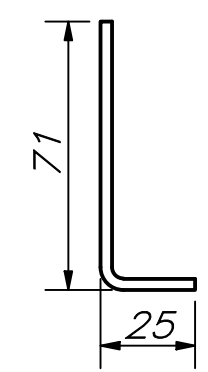
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



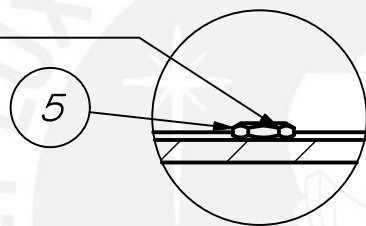
SECCION A-A

ITEM 1 Y 2

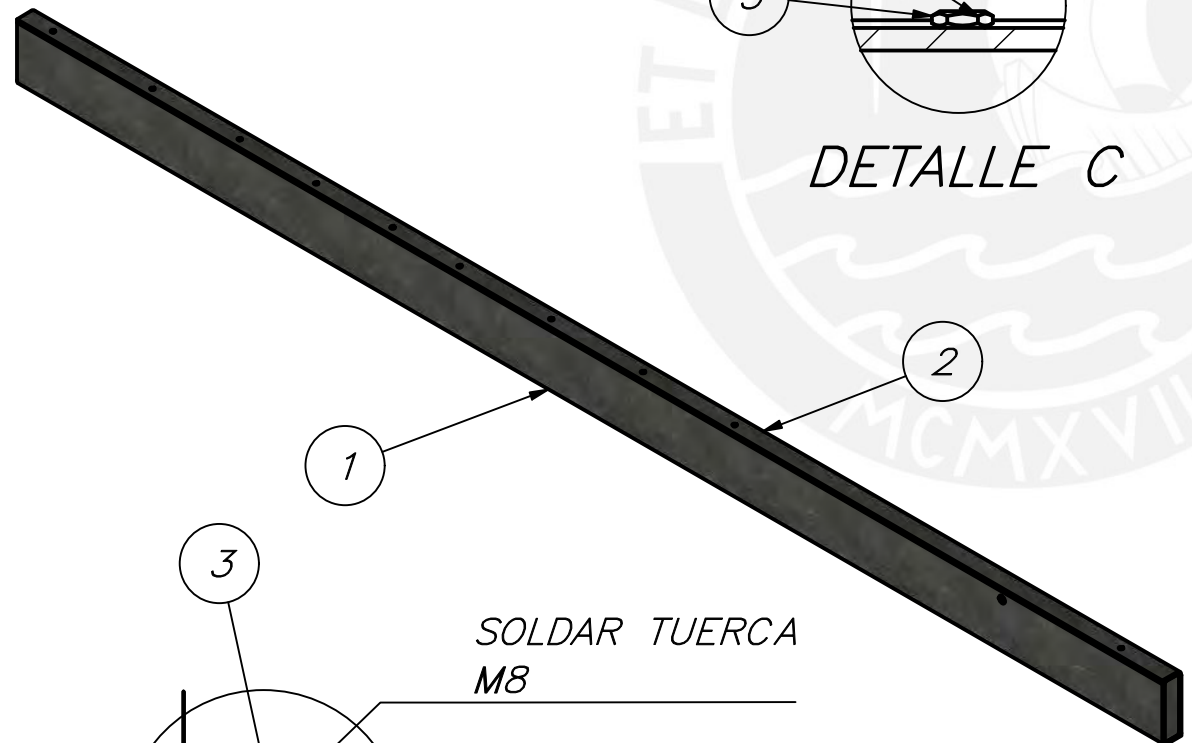
ITEM 4



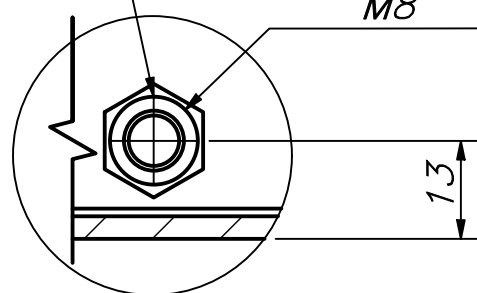
SOLDAR TUERCA M4 (X10)



DETALLE C



SOLDAR TUERCA M8



DETALLE B

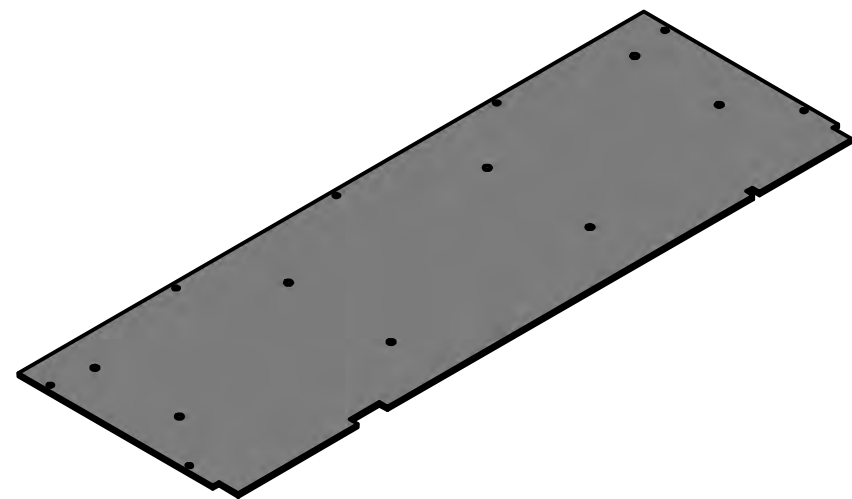
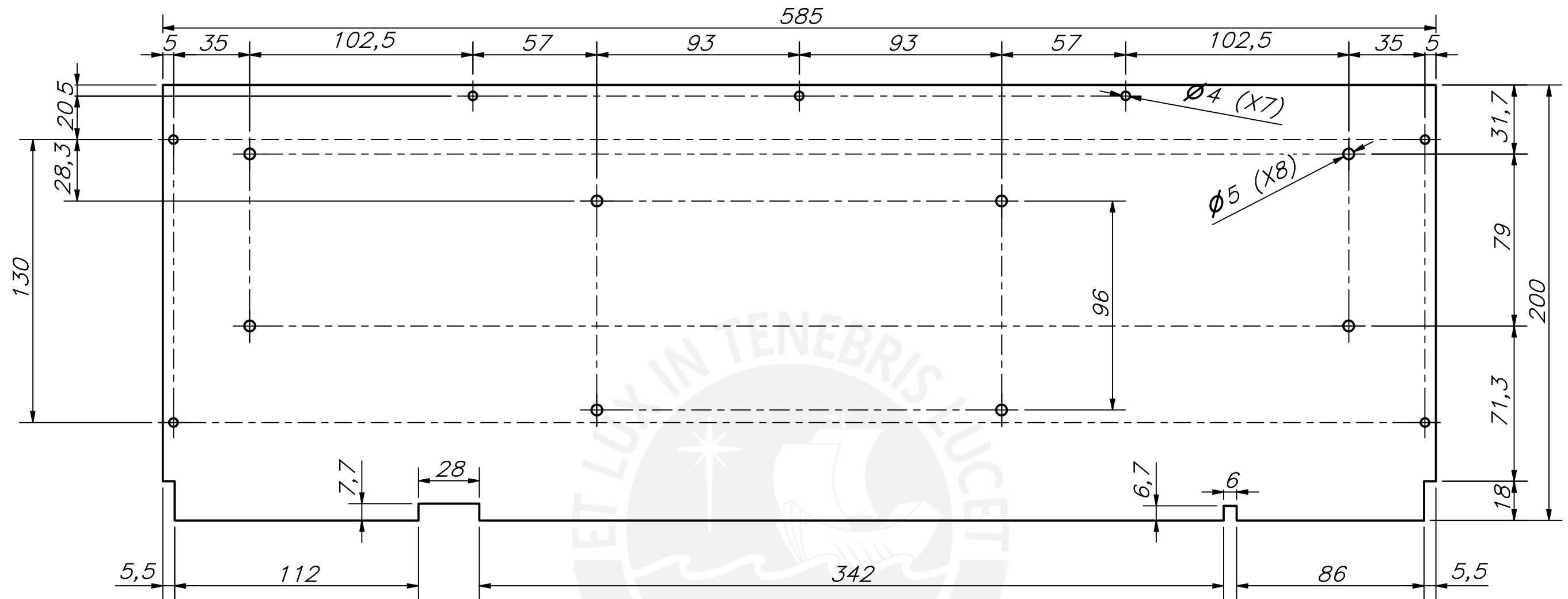
ESPESOR 3 MM

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
5	10	TUERCA M4	ISO 4035	ACERO	
4	6	REFUERZO PARACHOQUE		NASTRAM 700 QL	
3	1	TUERCA M8	ISO 4033	ACERO	
2	1	PERFIL L EXTERIOR 2		NASTRAM 700 QL	
1	1	PERFIL L INTERIOR 2		NASTRAM 700 QL	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	LARGUERO DERECHO 1:2
E-2-E	PARIONA PINO, GONZALO
	FECHA: 2021.10.19
	LÁMINA: A3

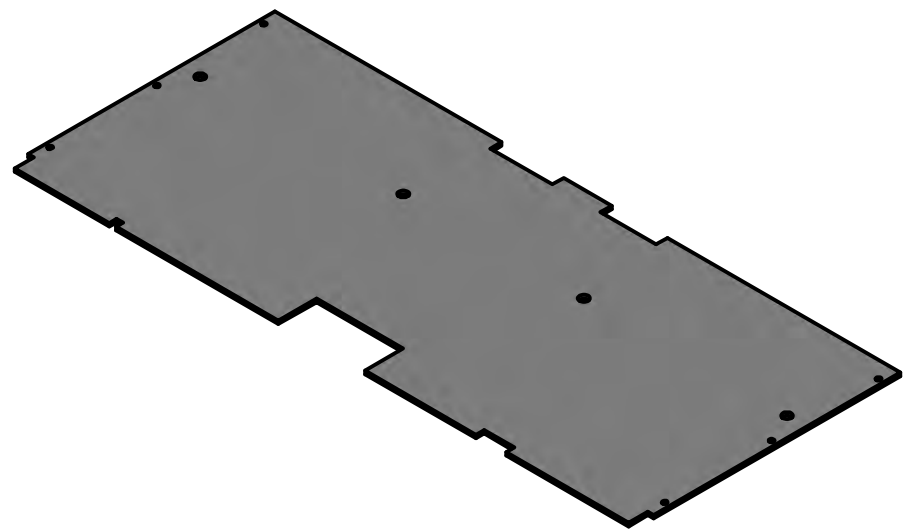
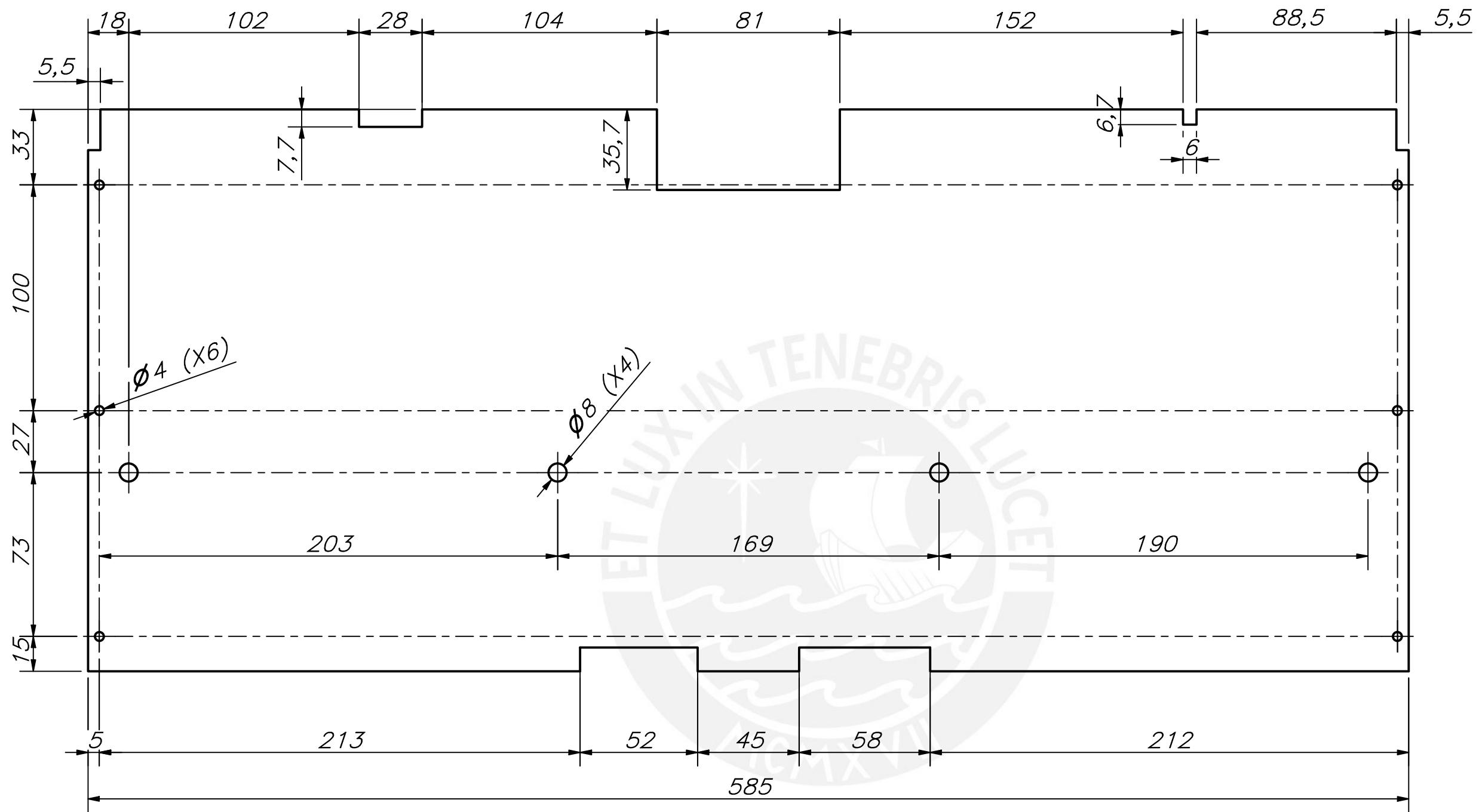
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		HDP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TAPA 1	ESCALA
		1:2
0-1-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

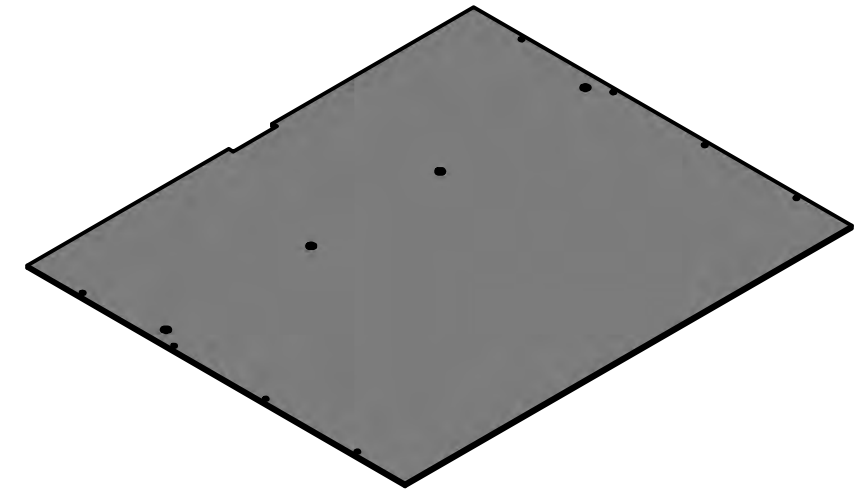
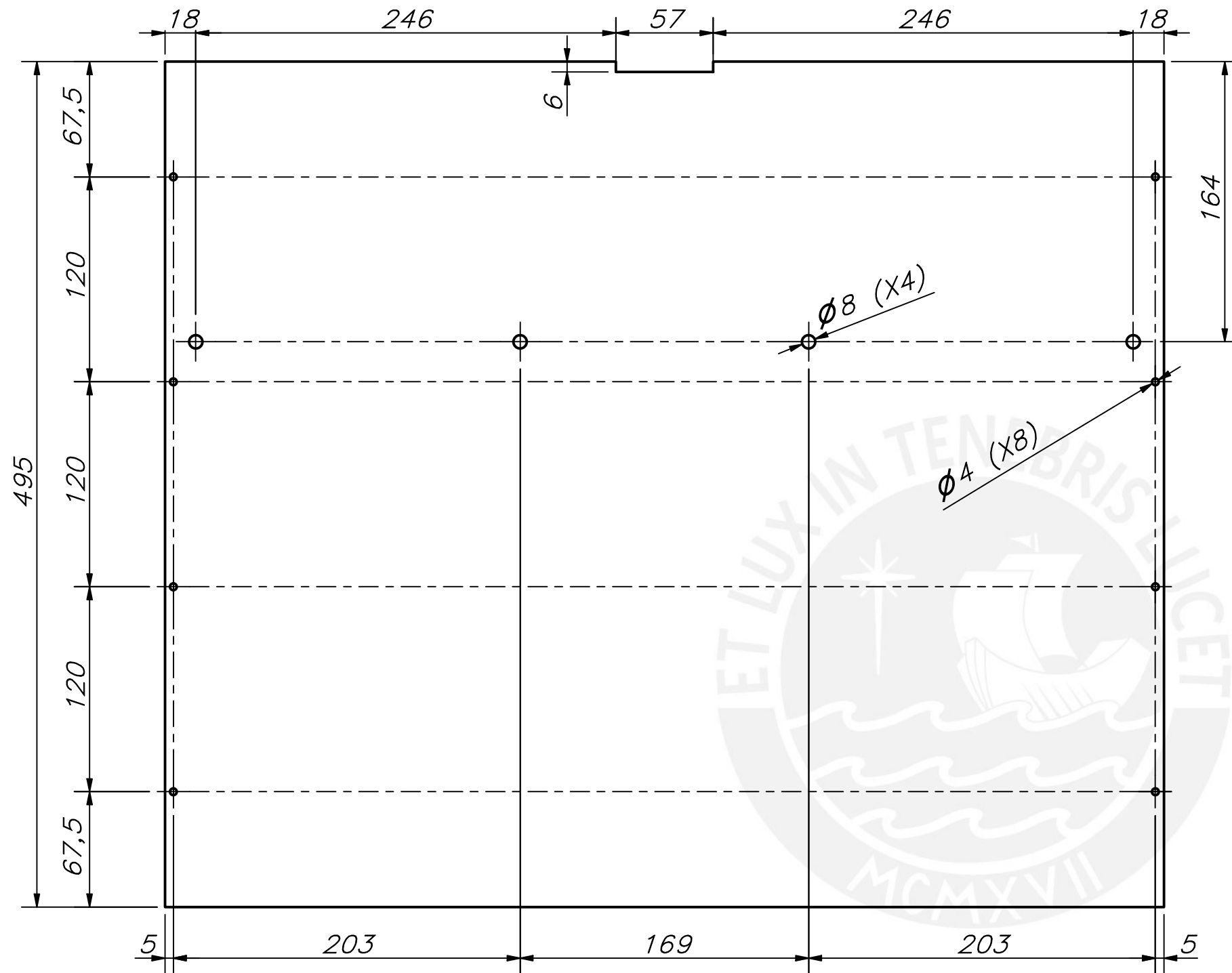
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

