



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE JAULA ANTIVUELCO PARA VEHÍCULOS DE
COMPETENCIA MODELO HYUNDAI I10, SEGÚN NORMAS DE
LA FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y
KARTISMO (FEDAK)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JAVIER ALEJANDRO ALENCASTRO BORJA

FREDDY SANTIAGO GUAMANCURI VALENCIA

Riobamba- Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE JAULA ANTIVUELCO PARA VEHÍCULOS DE
COMPETENCIA MODELO HYUNDAI I10, SEGÚN NORMAS DE
LA FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y
KARTISMO (FEDAK)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JAVIER ALEJANDRO ALENCASTRO BORJA

FREDDY SANTIAGO GUAMANCURI VALENCIA

DIRECTOR: ING. CRISTIAN DAVID REBRODAN DILLON

Riobamba- Ecuador

2023

© 2023, Javier Alejandro Alencastro Borja, Freddy Santiago Guamancuri Valencia

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Javier Alejandro Alencastro Borja y Freddy Santiago Guamancuri Valencia, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo de 2023



Javier Alejandro Alencastro Borja

080359742-6



Freddy Santiago Guamancuri Valencia

180528920-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE JAULA ANTIVUELCO PARA VEHÍCULOS DE COMPETENCIA MODELO HYUNDAI I10, SEGÚN NORMAS DE LA FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO (FEDAK)**, realizado por los señores: **JAVIER ALEJANDRO ALENCASTRO BORJA** y **FREDDY SANTIAGO GUAMANCURI VALENCIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

Ing. Milton Israel Quinga Morales
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA



FECHA

2023-05-30

Ing. Cristian David Redroban Dillon
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-30

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-30

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de integración curricular a toda mi familia, en especial a mi madre y a mi tía (Marianela), quienes han sido mi pilar y brindado todo su apoyo a lo largo de estos años. Quienes estuvieron para mí en los buenos y malos momentos, me enseñaron lo que es ser una buena persona, y me han encaminado a ser la persona que soy hoy. También quiero dedicar este trabajo a mis amigos y compañeros, quienes me han acompañado en este proceso académico y han estado conmigo en los buenos y malos momentos.

Javier

Este proyecto está dedicado a mis padres Maribel Valencia y Freddy Guamancuri quienes me brindaron la vida, me enseñaron a superar las adversidades, mis estudios y dieron todo el apoyo necesario a lo largo de este trayecto de mi vida, a mis hermanas quienes también fueron parte de este logro. A mi familia que en todo momento fueron soporte para llegar a este punto. A mi abuelita Luzmila Sánchez quien a lo largo de toda mi vida me ha dado todo el amor y las ganas de superarme cada día.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y especialmente a la Carrera de Ingeniería Automotriz, por todos los conocimientos que nos brindaron y por abrir sus puertas para poder prepararnos como profesionales. Un especial agradecimiento a nuestro director Ing. Cristian Redroban por guiarnos en este trabajo. También, queremos agradecer a nuestro asesor Ing. Edwin Pozo, que de igual manera nos brindó su guía y ayuda en varios temas. A todos los docentes y personal administrativo que fueron parte de nuestra formación académica y de quienes hemos recibido el mejor trato, apoyo y comprensión.

Javier y Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Definiciones	7
2.2.1. <i>Rally</i>	7
2.2.2. <i>Historia del Rally</i>	7
2.2.3. <i>Competencias de Rally</i>	9
2.2.4. <i>Hyundai i10</i>	11
2.2.4.1. <i>Primera Generación</i>	11
2.2.4.2. <i>Segunda Generación</i>	12
2.2.4.3. <i>Ficha técnica sobre dimensiones y seguridad</i>	13
2.2.5. FEDAK	14
2.2.6. FIA	15
2.2.7. Diseño mecánico asistido por computadora	15
2.2.7.1. <i>Diseño en el campo elástico</i>	16
2.2.7.2. <i>Diseño en el campo plástico</i>	18
2.2.7.3. <i>Factor de seguridad</i>	19