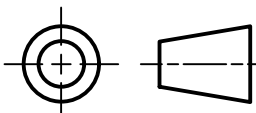


ESPESOR 3 MM

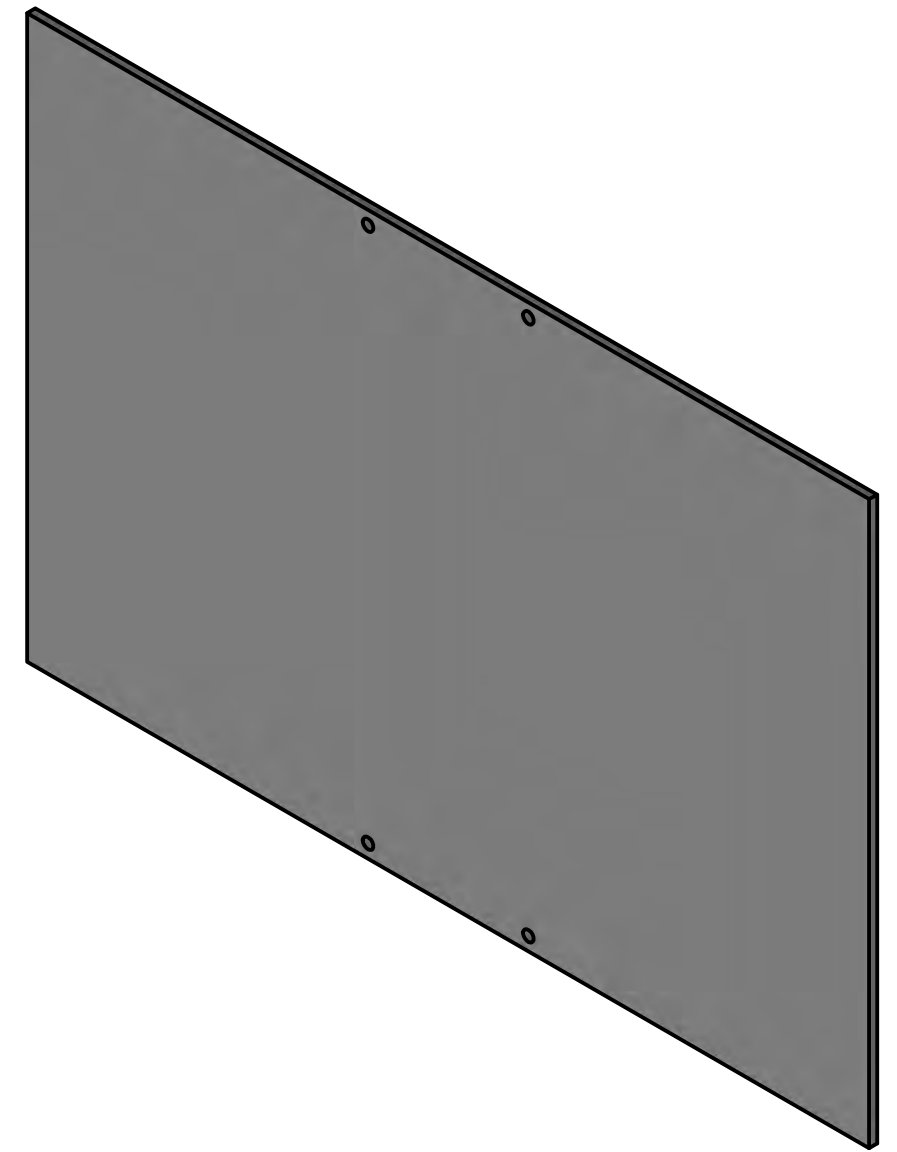
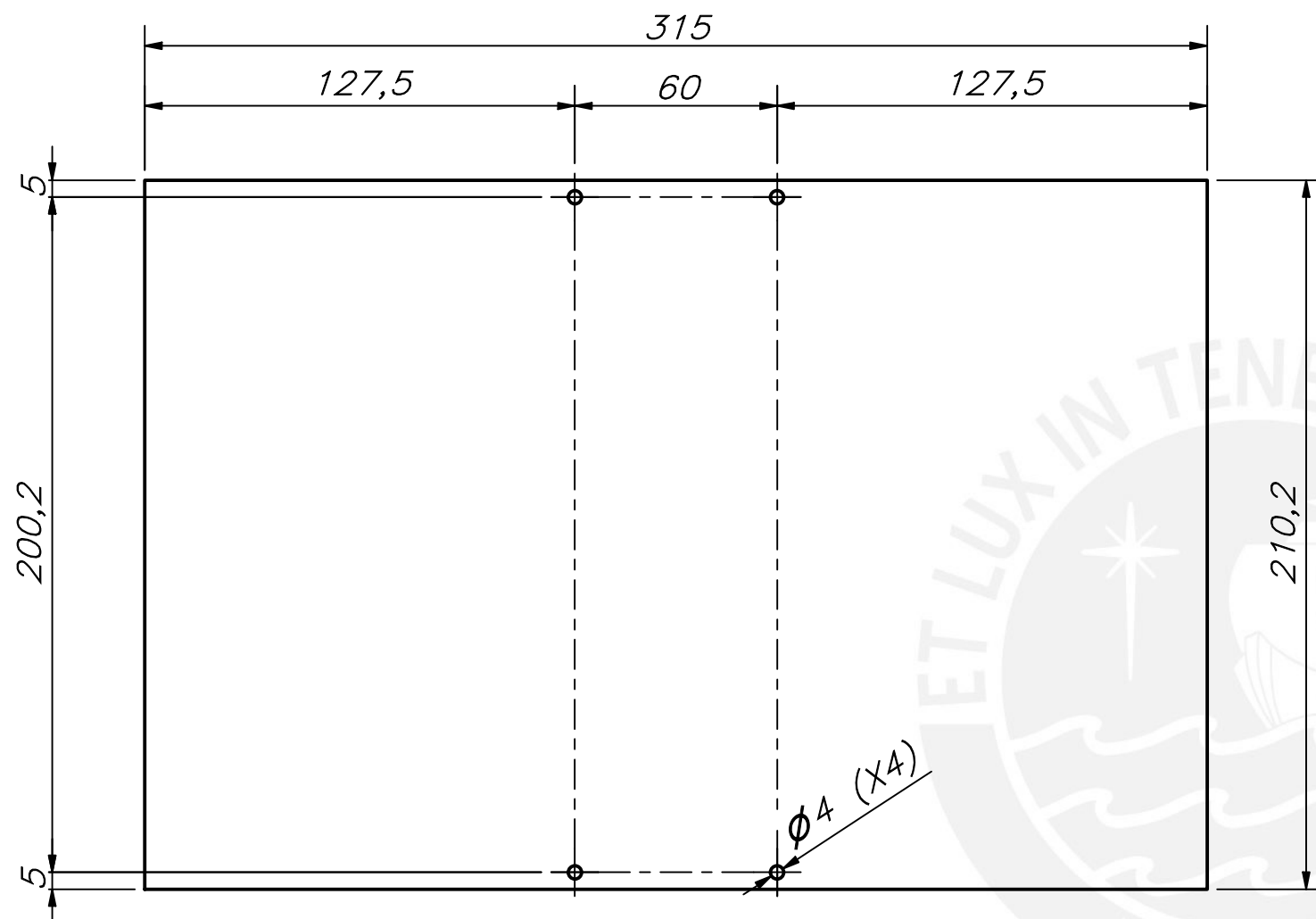
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		HDP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
		1:2
0-2-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

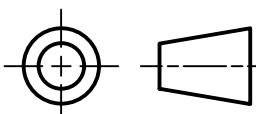


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		HDP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TAPA 3	ESCALA
		1:3
0-3-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

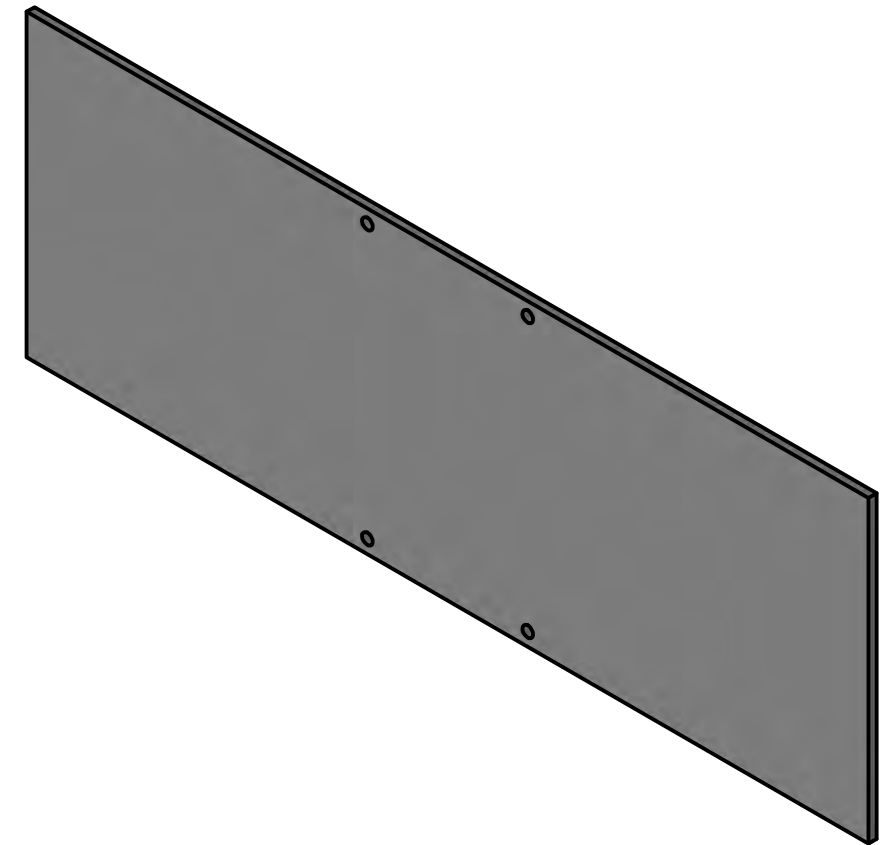
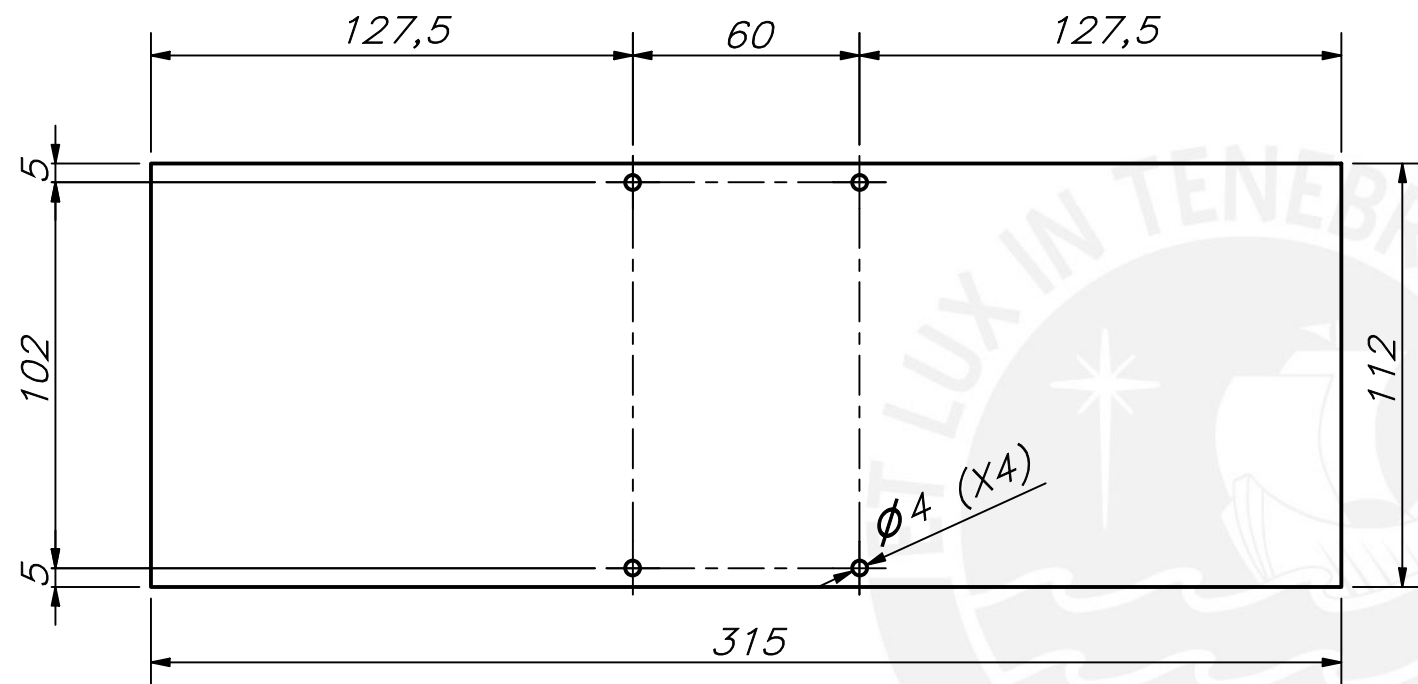
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



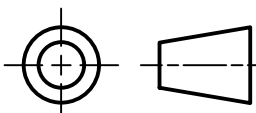
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		HDP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TAPA 4	ESCALA
		1:2
0-4-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

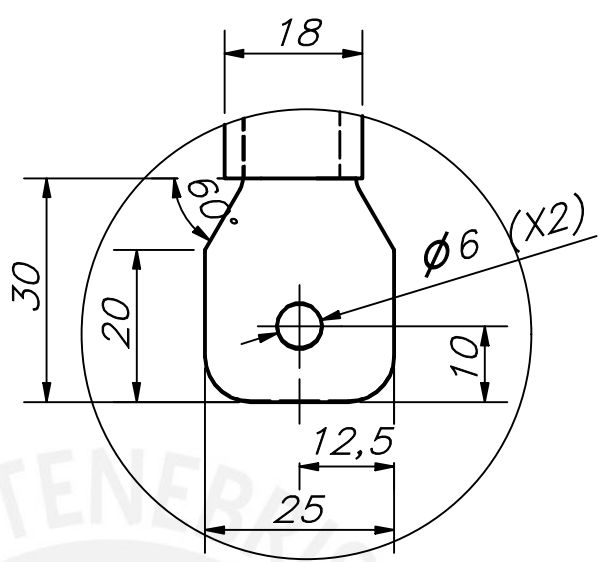
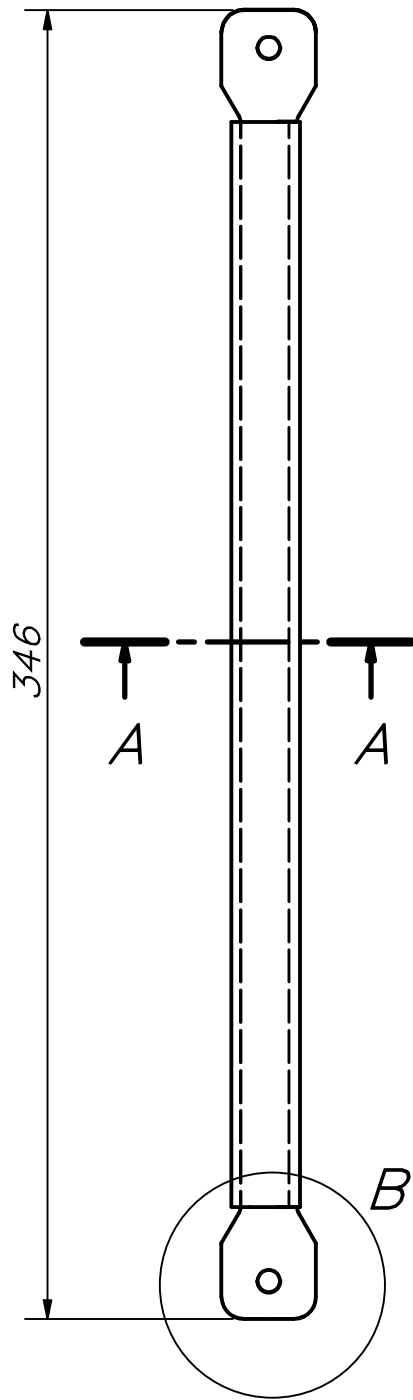
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



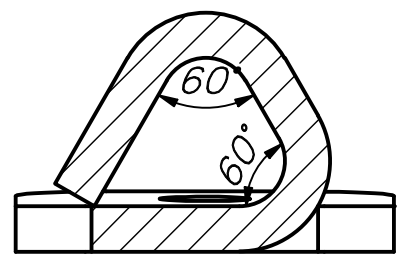
ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		HDP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
		1:2
0-5-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE B

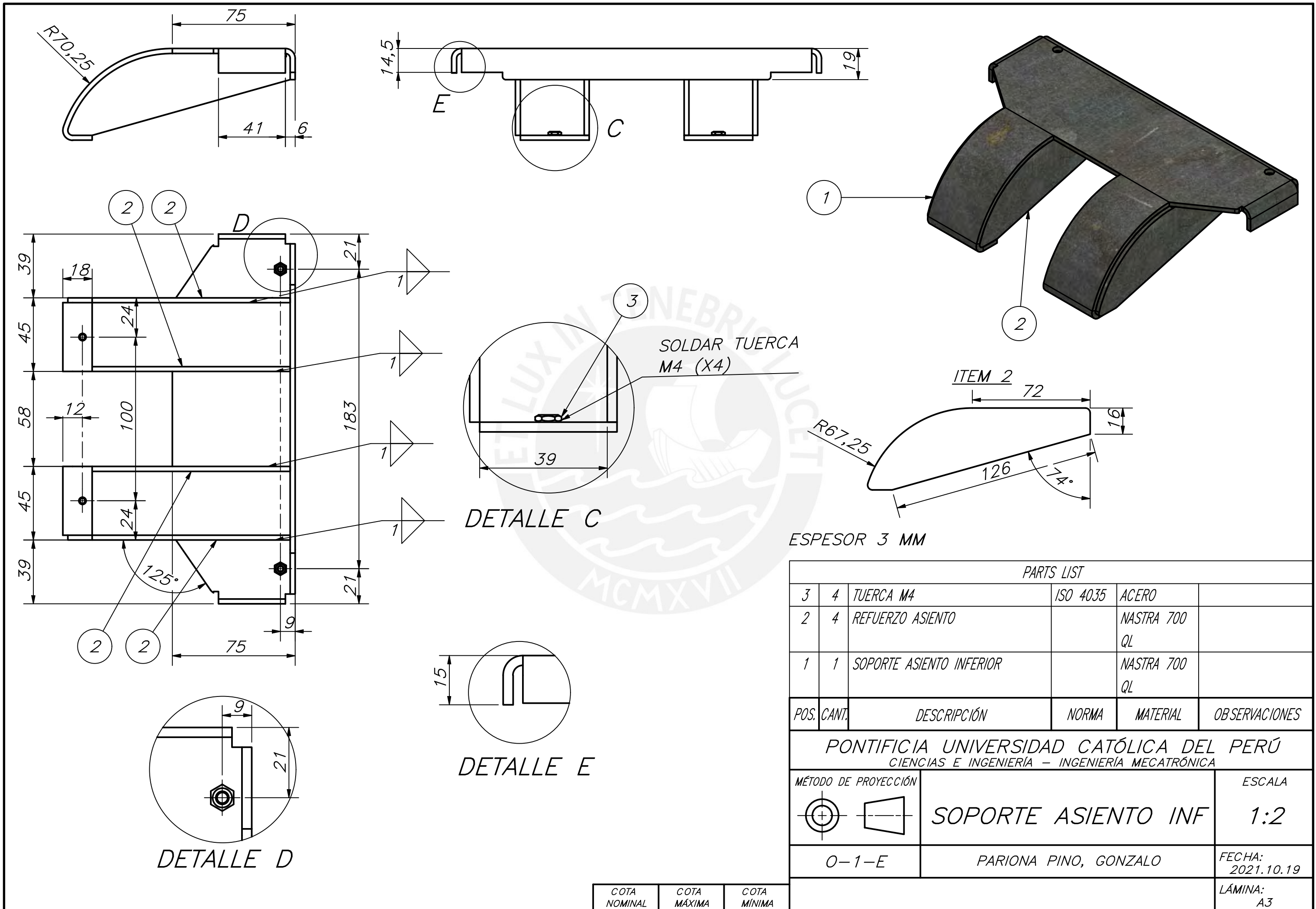


SECCION A-A

ESPESOR 3 MM

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRAM 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ASIENTO PARANTE	ESCALA
		1:2
0-6-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

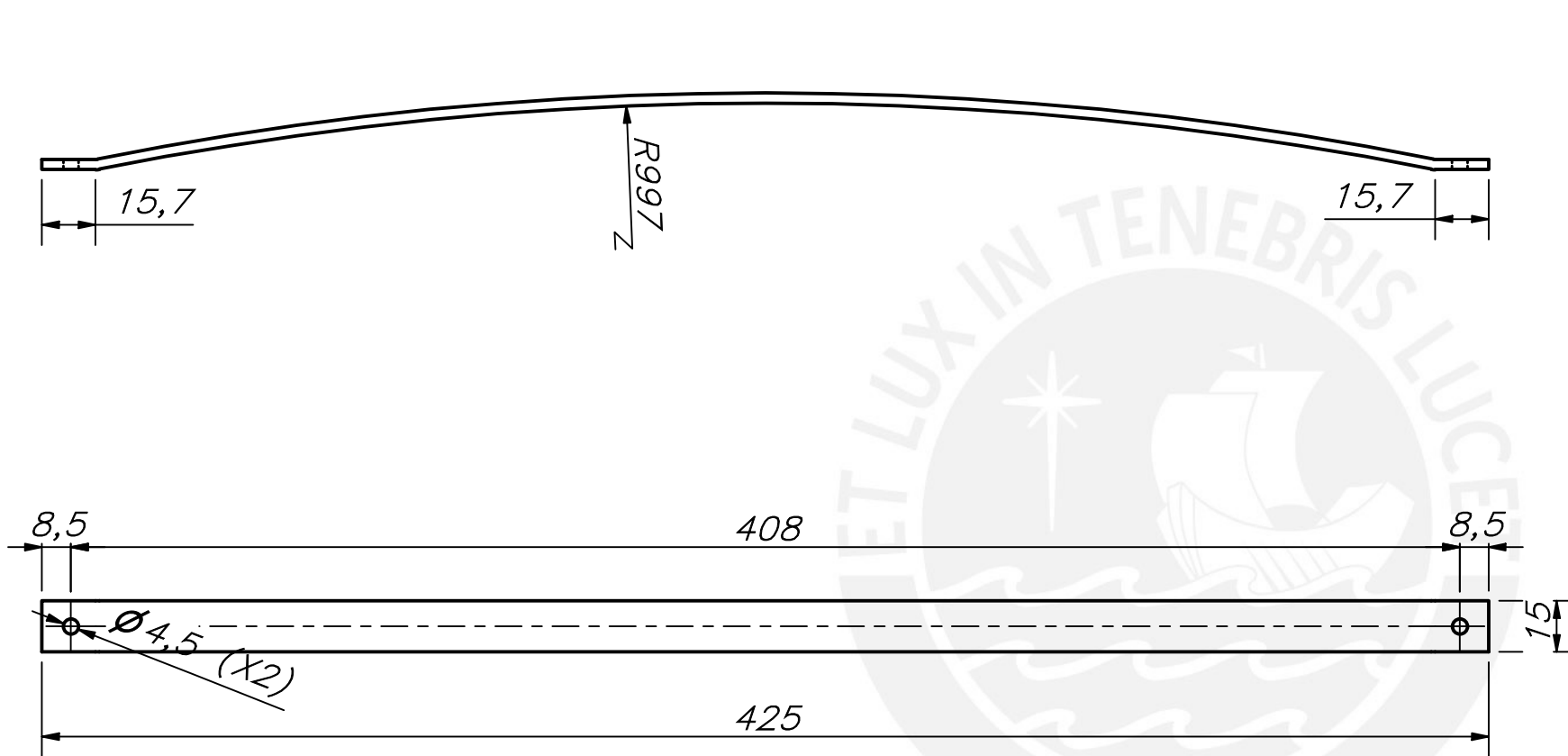


PARTS LIST					
3	4	TUERCA M4	ISO 4035	ACERO	
2	4	REFUERZO ASIENTO		NASTRA 700 QL	
1	1	SOPORTE ASIENTO INFERIOR		NASTRA 700 QL	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	SOPORTE ASIENTO INF	1:2
0-1-E	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A3

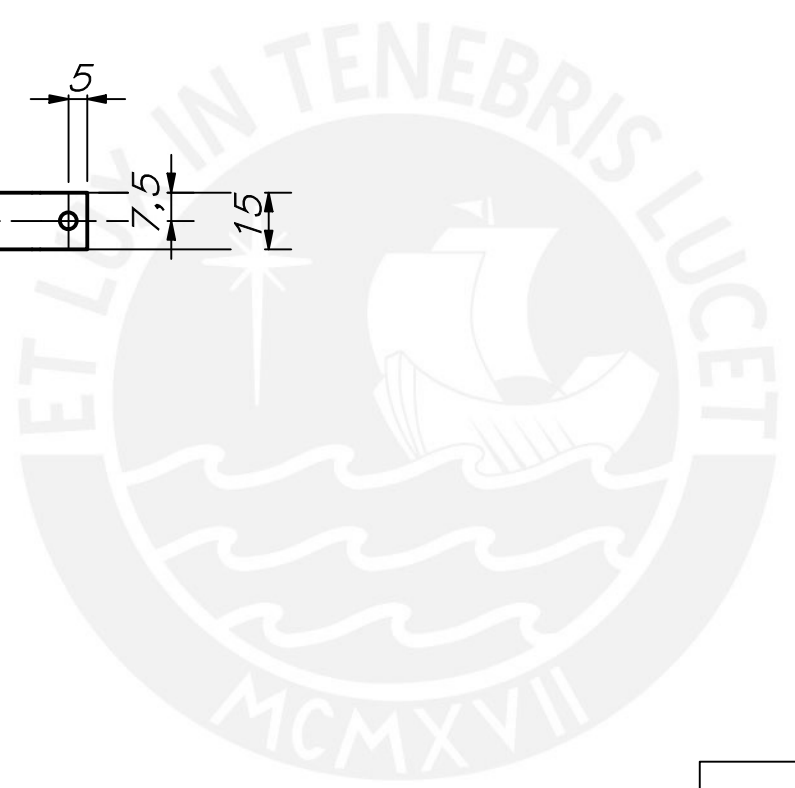
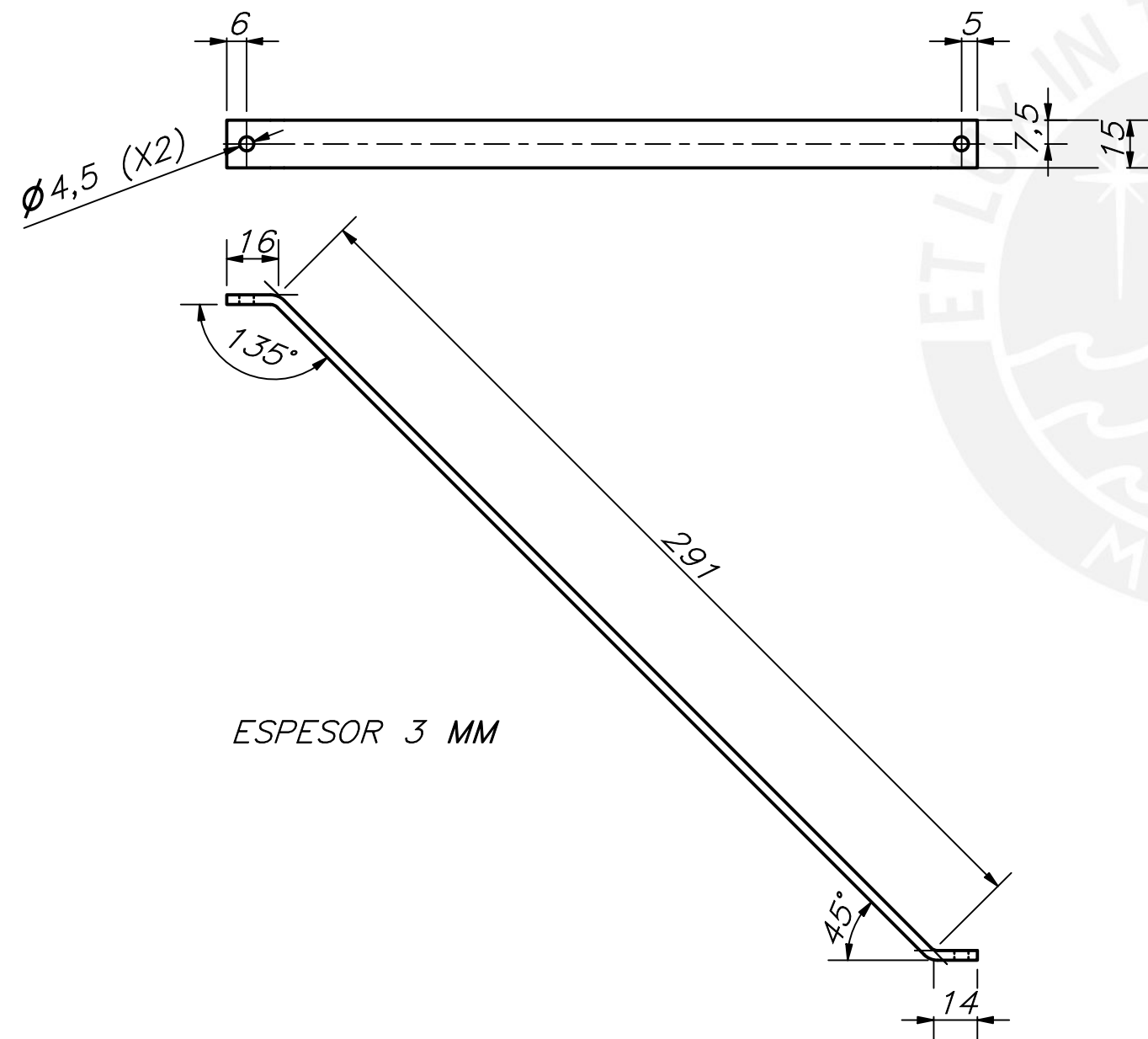
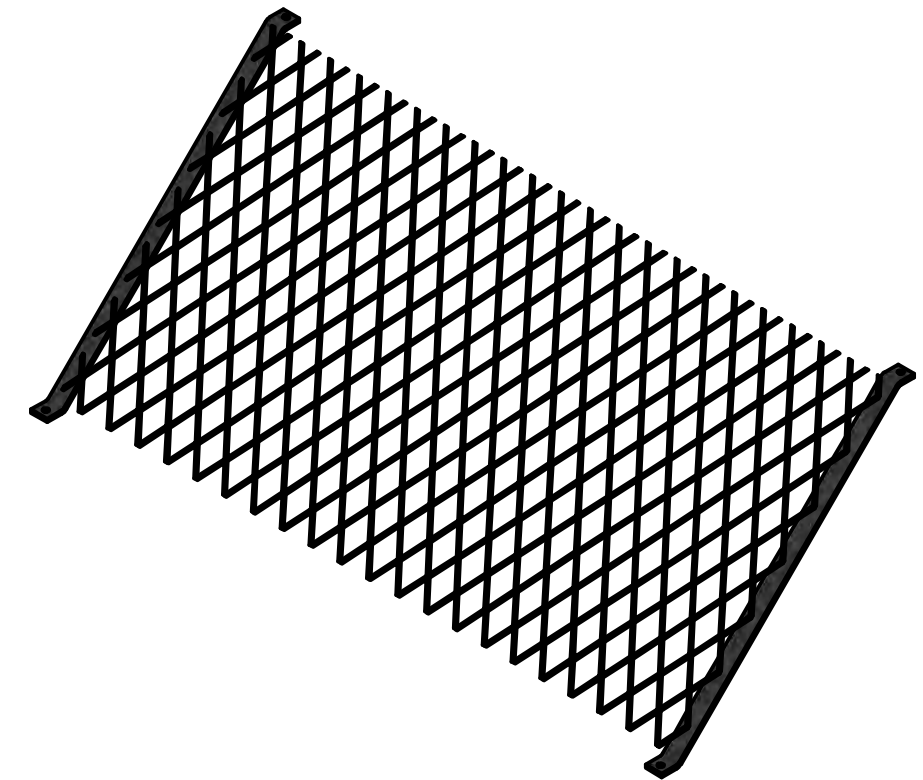
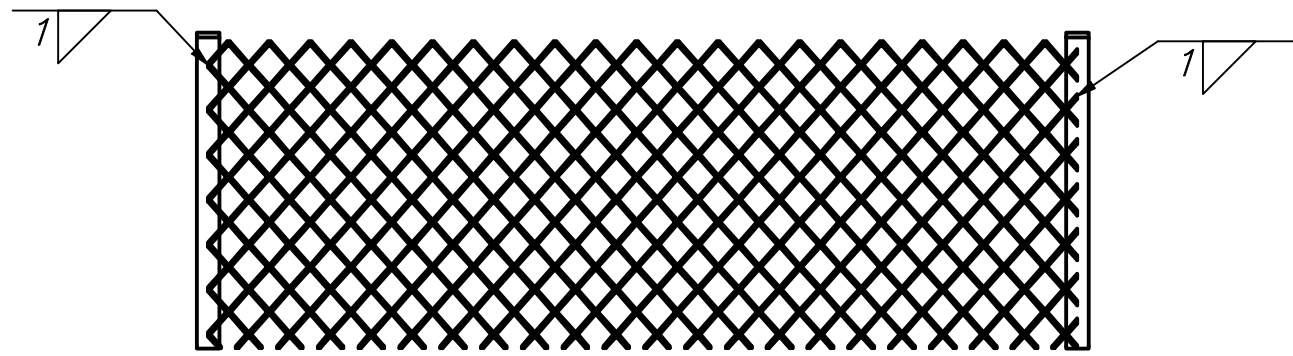
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ESPESOR 3 MM

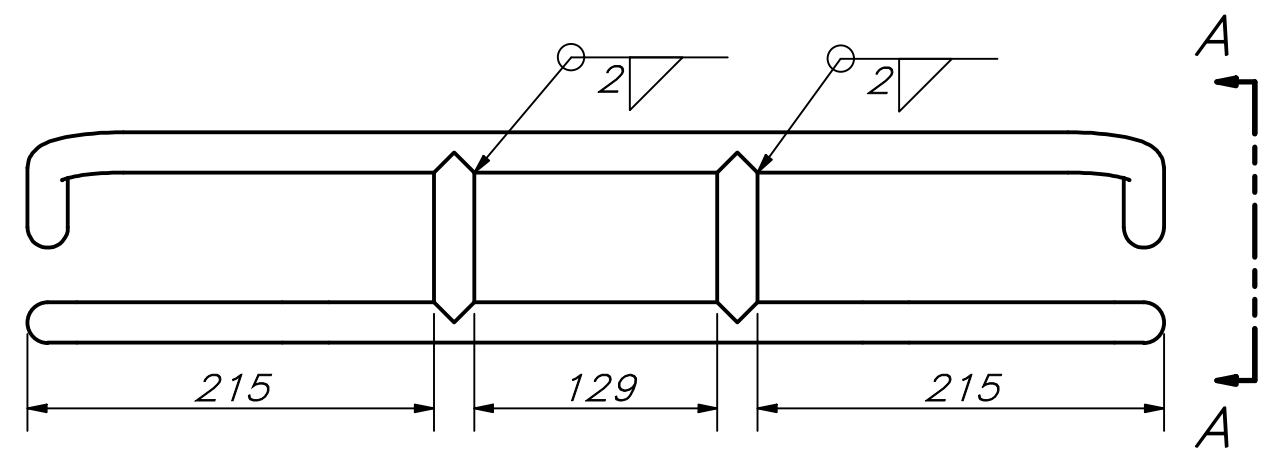
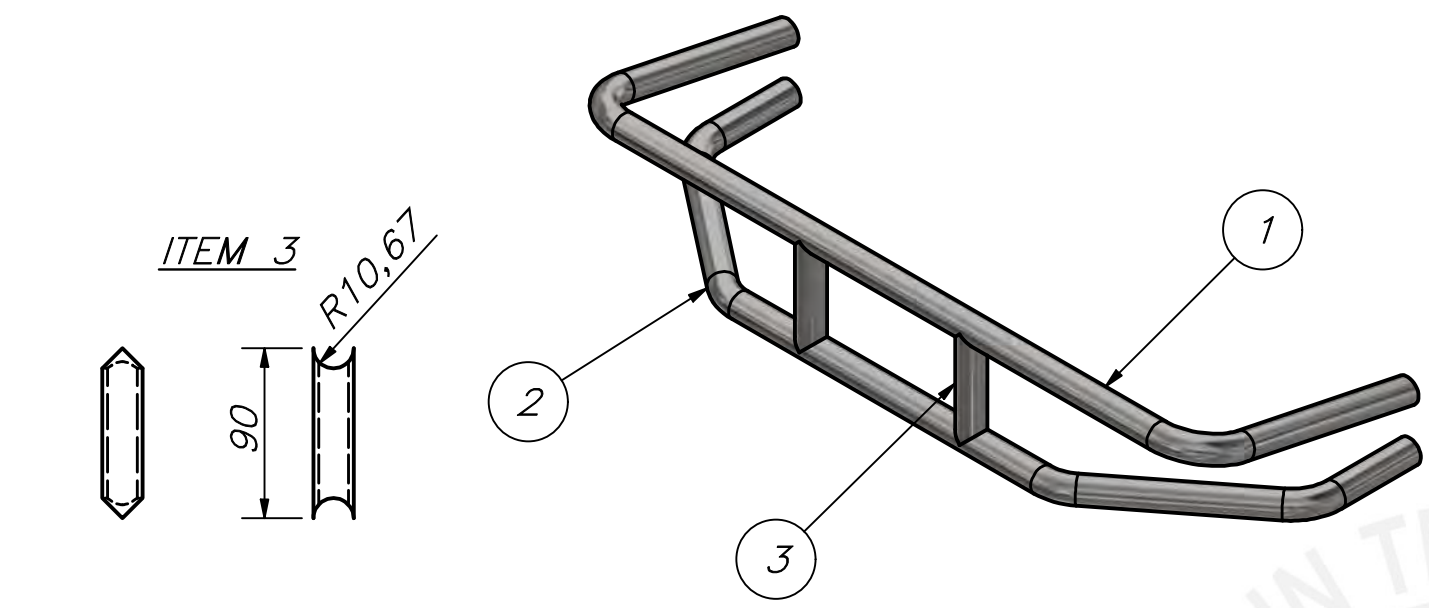
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		NASTRA 700 QL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE REJILLA FRONTAL	ESCALA
		1:2
0-7-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

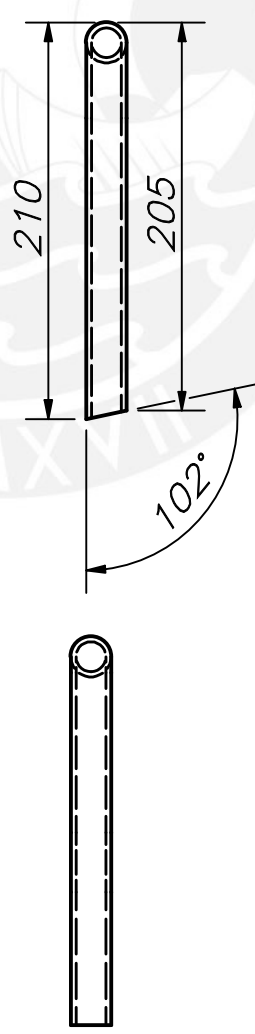
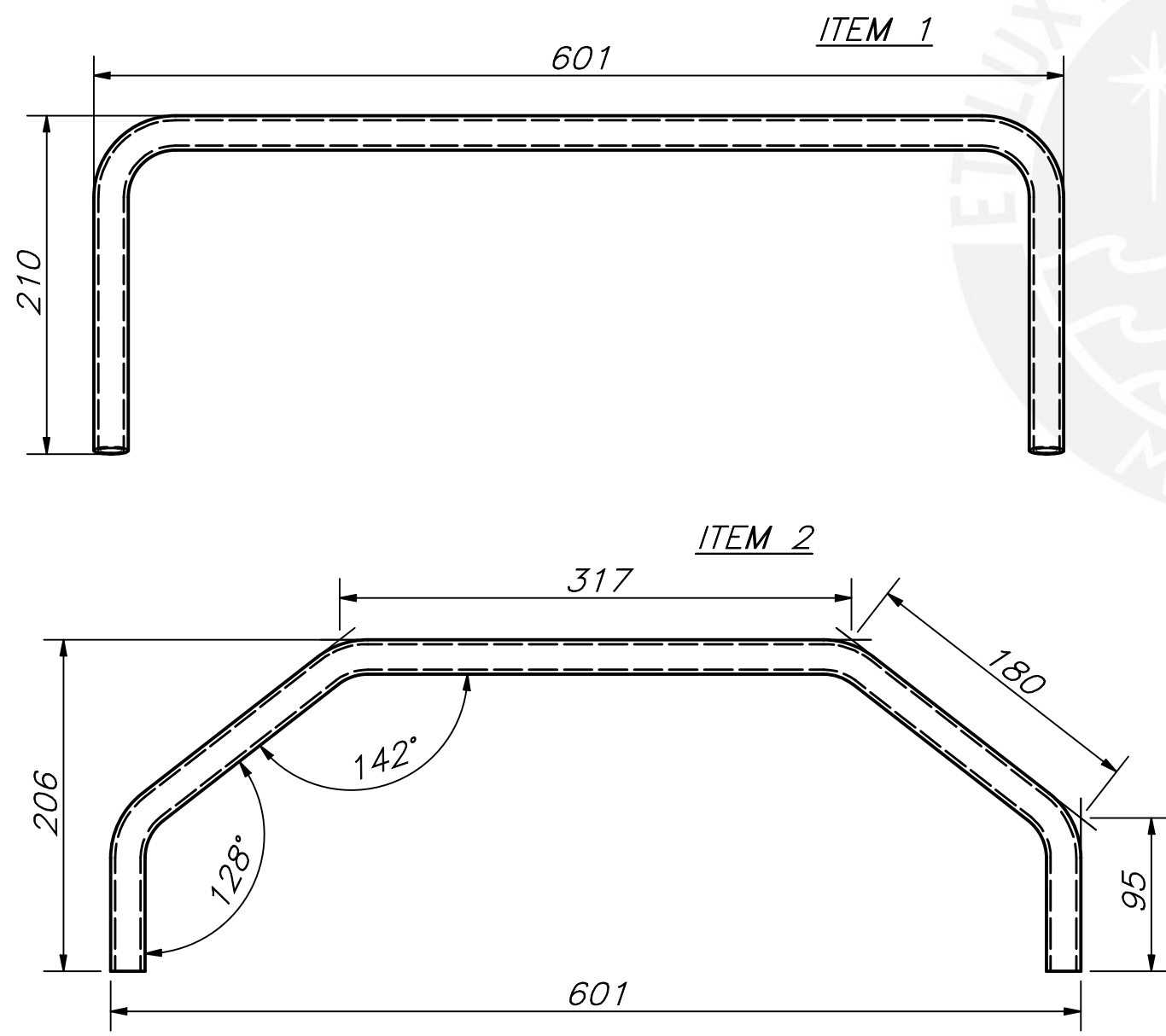
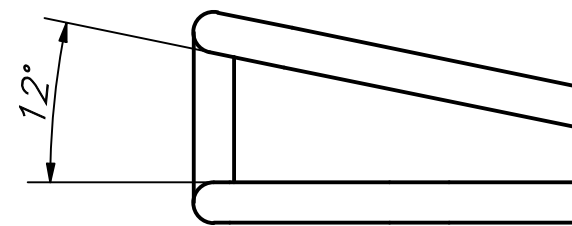