2.2.7.4.	<i>Diseño de bocetos</i>	20
2.2.7.5.	<i>Software de diseño</i>	20
2.2.7.6.	<i>Software de simulación</i>	20
2.2.7.7.	<i>Método de elementos finitos</i>	21
2.2.8.	<i>Jaulas antivuelco</i>	23
2.2.8.1.	<i>Historia de las Jaulas Antivuelco</i>	23
2.2.8.2.	<i>Tipos de Jaulas</i>	24
2.2.9.	<i>Diseño de jaulas antivuelco</i>	25
2.2.9.1.	<i>Componentes de las jaulas antivuelco</i>	26
2.2.9.2.	<i>Requisitos mínimos obligatorios y restricciones de diseño</i>	28
2.2.9.3.	<i>Tirantes y refuerzos opcionales</i>	37
2.2.10.	<i>Métodos de anclaje</i>	41
2.2.10.1.	<i>Anclajes soldados</i>	42
2.2.11.	<i>Análisis estático de cargas</i>	42
2.2.11.1.	<i>Carga vertical en el arco principal</i>	42
2.2.11.2.	<i>Carga lateral en el arco principal</i>	44
2.2.11.3.	<i>Cargas en el arco delantero</i>	45
2.2.12.	<i>Matriz QFD</i>	46
2.2.13.	<i>Materiales de construcción</i>	47
2.2.13.1.	<i>Selección del material</i>	48

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	55
3.1.	Tipos de investigación	55
3.1.1.	<i>Método analítico - sintético</i>	55
3.1.2.	<i>Enfoque</i>	55
3.1.3.	<i>Investigación aplicada</i>	55
3.1.4.	<i>Investigación experimental</i>	55
3.1.5.	<i>Tipos de investigación por la forma de obtención de datos</i>	56
3.1.6.	<i>Metodología de Diseño Asistido por Computadora</i>	56
3.1.7.	Técnicas	56
3.1.7.1.	<i>Revisión documental</i>	56
3.1.7.2.	<i>Observación directa</i>	56
3.1.7.3.	<i>Simulación</i>	57
3.1.8.	Etapas del Diseño Asistido por Computadora	57
3.1.8.1.	<i>Diseño manual de los bocetos</i>	57

3.1.8.2.	<i>Diseño virtual de los bocetos</i>	58
3.1.8.3.	<i>Inserción de datos en las herramientas del programa</i>	74
3.1.8.4.	<i>Determinación de las condiciones de carga estática</i>	75
3.1.8.5.	<i>Determinación de soportes</i>	77
3.1.8.6.	<i>Simulación de estructura estática</i>	77

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	88
4.1.	Medidas para la creación de las jaulas antivuelco	88
4.2.	Diseño de los bocetos	88
4.2.1.	<i>Elaboración de croquis</i>	88
4.2.2.	<i>Diseño final</i>	90
4.3.	Simulaciones	91
4.3.1.	<i>Resultados de la simulación 1</i>	96
4.3.2.	<i>Resultados de la simulación 2</i>	98
4.3.3.	<i>Resultados de la simulación 3</i>	99
4.4.	Selección de un modelo de Jaula	101
4.5.	Soldadura requerida	103
4.5.1.	<i>Soldadura SMAW</i>	103
4.5.2.	<i>Soldadura GMAW</i>	104
4.6.	Costos de construcción	105

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
5.1.	Conclusiones	107
5.2.	Recomendaciones	108