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
2	1	REJILLA 285 x 575 MM		ACERO	
1	2	SOPORTE REJILLA 2		NASTRA 700 QL	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN					ESCALA
			REJILLA POSTERIOR		1:2
0-2-E			PARIONA PINO, GONZALO		FECHA: 2021.10.19
					LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



VISTA A



PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
3	1	ANSI - 1/2 x 0.109 - 3.543	ANSI	ACERO	
2	1	ANSI - 1/2 x 0.109 - 32.463	ANSI	ACERO	
1	1	ANSI - 1/2 x 0.109 - 37.157	ANSI	ACERO	

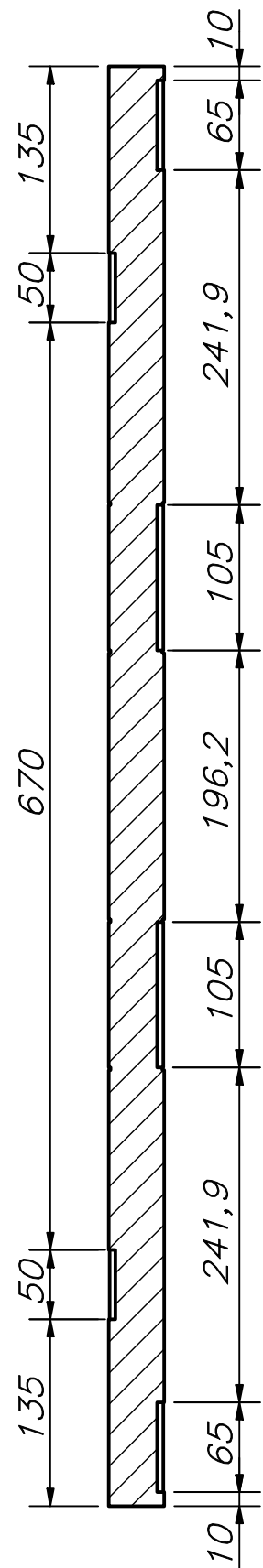
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARACHOQUES FRONTAL	ESCALA 1:4
0-3-E	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

LÁMINA:
A4

SECCION A-A

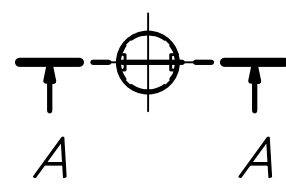


CANAL CHAVETERO
12X8X50

CANAL ANILLO
DE RETENCIÓN

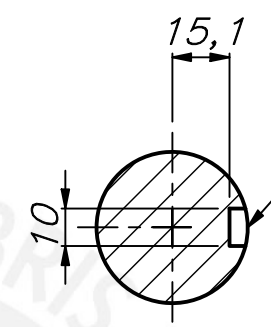
CANAL CHAVETERO
12X8X105

CANAL CHAVETERO
12X8X65



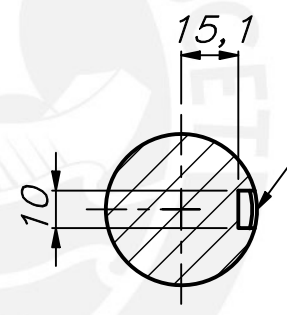
CANAL CHAVETERO
12X8X50

SECCION F-F



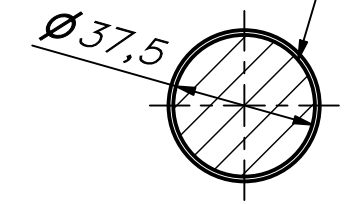
CANAL CHAVETERO
12X8X65

SECCION B-B



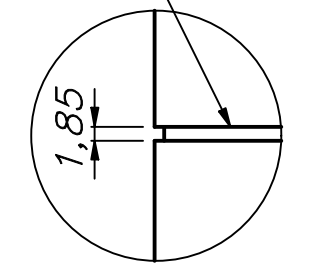
CANAL CHAVETERO
12X8X105

SECCION E-E



CANAL ANILLO
DE RETENCIÓN

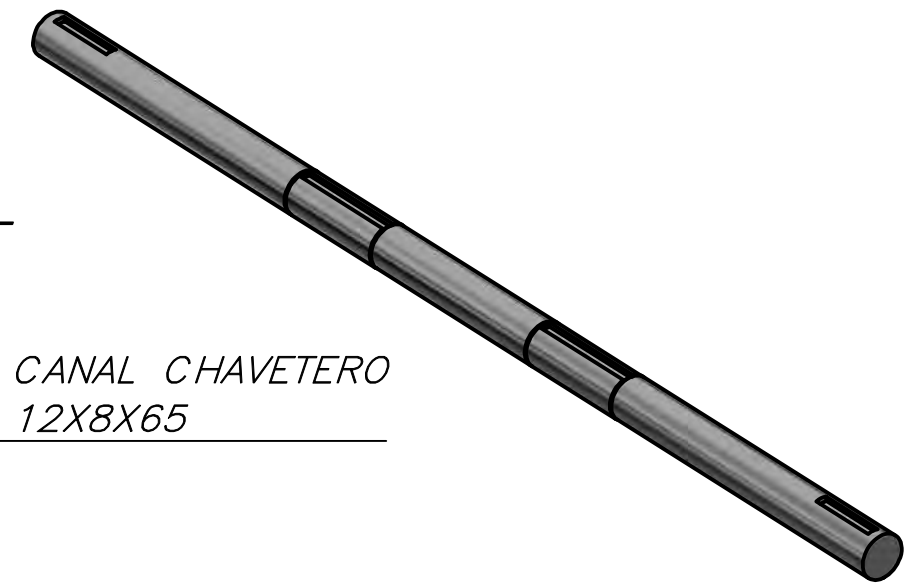
SECCION D-D



DETALLE G

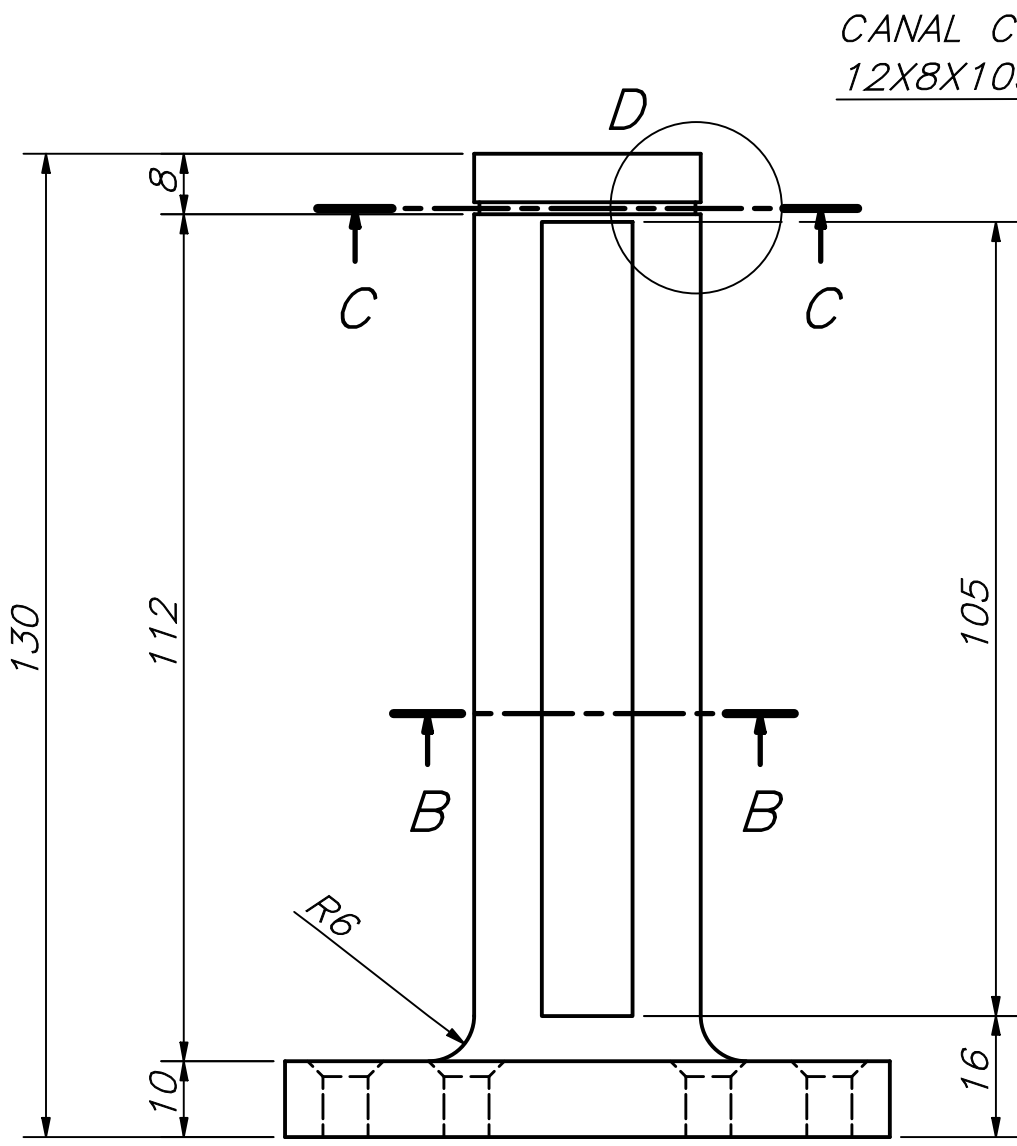
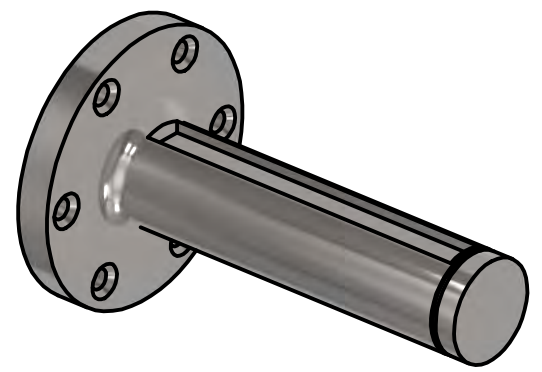
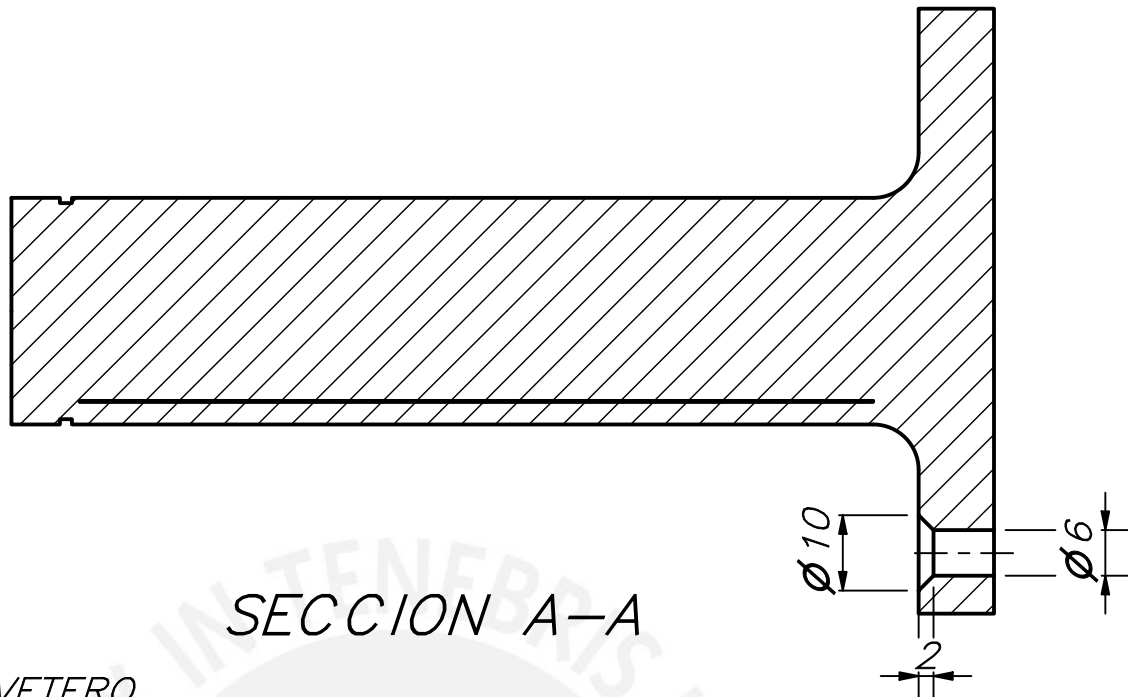
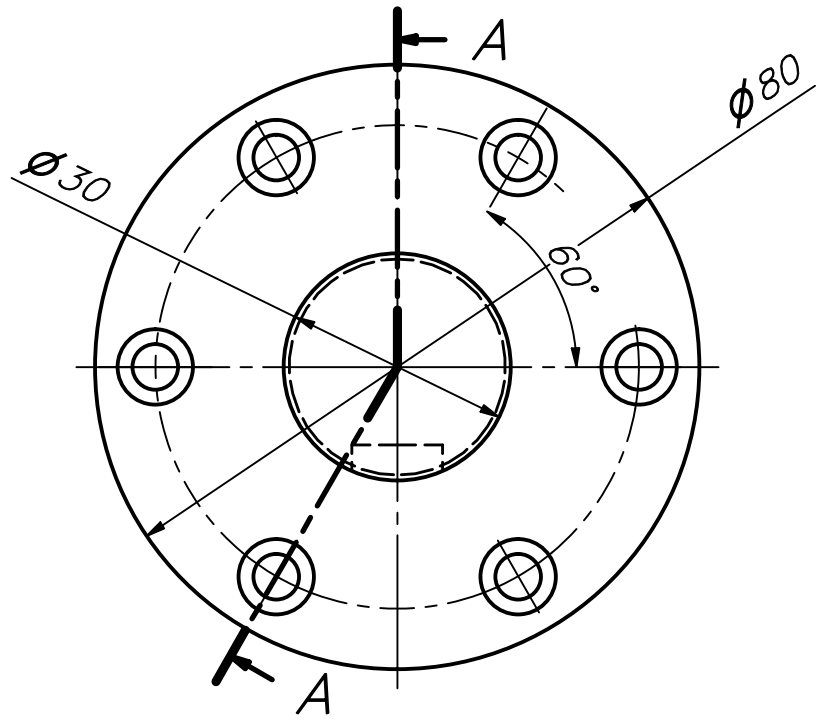
Ø 37,5

1,85



ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ACERO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	EJE POSTERIOR	1:5
0-8-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

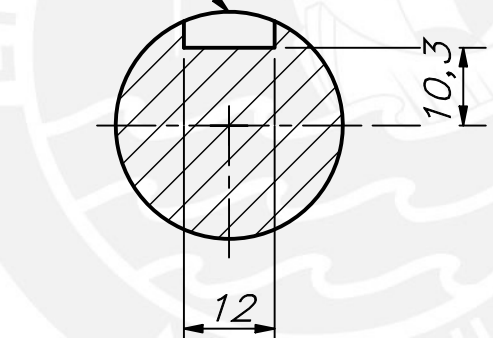
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



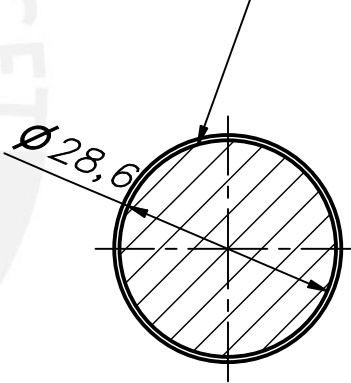
CANAL CHAVETERO
12X8X105

SECCION A-A

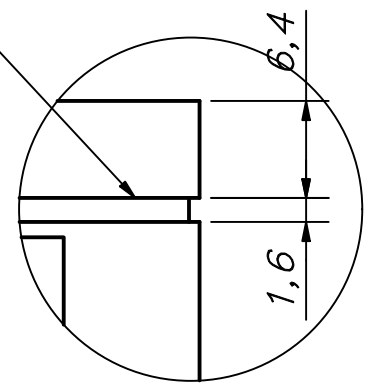
CANAL ANILLO
DE RETENCION



SECCION B-B



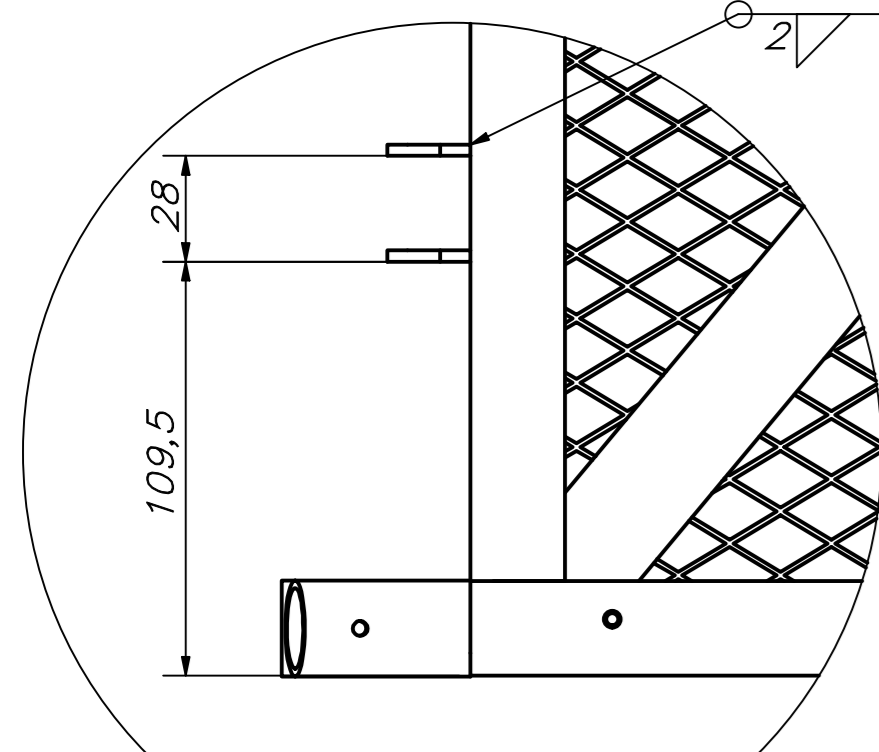
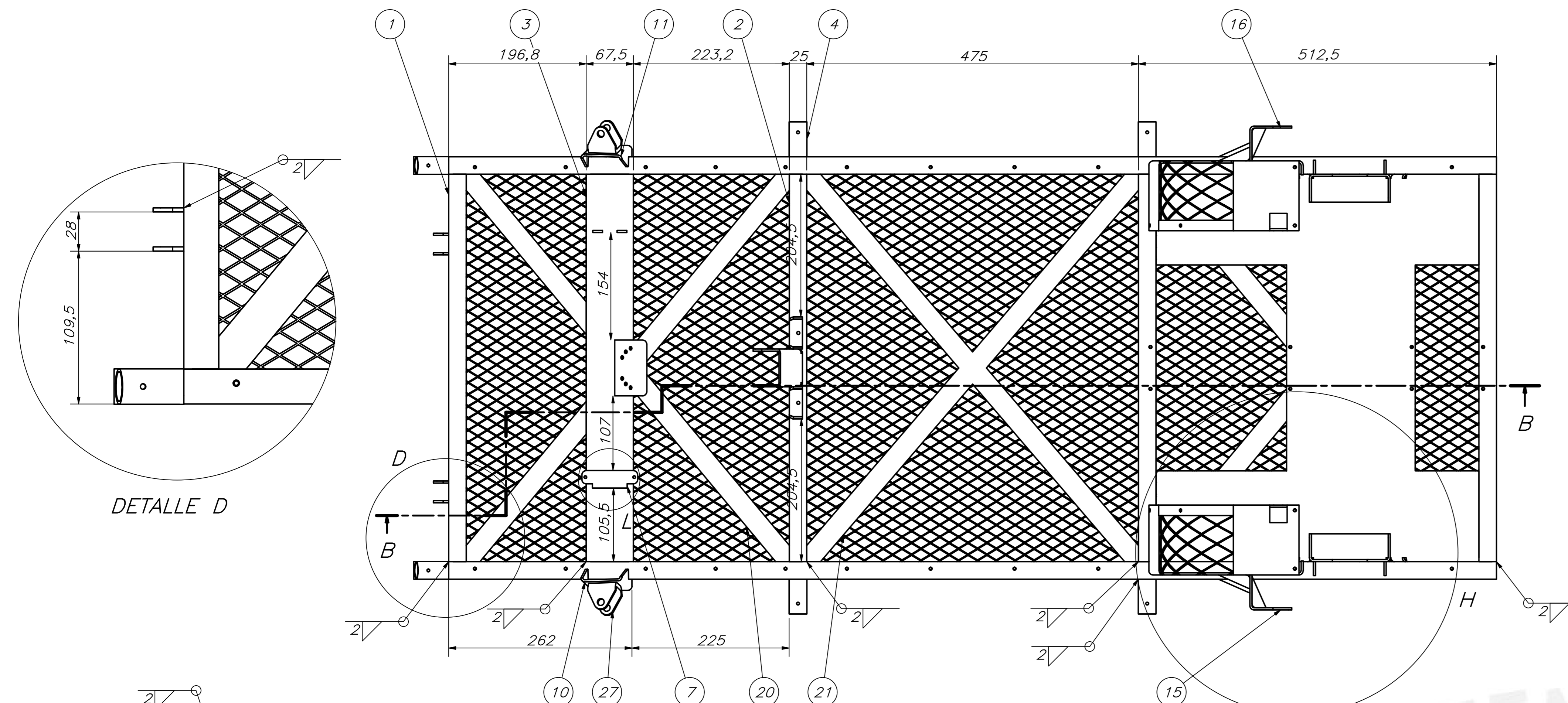
SECCION C-C



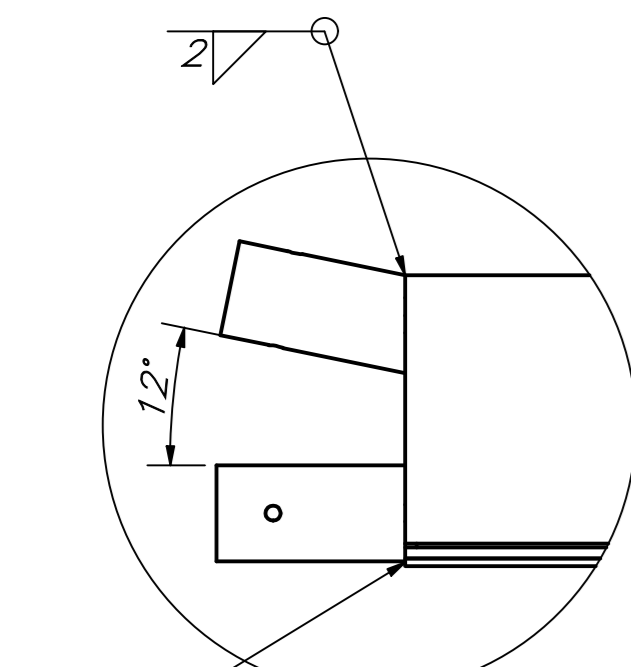
DETALLE D

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ACERO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA	
	EJE MOTOR	
0-9-D	PARIONA PINO, GONZALO	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

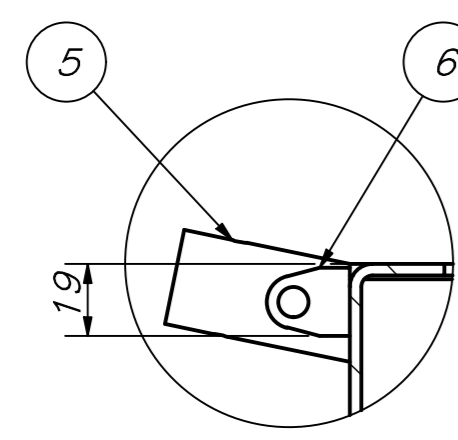
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



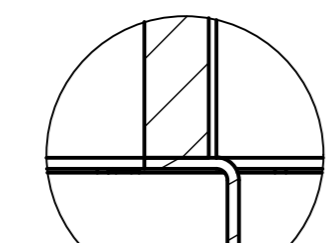
DETALLE D



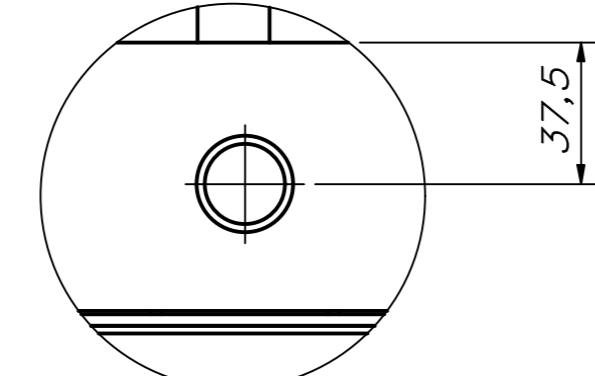
DETALLE A



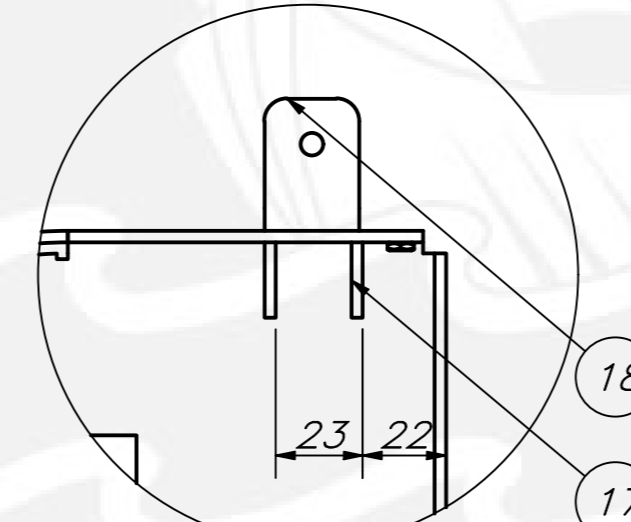
DETALLE C



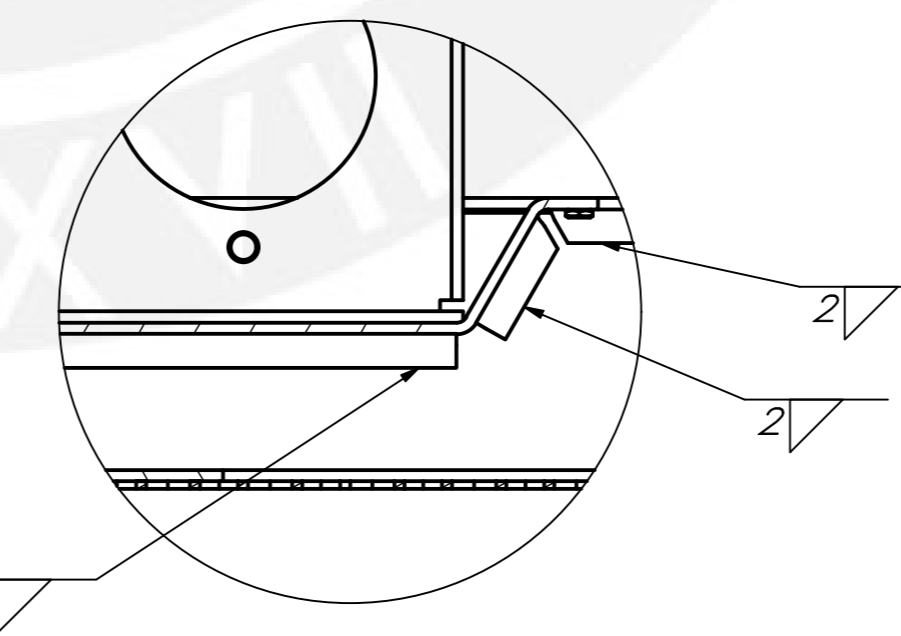
DETALLE J



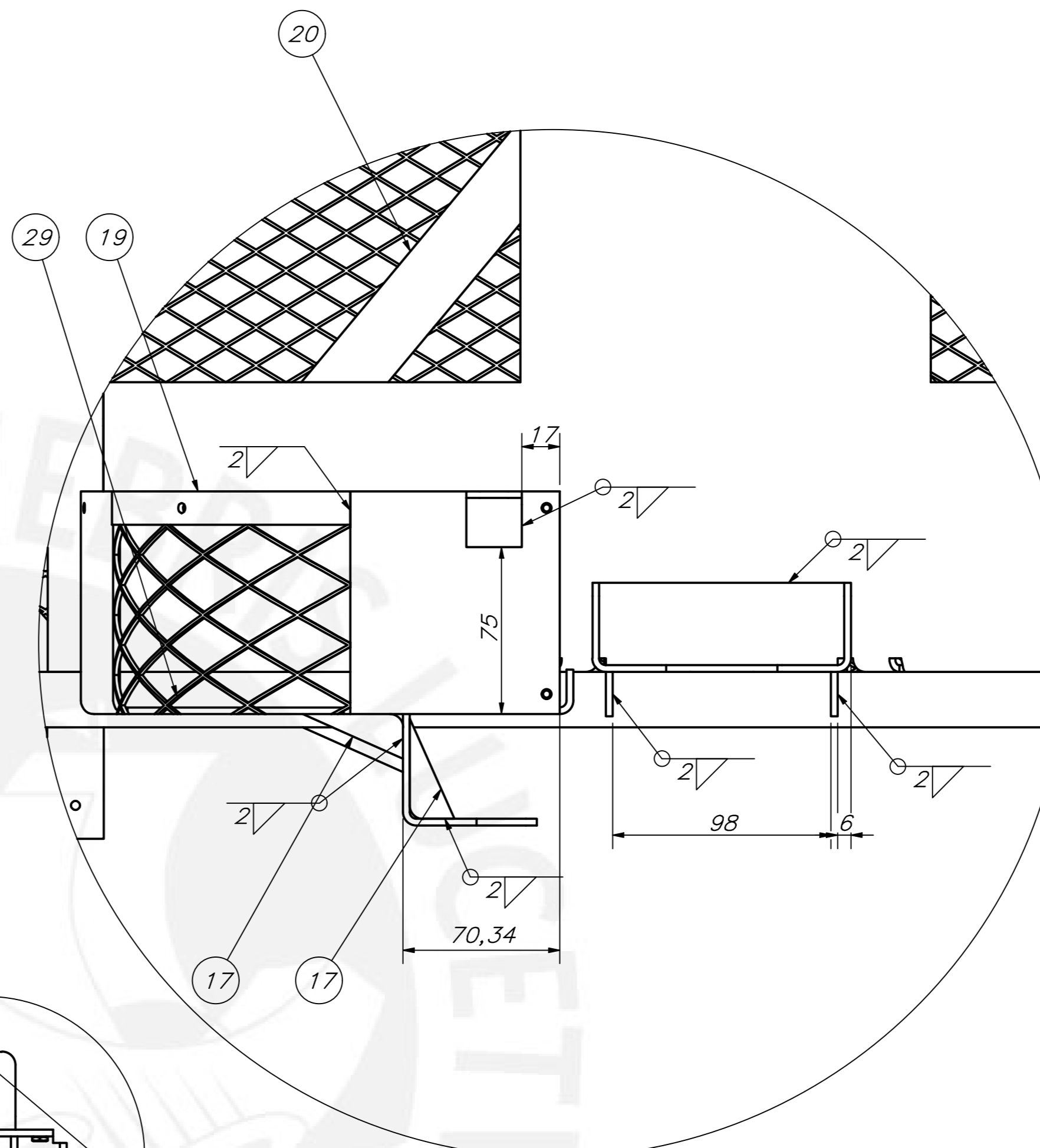
DETALLE G



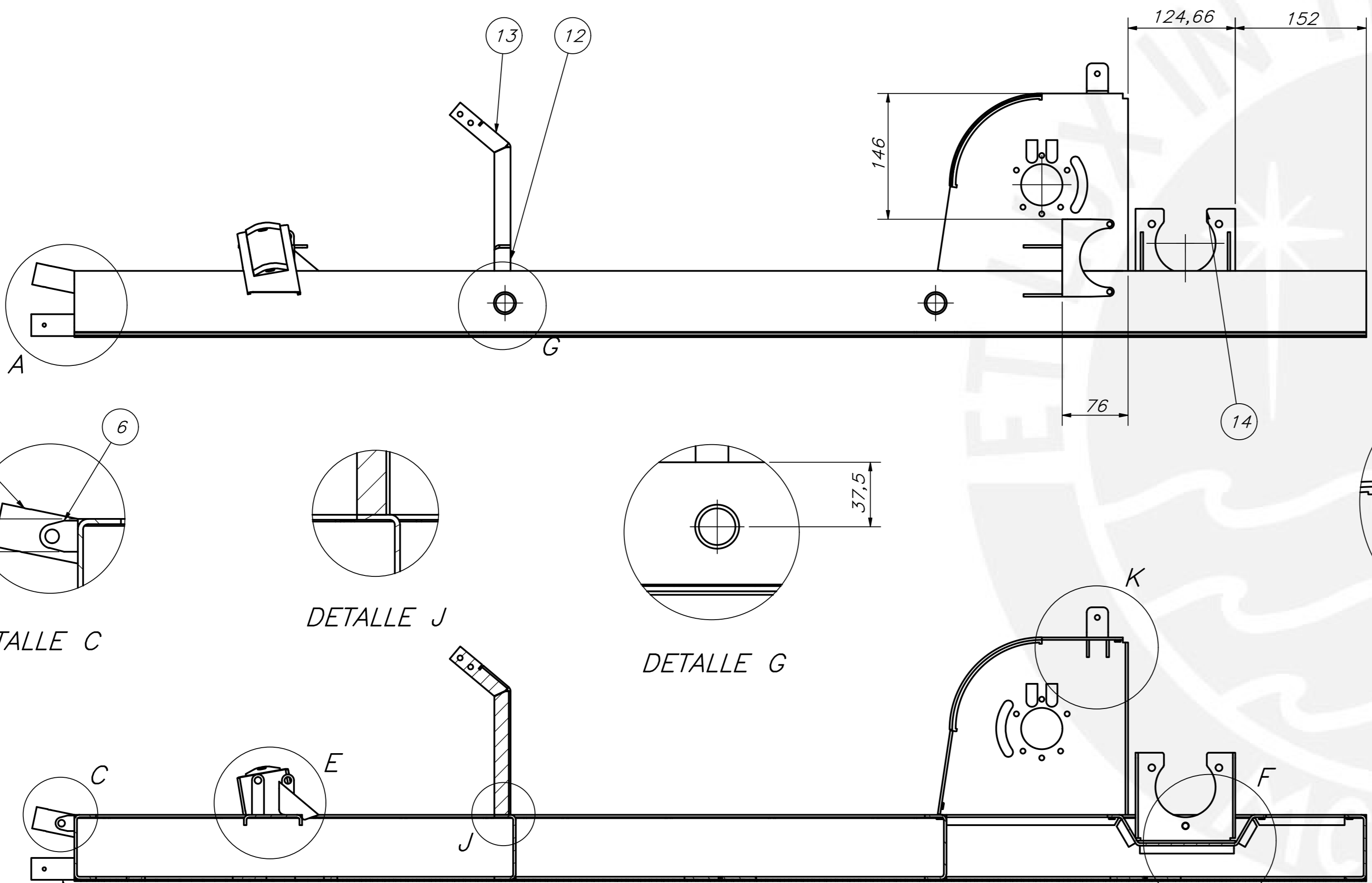
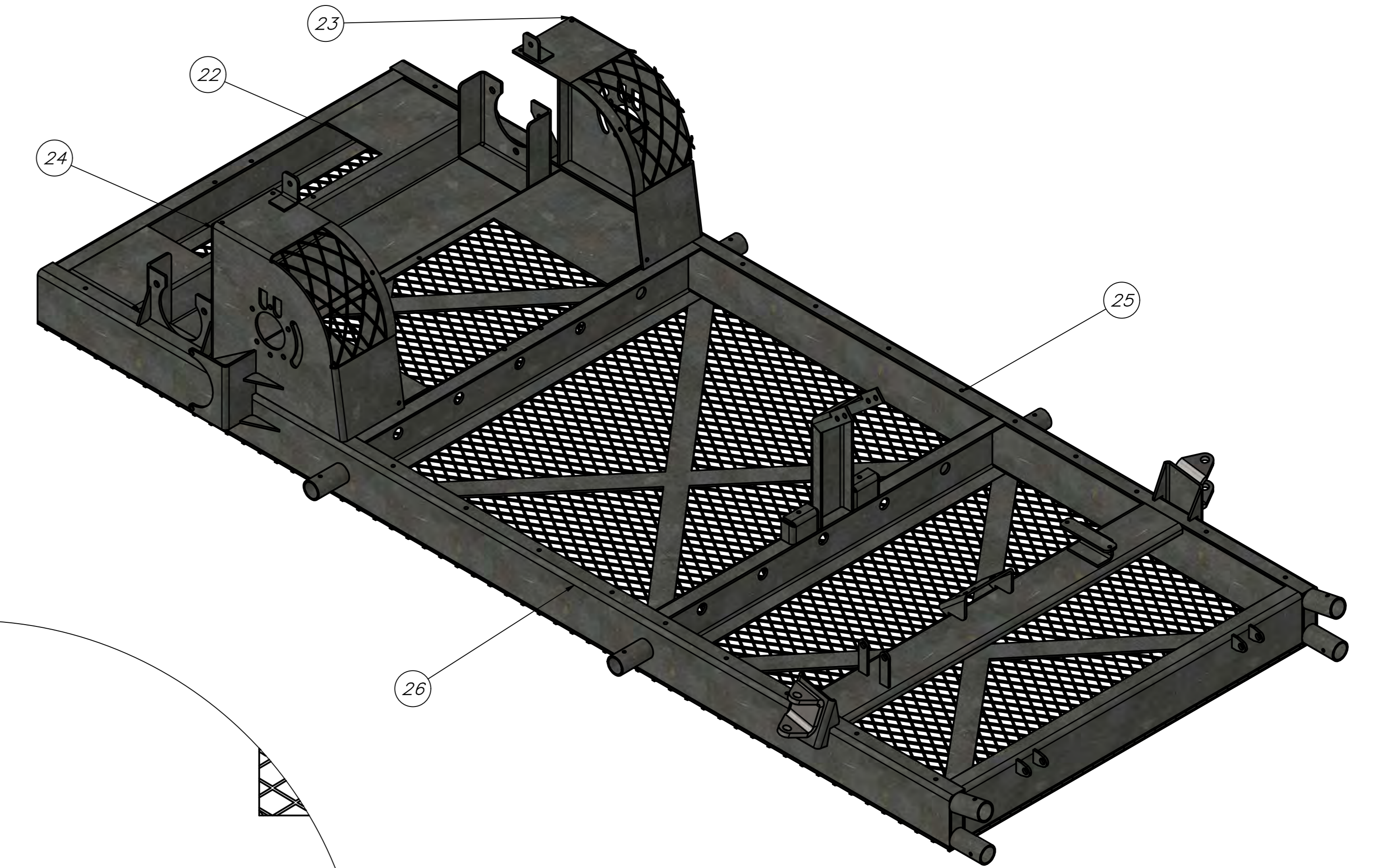
DETALLE K



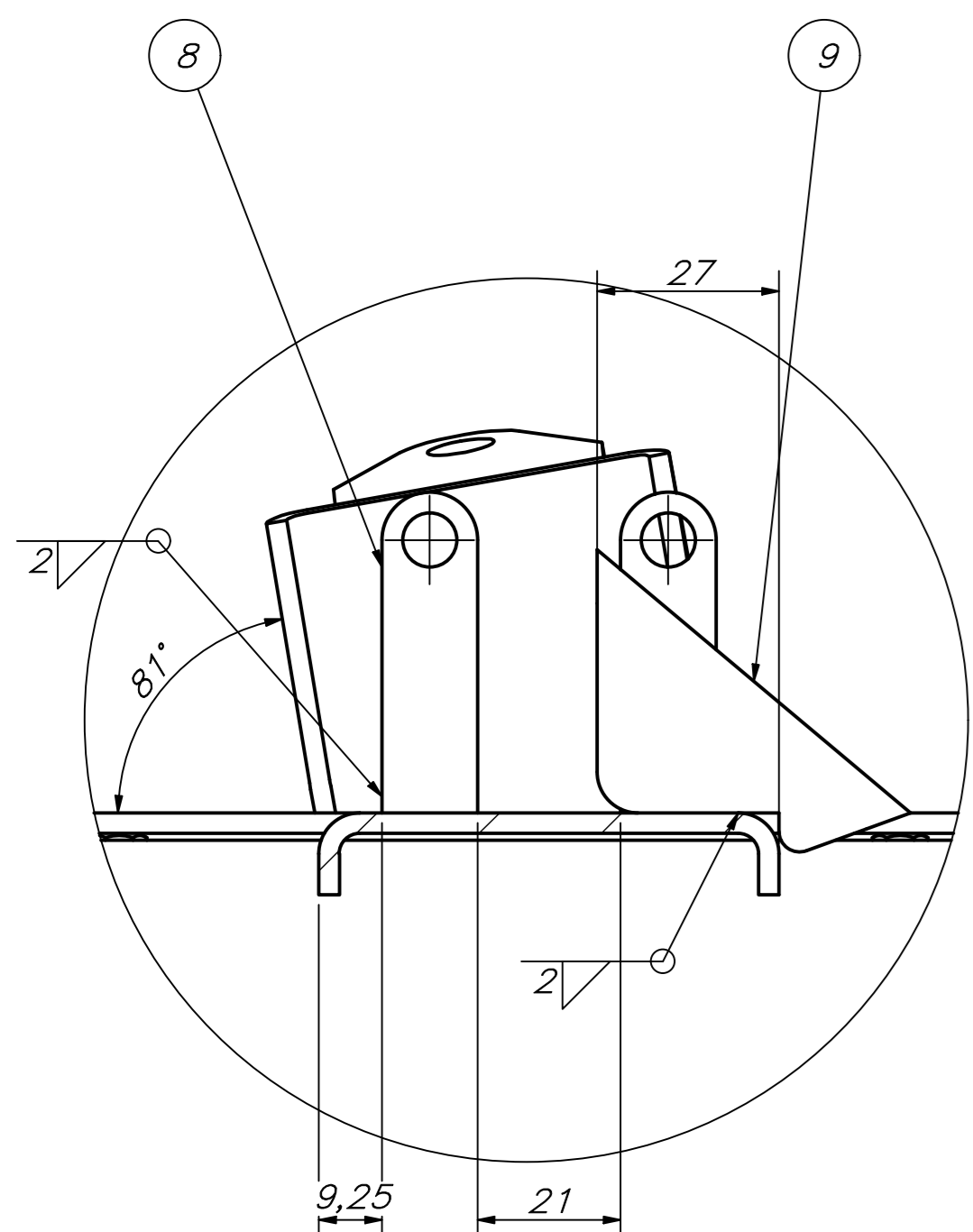
DETALLE F



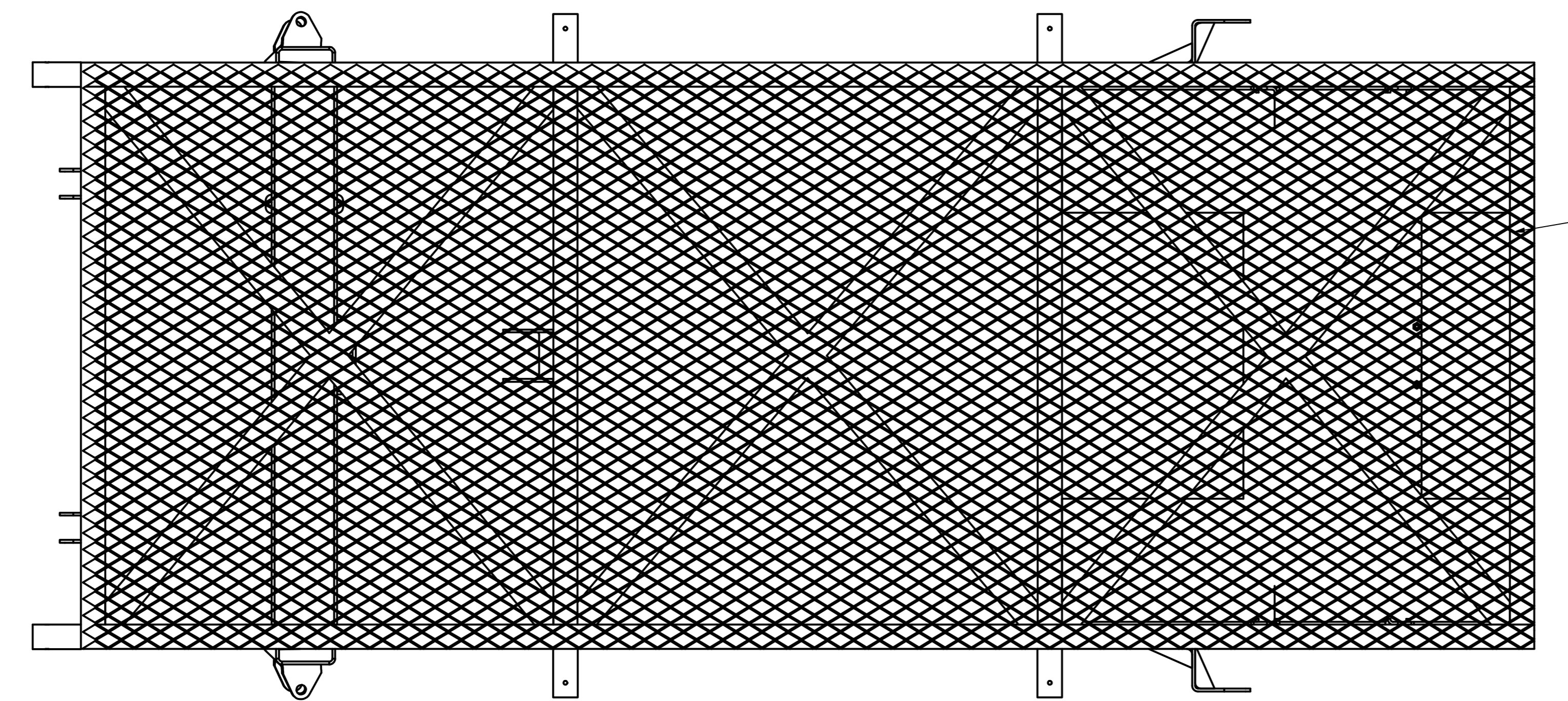
DETALLE H



SECCION B-B



DETALLE E



28

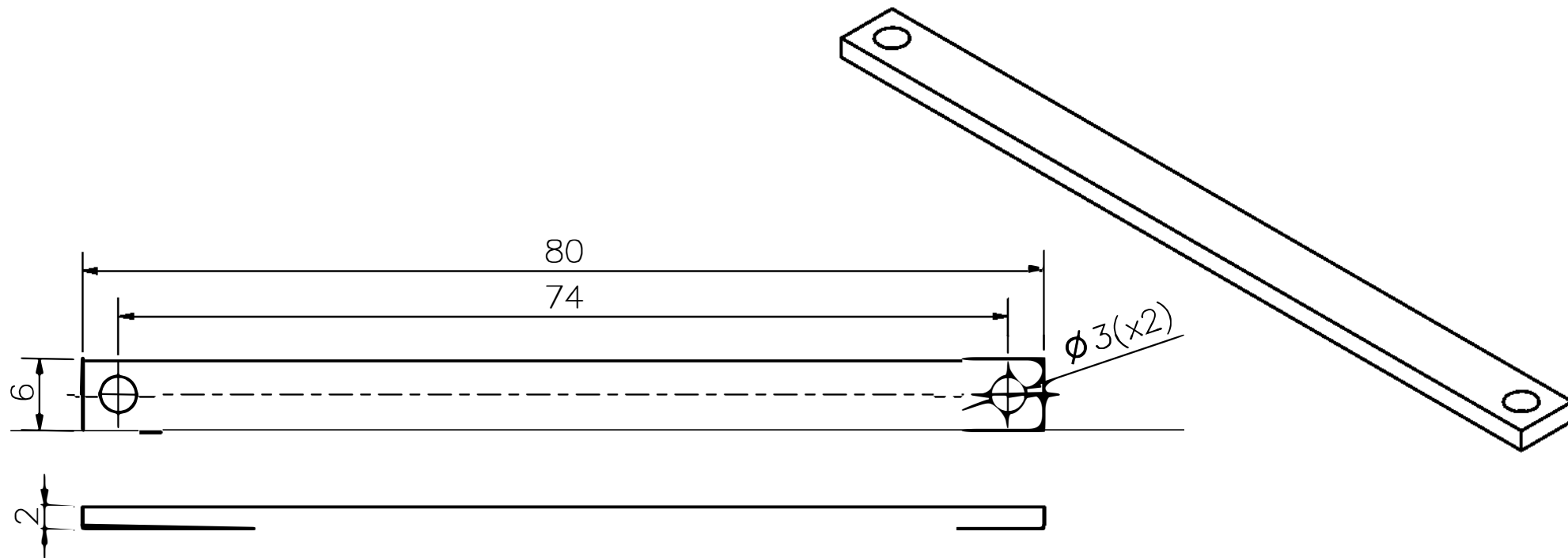
PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
29	2	REJILLA 10x65		ACERO	
28	1	REJILLA 1500x605		ACERO	
27	2	SOPORTE DIRECCION - BRSC02		ACERO	
26	1	LARGUERO DERECHO		NASTRA 7000L	
25	1	LARGUERO IZQUIERDO		NASTRA 7000L	
24	1	SOPORTE MOTOR DERECHO		NASTRA 7000L	
23	1	SOPORTE MOTOR IZQUIERDO		NASTRA 7000L	
22	1	TRAVESAÑO 4		NASTRA 7000L	
21	1	REFUERZO BATERIA 2		NASTRA 7000L	
20	2	REFUERZO BATERIA 1		NASTRA 7000L	
19	2	TOPE MALLA		NASTRA 7000L	
18	2	SOPORTE ASIENTO 2		NASTRA 7000L	
17	16	CARTELA		NASTRA 7000L	
16	1	SOPORTE FRENO DERECHO		NASTRA 7000L	
15	1	SOPORTE FRENO IZQUIERDO		NASTRA 7000L	
14	2	SOPORTE RODAMIENTO		NASTRA 7000L	
13	1	SOPORTE DIRECCION 2		NASTRA 7000L	
12	2	SOPORTE ASIENTO 1		NASTRA 7000L	
11	1	SOPORTE DIRECCION DERECHA		NASTRA 7000L	
10	1	SOPORTE DIRECCION IZQUIERDA		NASTRA 7000L	
9	1	SOPORTE DIRECCION 1		NASTRA 7000L	
8	2	SOPORTE BOMBA		NASTRA 7000L	
7	1	SOPORTE POTENCIOMETRO		NASTRA 7000L	
6	4	SOPORTE PEDAL		NASTRA 7000L	
5	2	SOPORTE PARACHOQUES 2		NASTRA 7000L	
4	6	SOPORTE PARACHOQUES 1		NASTRA 7000L	
3	1	TRAVESAÑO 3		NASTRA 7000L	
2	2	TRAVESAÑO 2		NASTRA 7000L	
1	2	TRAVESAÑO 1		NASTRA 7000L	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

METODO DE PROYECCIÓN: ESCALA: 1:4

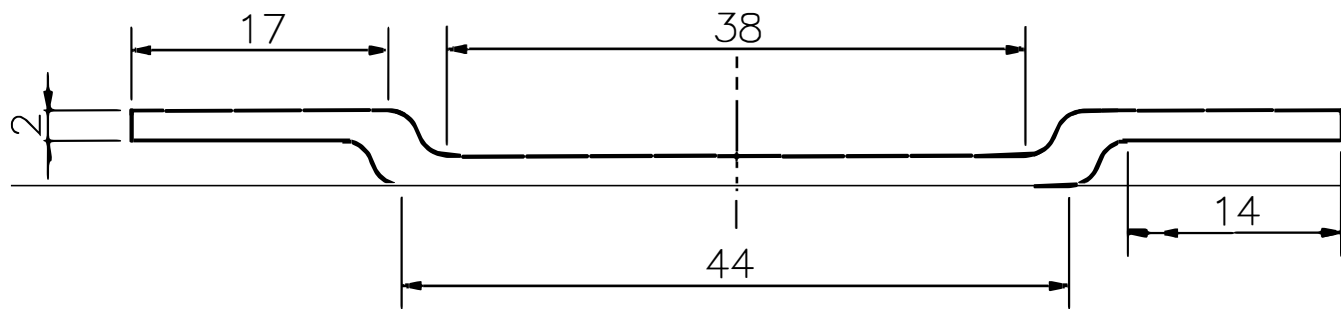
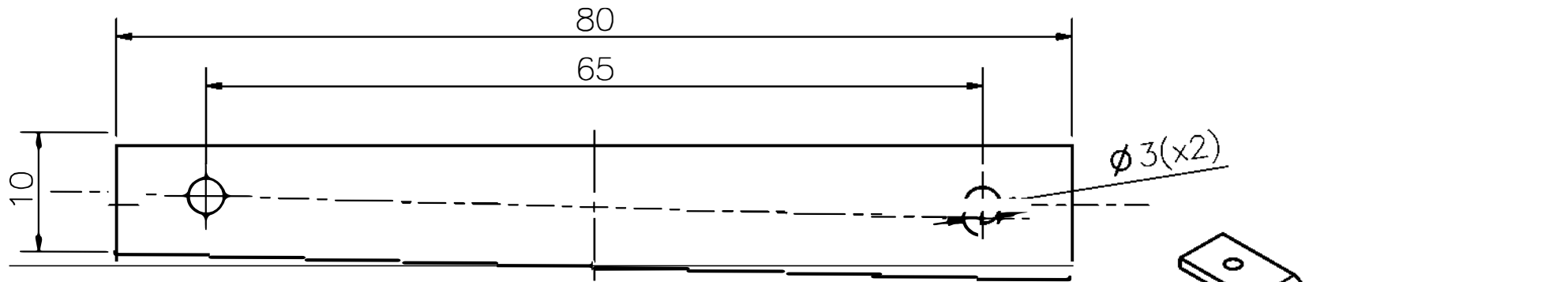
E-3-E PARIONA PINO, GONZALO FECHA: 2021.10.19 LÁMINA: AO

COTA NOMINAL COTA MÁXIMA COTA MÍNIMA



ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL 1 mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	Soporte de Pantalla	ESCALA 2:1
		
P-1-D	Pariona Pino, Gonzalo Javier	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

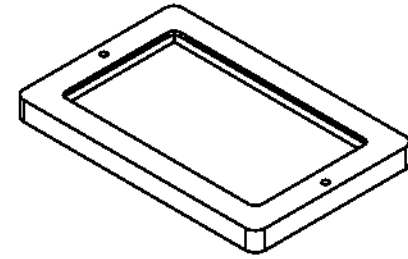
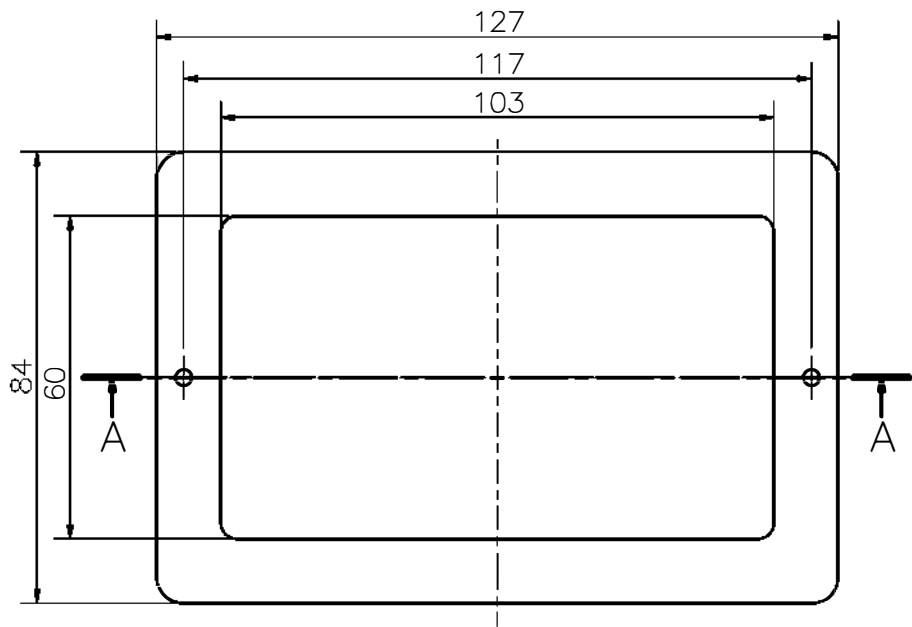
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



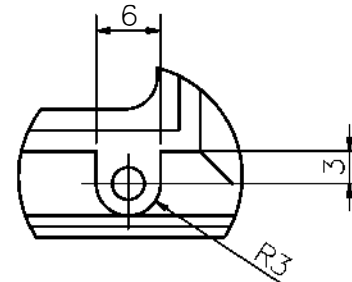
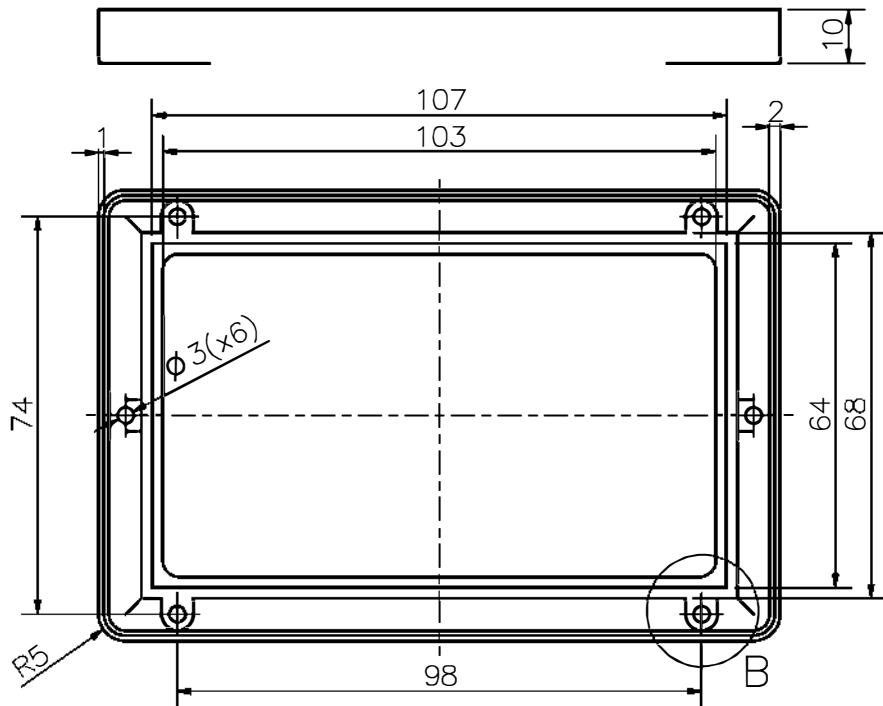
REDONDEOS NO INDICADOS R2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL 1 mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	Soporte de Carcasa	ESCALA 2:1
		FECHA: 2021.10.19
P-2-D	Pariona Pino, Gonzalo Javier	LÁMINA: A4

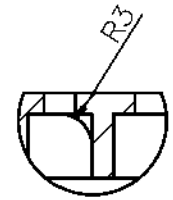
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



SECCION A-A
ESCALA 1 : 1



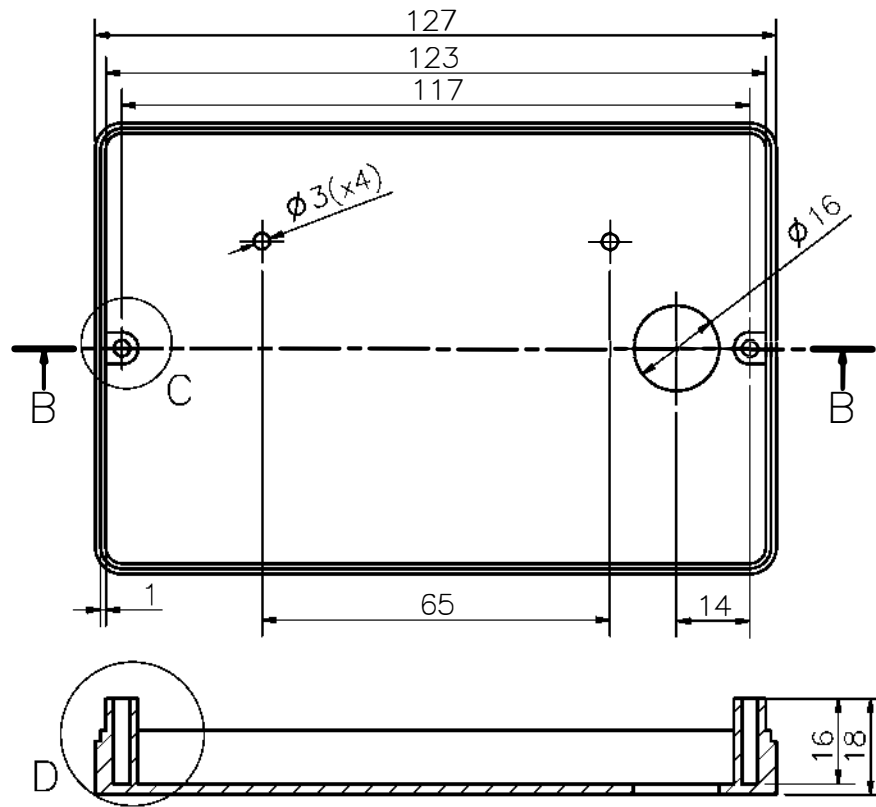
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



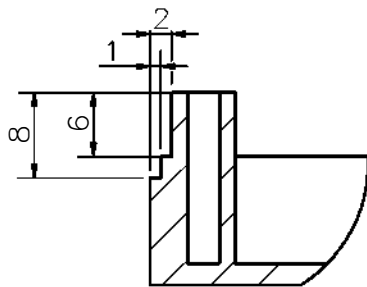
DETALLE C
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL 1 mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Carcasa #1	ESCALA 1:1
P-3-D	Pariona Pino, Gonzalo Javier	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

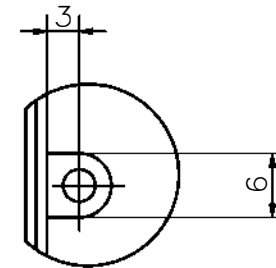
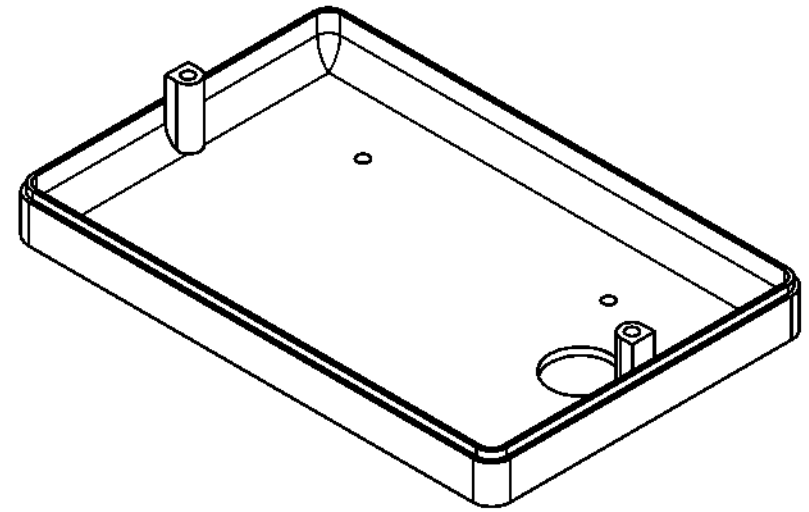
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



SECCION B-B
ESCALA 1 : 1



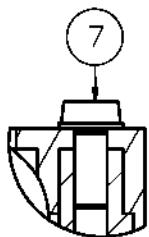
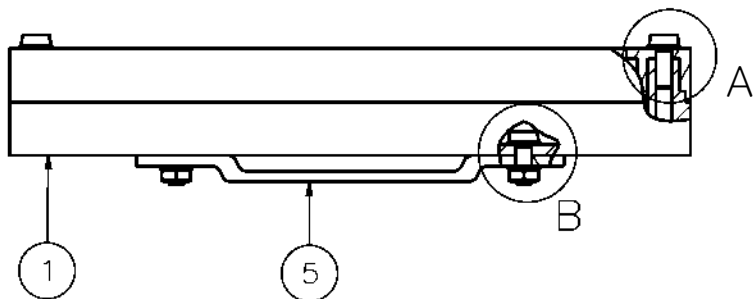
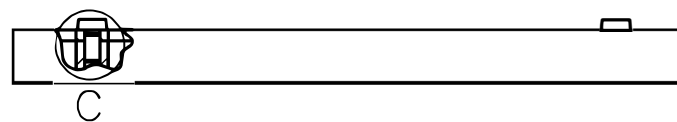
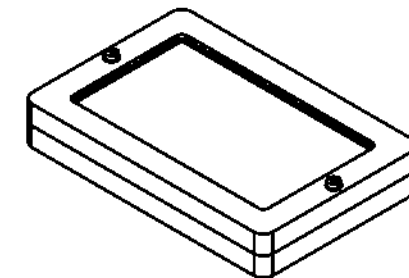
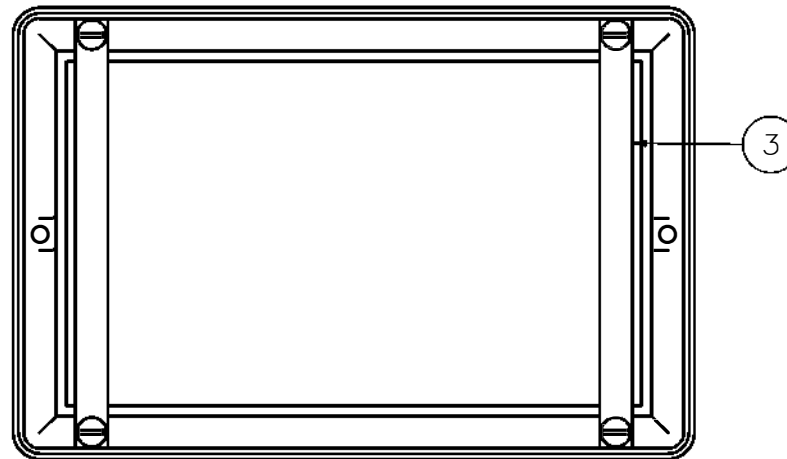
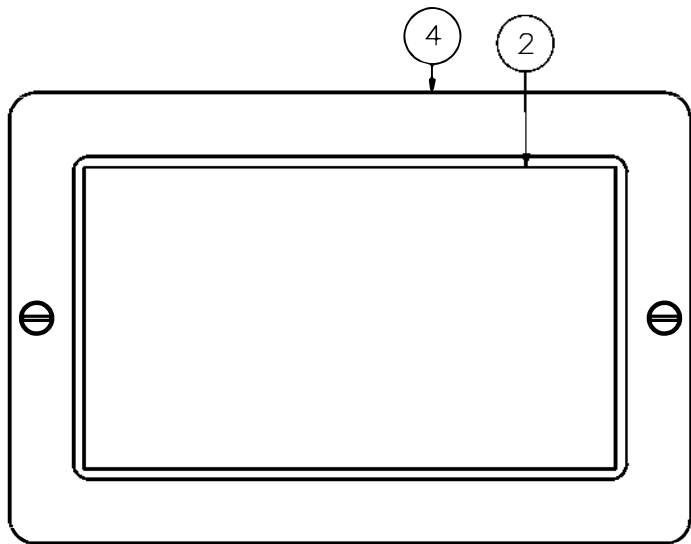
DETALLE D
ESCALA 2 : 1



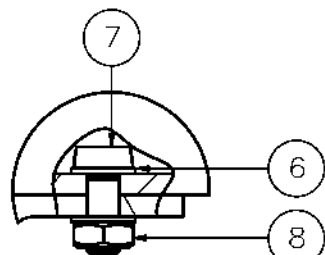
DETALLE C
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL 1 mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Carcasa #2	ESCALA 1:2
P-4-D	Pariona Pino, Gonzalo Javier	FECHA: 2021.10.19
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A4

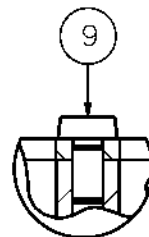
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1



DETALLE C
ESCALA 2 : 1

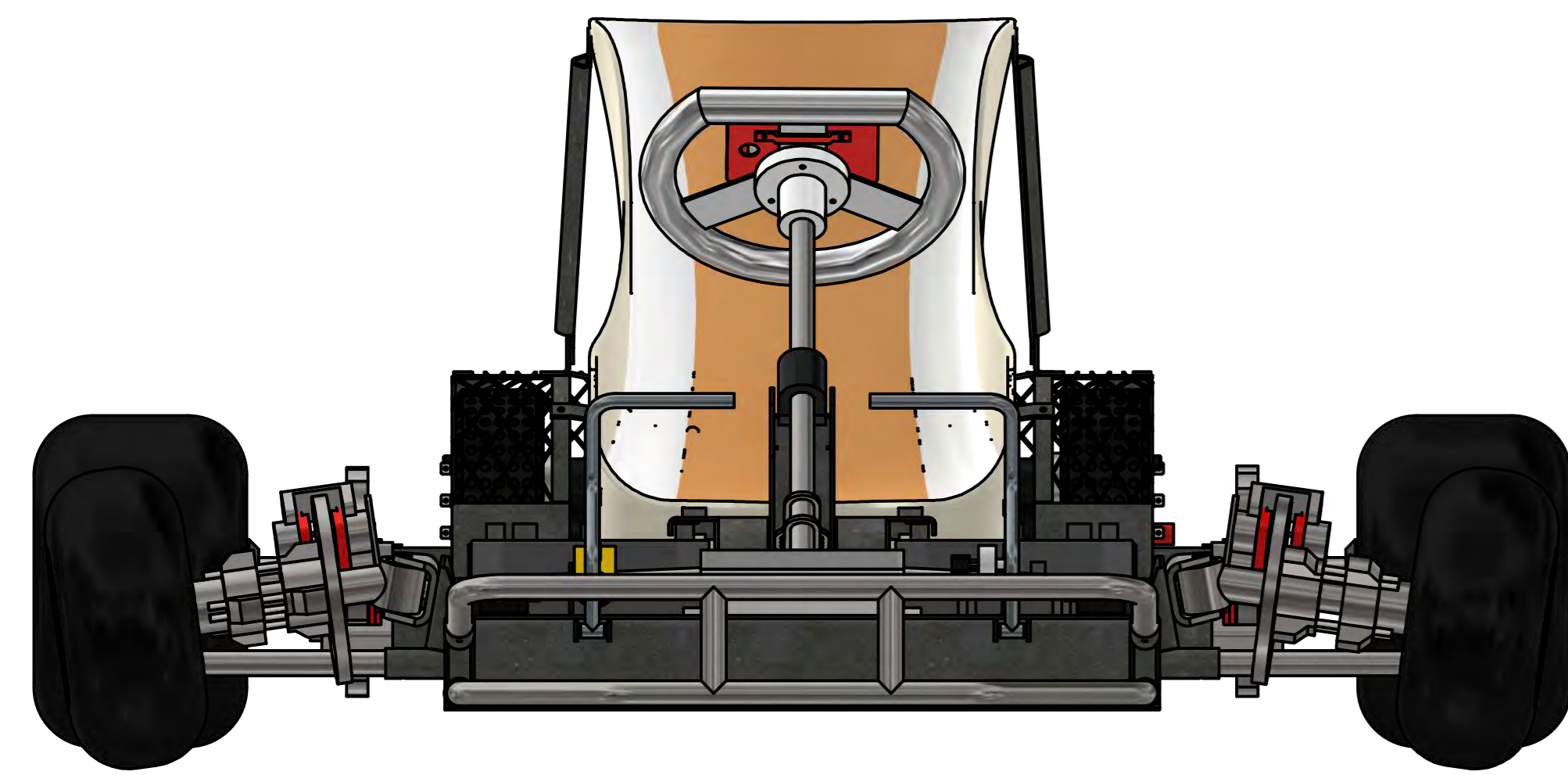
LISTA DE PARTES

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
9	4	Tornillo M3 x 6	ISO 1207	A. Inoxidable	
8	2	Tuerca M3	ISO 4032	A. Inoxidable	
7	4	Tornillo M3 x 8	ISO 1207	A. Inoxidable	
6	6	Arandela M3	ISO 7092	A. Inoxidable	
5	1	Soporte de Carcasa		Generic	T-10-D
4	1	Carcasa #1		Generic	T-7-D
3	2	Soporte de Pantalla		Generic	T-9-D
2	1	Gameduino 3X		Generic	Excamera 4.8"
1	1	Carcasa #2		Generic	T-8-D

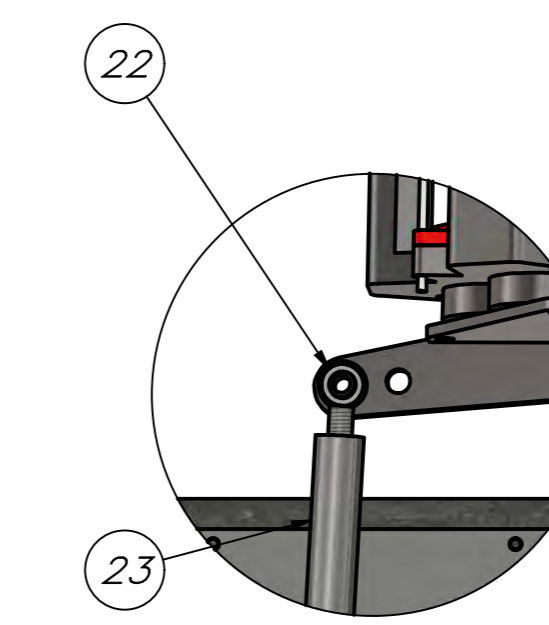
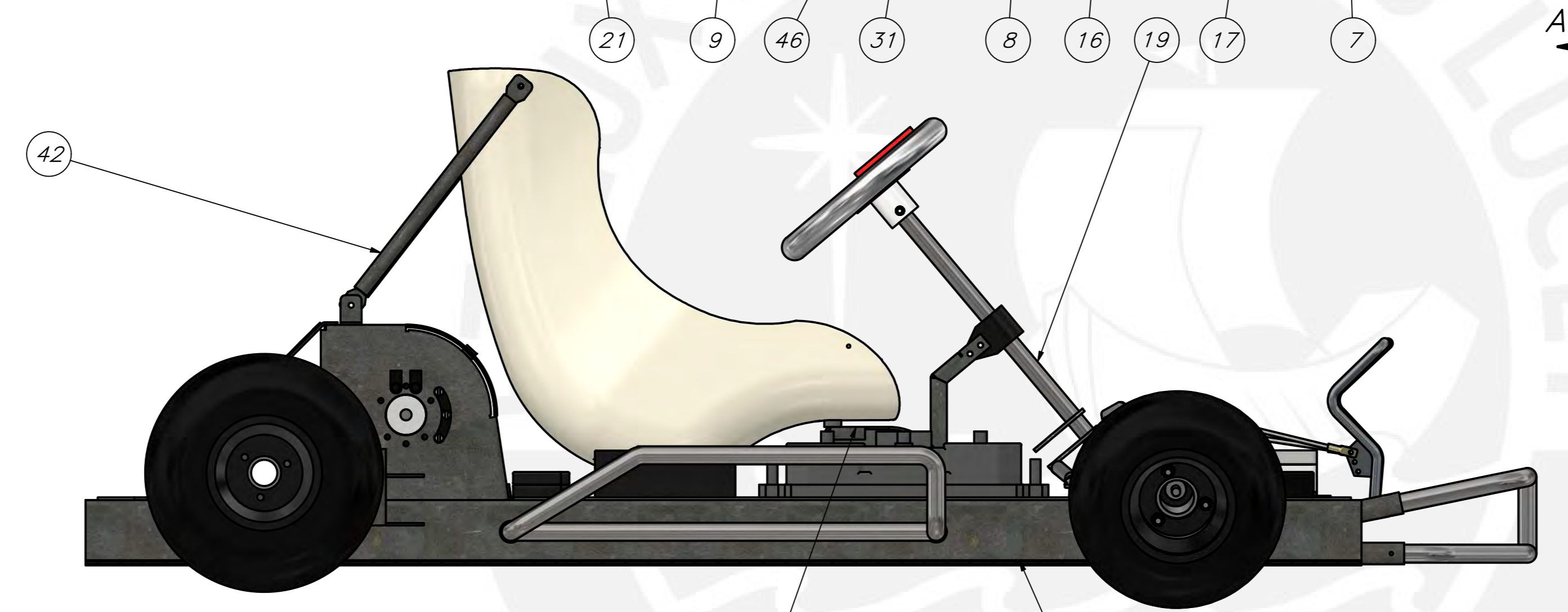
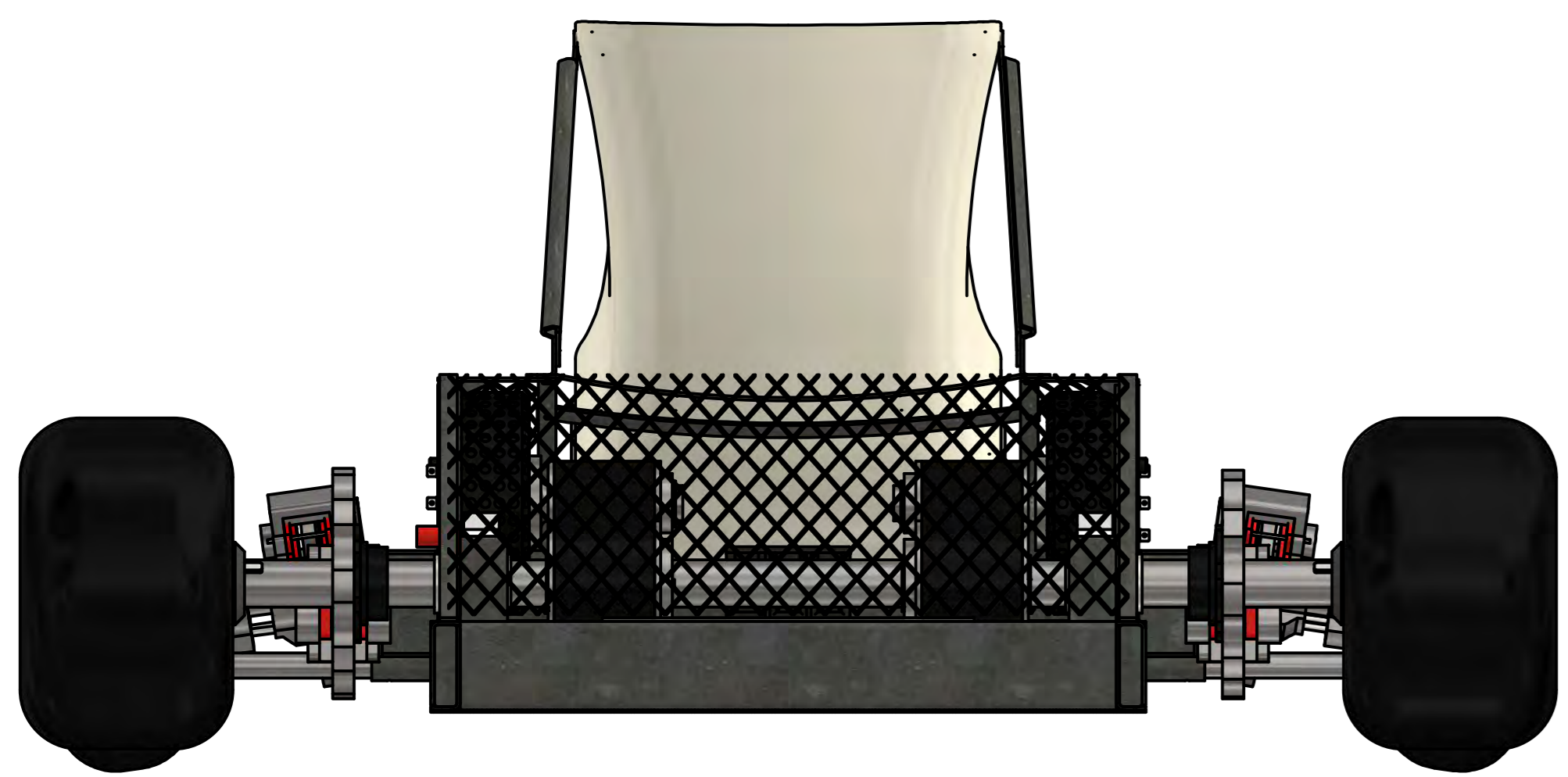
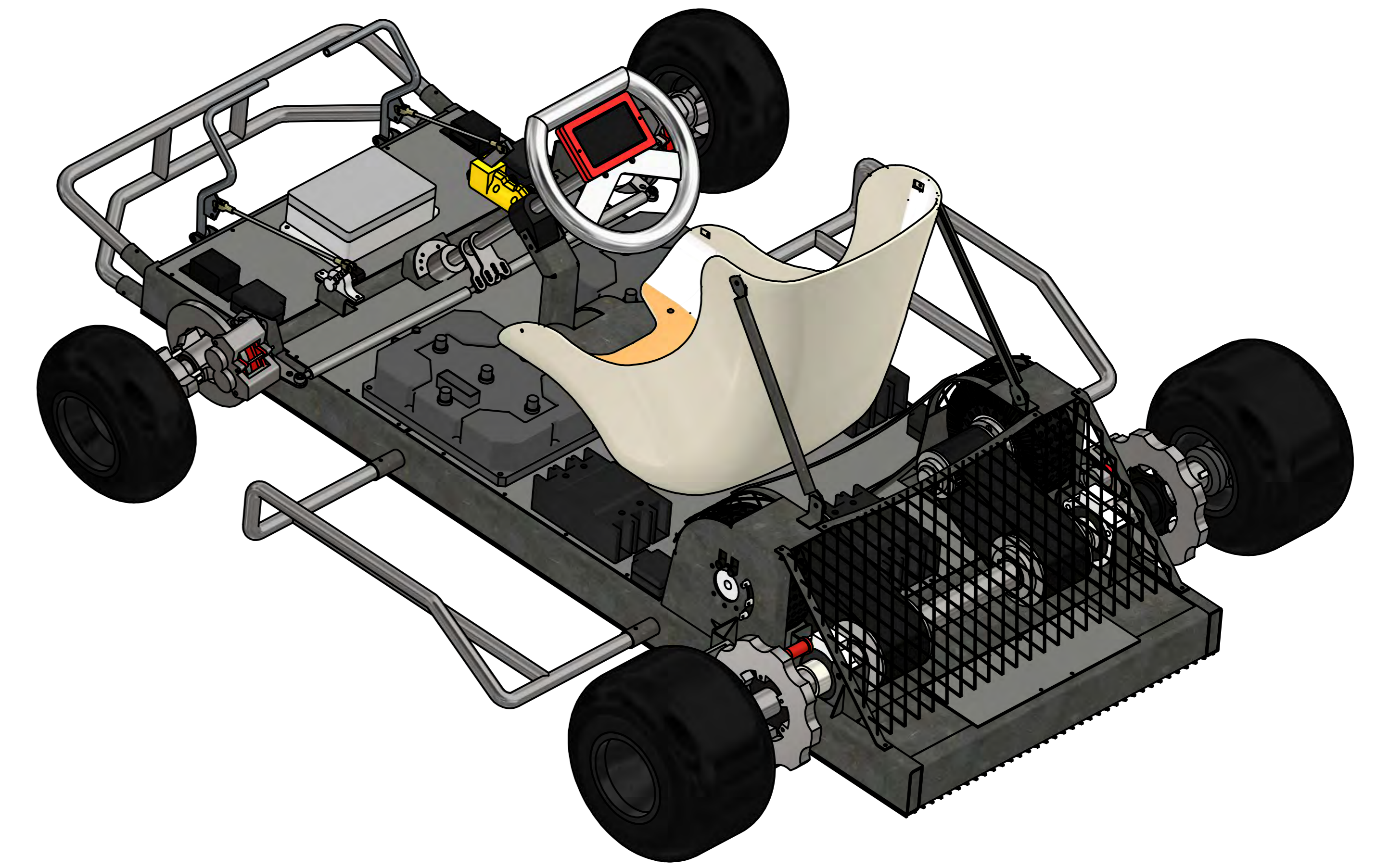
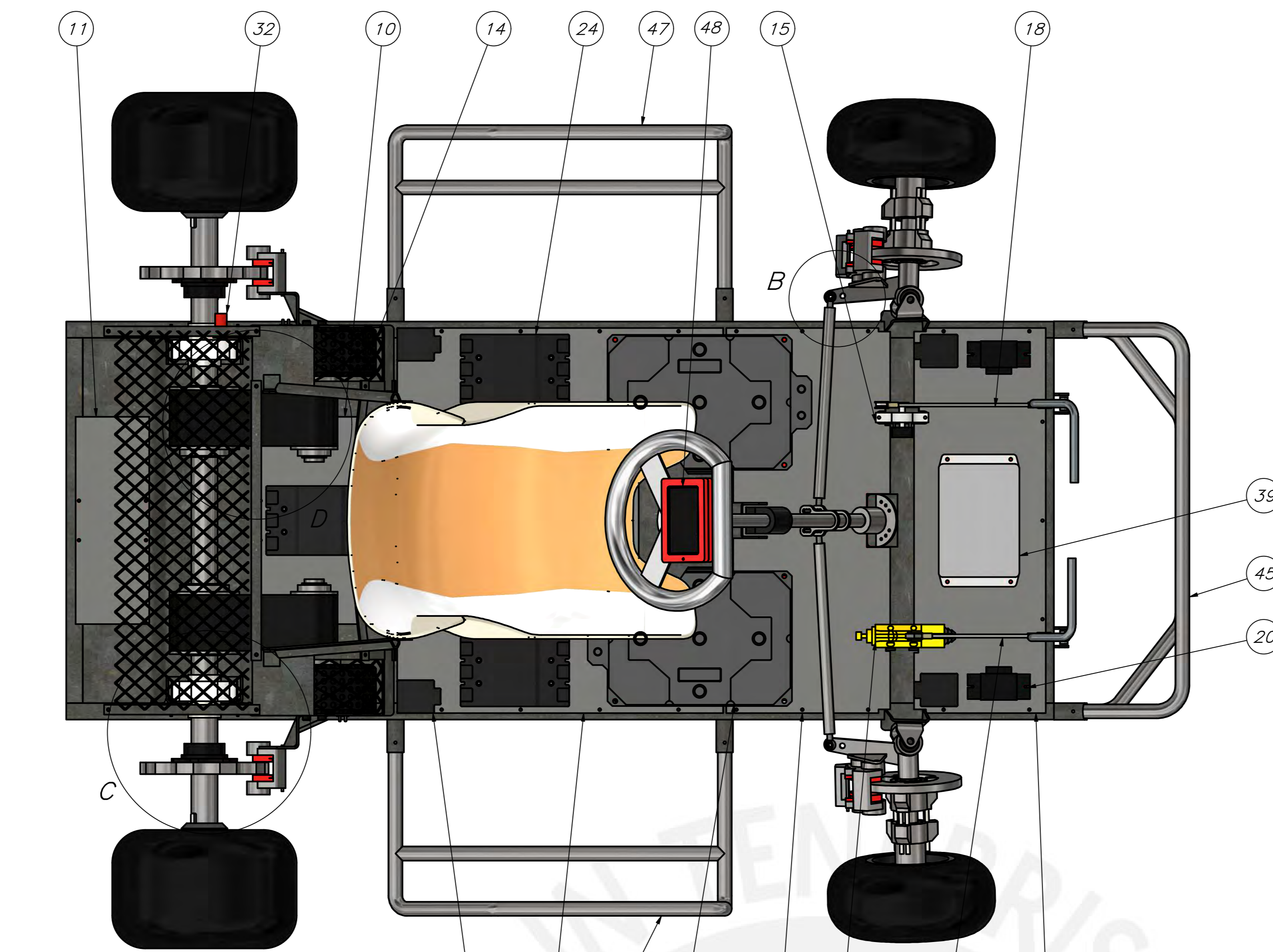
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	Pantalla	1:1
P-1-E	Pariona Pino, Gonzalo Javier	FECHA: 2021.10.19
		LÁMINA: A4

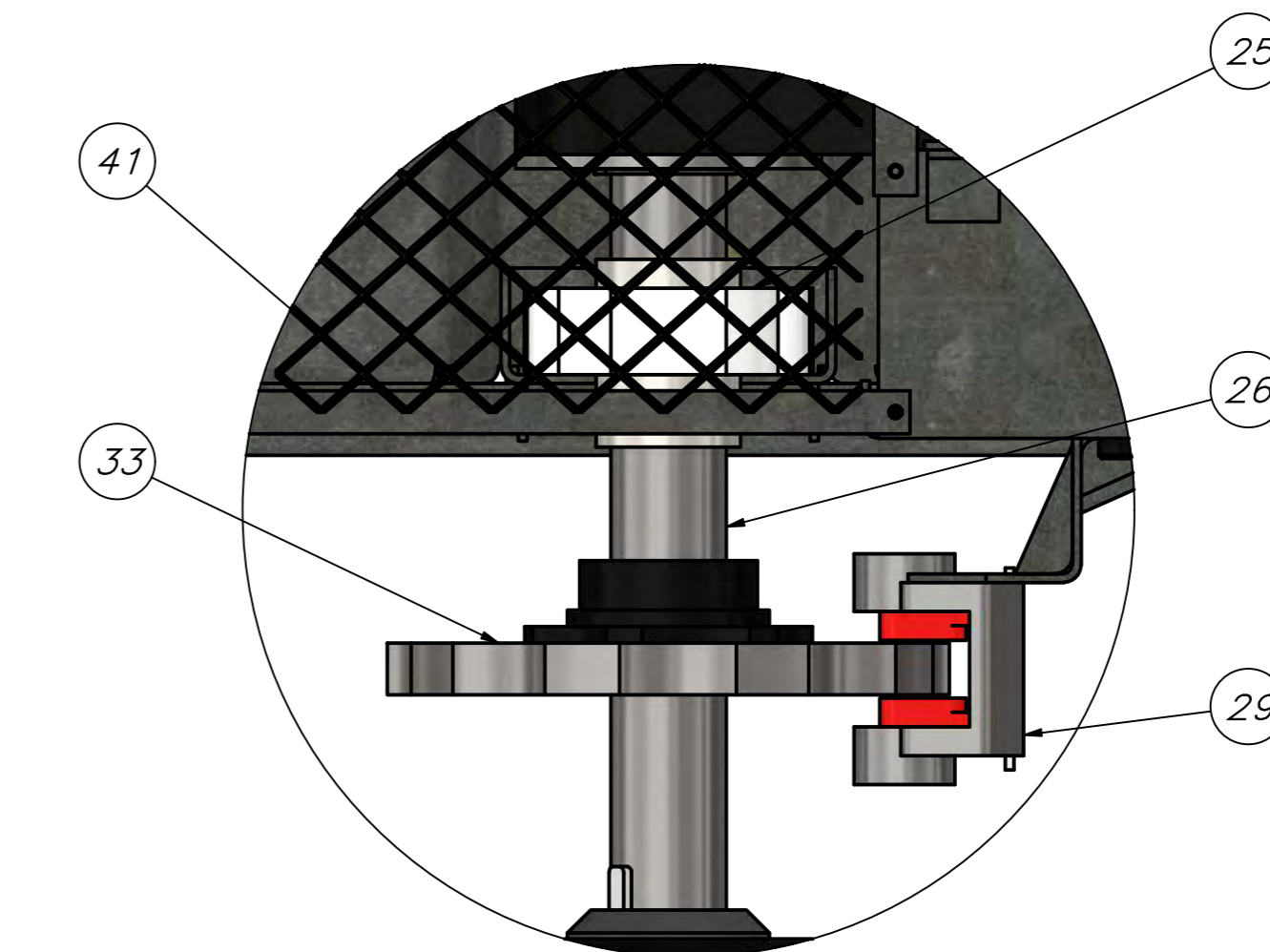
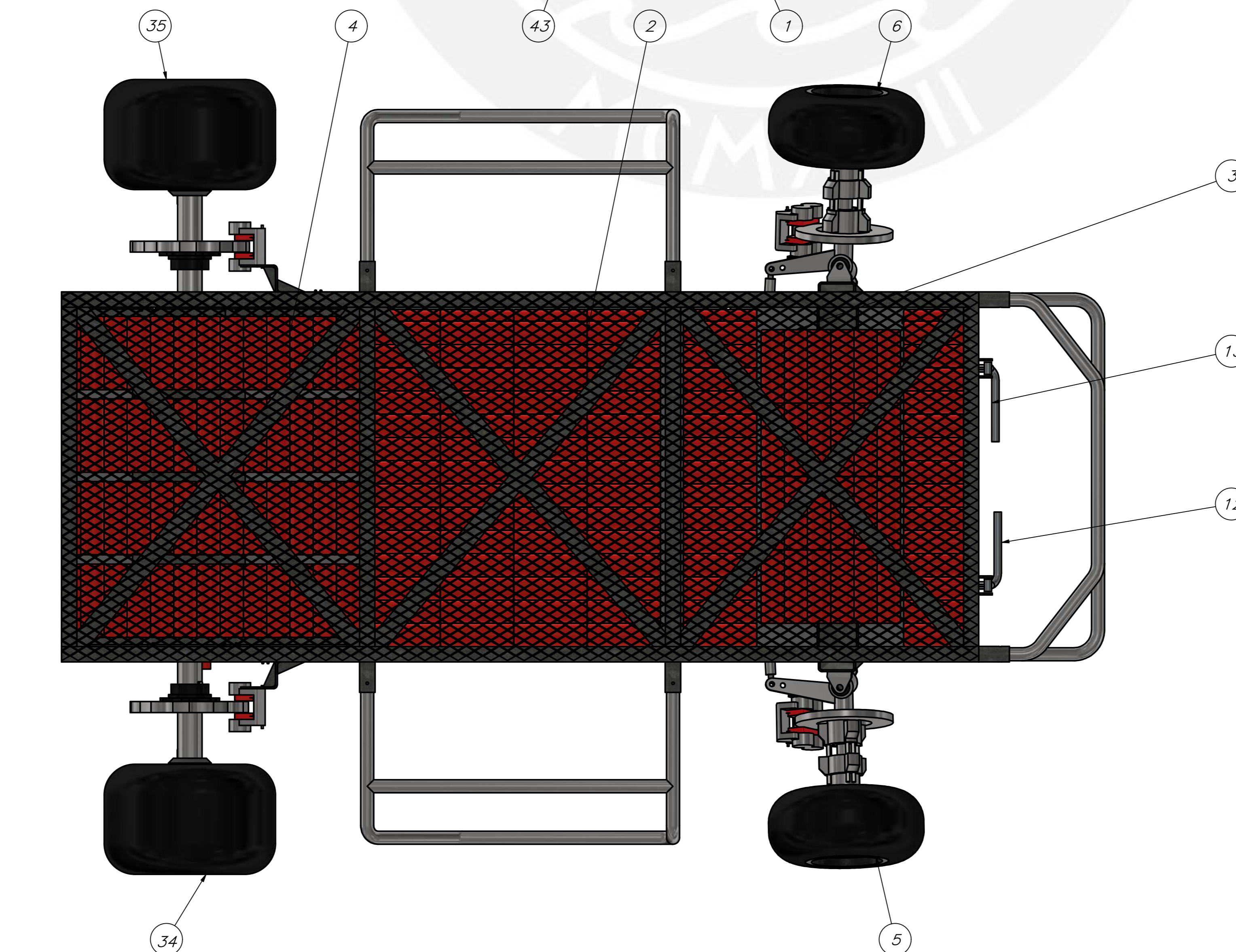
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



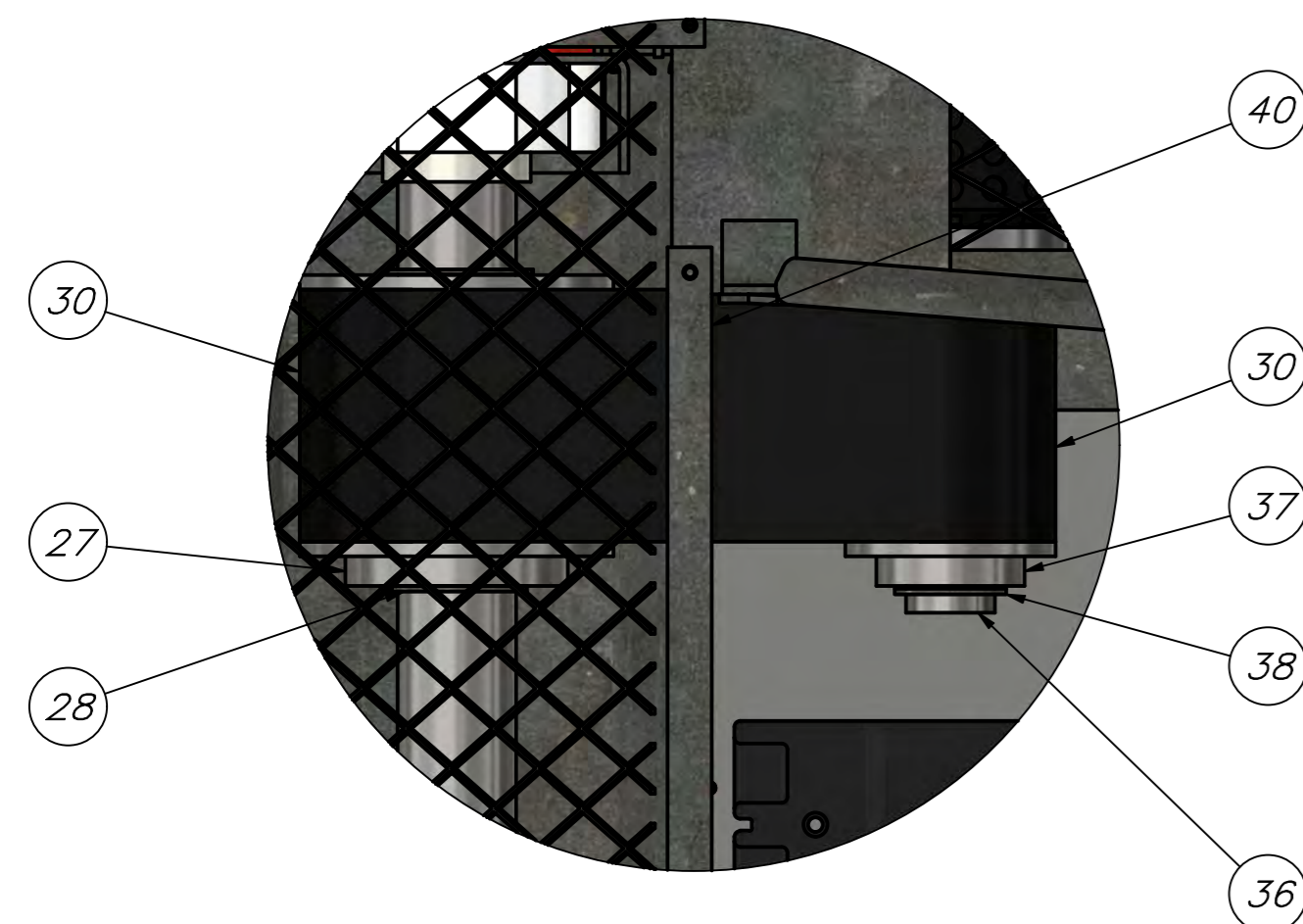
VISTA A



DETALLE B



DETALLE C



DETALLE D

PARTS LIST					
48	1	PANTALLA			
47	1	PARACHOQUES IZQUIERDO			
46	1	PARACHOQUES DERECHO			
45	1	PARACHOQUES FRONTAL			
44	1	ASENTO			
43	1	SOPORTE PASIENTO			
42	2	ASENTO PARANTE			
41	1	REJILLA POSTERIOR			
40	1	REJILLA FRONTAL			
39	1	COMPARTIMENTO WA-24F			
38	2	ANILLO RETENCION - FS-030			
37	2	POLEA MOTOR			
36	2	EJE MOTOR			
35	1	RUEDA DERECHA POSTERIOR			
34	1	RUEDA IZQUIERDA POSTERIOR			
33	2	DISCO DE FRENO			
32	1	SENSOR HALL - 55505			
31	2	EMBRIVE 500			
30	2	FAJA			
29	2	CALIPER - SK1687			
28	4	ANILLO RETENCION - FS-040			
27	2	POLEA EJE			
26	1	EJE POSTERIOR			
25	2	RODAMIENTO - AX-408PK			
24	3	VM 3X280 A			
23	2	BARILLA DE DIRECCION - SRAC2C			
22	4	SPINDLE			
21	8	BMS CELL GROUP			
20	2	BMS CONTROL UNIT			
19	1	COLUMNA DE DIRECCION			
18	1	VARILLA 2 - BRDC01			
17	1	VARILLA 1 - BRDC01			
16	1	BOMBA DE FRENO - SK12002			
15	1	SENSOR DE ACCELERACION			
14	2	MOTOR EMRAX 188			
13	1	PEDAL DERECHO - PEDC01			
12	1	PEDAL IZQUIERDO - PEDC01			
11	1	TAPA 5	HDP		
10	1	TAPA 4	HDP		
9	1	TAPA 3	HDP		
8	1	TAPA 2	HDP		
7	1	TAPA1	HDP		
6	1	RUEDA DERECHA FRONTAL			
5	1	RUEDA IZQUIERDA FRONTAL			
4	1	BATERIAS 80			
3	1	BATERIAS 88			
2	1	BATERIAS 112			
1	1	ESTRUCTURA			
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA					
METODO DE PROYECCION		KART ELECTRICO		ESCALA	
O-4-E		PARIONA PINO, GONZALO		FECHA:	
				2021.10.19	
				LAMINA:	
				AO	

COTA NOMINAL COTA MAXIMA COTA MINIMA