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación para jaula antivuelco entre acero y fibra de carbono	5
Tabla 2-2:	Categorías de rally en el Ecuador.....	10
Tabla 3-2:	Características de las categorías de rally T1 a T4	10
Tabla 4-2:	Dimensiones externas Hyundai i10.....	13
Tabla 5-2:	Especificaciones de seguridad del vehículo stock.....	14
Tabla 6-2:	Especificaciones de los tubos utilizados en las jaulas antivuelco	35
Tabla 7-2:	Componentes de los diseños 1 y 2 de jaula antivuelco.....	41
Tabla 8-2:	Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A500 Grado A, B y C.....	49
Tabla 9-2:	Búsquedas realizadas para la selección del material	51
Tabla 10-2:	Propiedades de los aceros AISI 1015, AISI 4012 y AISI 4130	53
Tabla 1-3:	Criterios de calidad de malla en las simulaciones	85
Tabla 1-4:	Medidas de bocetos.....	88
Tabla 2-4:	Resultados de las simulaciones	91
Tabla 3-4:	Matriz QFD para selección de jaula.....	102
Tabla 4-4:	Características de los electrodos de soldadura SMAW	104
Tabla 5-4:	Características electrodos de soldadura GMAW	105
Tabla 6-4:	Precios aproximados de construcción	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Carrera de carruajes sin caballo (Concours des Voitures sans Chevaux).....	7
Ilustración 2-2: Exhibición de vehículos de competencia.....	8
Ilustración 3-2: Vehículo de Rally cruzando dunas de arena en el Rally Dakar	9
Ilustración 4-2: Hyundai i10 primera generación	11
Ilustración 5-2: Hyundai i10 Segunda Generación	12
Ilustración 6-2: Medidas externas Hyundai i10	13
Ilustración 7-2: Logo Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK)	14
Ilustración 8-2: Logo Federación Internacional del Automóvil (FIA)	15
Ilustración 9-2: Diagrama esfuerzo-deformación idealizado y real para un material dúctil	16
Ilustración 10-2: Tensión-deformación: a) material dúctil, b) aceros al bajo carbono y aceros laminados en caliente	18
Ilustración 11-2: Tipos de elementos en el mallado MEF.....	22
Ilustración 12-2: Elementos a) lineales; y b) cuadráticos	23
Ilustración 13-2: Jaula antivuelco de 4 puntos	25
Ilustración 14-2: Elementos básicos de una jaula antivuelco	26
Ilustración 15-2: Elementos adicionales de una jaula antivuelco	28
Ilustración 16-2: Diseño base de la jaula antivuelco impuesto por la FEDAK.....	28
Ilustración 17-2: Disposiciones de la conexión del tirante diagonal de refuerzo.....	29
Ilustración 18-2: Requisito mínimo – Refuerzos del arco principal	30
Ilustración 19-2: Conexiones de los tirantes diagonales al arco principal	31
Ilustración 20-2: Requisito obligatorio - Refuerzos de los tirantes traseros	31
Ilustración 21-2: Requisito obligatorio - Refuerzos del techo.....	32
Ilustración 22-2: Disposiciones de los refuerzos del techo	32
Ilustración 23-2: Requisito obligatorio - Refuerzos laterales (puertas)	33
Ilustración 24-2: Requisito obligatorio - Refuerzos laterales (puertas)	33
Ilustración 25-2: Requisito obligatorio - Refuerzos del parabrisas	34
Ilustración 26-2: Requisito obligatorio – Refuerzos en las puertas	35
Ilustración 27-2: Escuadra / cartela.....	36
Ilustración 28-2: Dimensionamiento de una escuadra / cartela	36
Ilustración 29-2: Tirantes diagonales en los tirantes traseros	37
Ilustración 30-2: Disposiciones de los tirantes diagonales en los tirantes posteriores	38
Ilustración 31-2: Tirantes diagonales en los tirantes traseros	39
Ilustración 32-2: Tirante transversal en el arco delantero	39
Ilustración 33-2: Refuerzos de ángulos o uniones.....	40

Ilustración 34-2:	Otros tirantes y refuerzos	40
Ilustración 35-2:	Jaula antivuelco anclada por suelda	42
Ilustración 36-2:	Disposición de la carga vertical en el arco principal	44
Ilustración 37-2:	Disposición de la carga lateral en el arco principal	45
Ilustración 38-2:	Disposición de la carga en el arco delantero	46
Ilustración 39-2:	Ejemplo de estructura de matriz QFD.....	47
Ilustración 40-2:	Criterios de búsqueda disponibles en <i>MatWeb</i>	51
Ilustración 41-2:	Resultados de la segunda búsqueda en <i>MatWeb</i>	53
Ilustración 1-3:	Boceto de arco principal más tirantes, vista posterior y lateral, jaula 1 y 2 .	57
Ilustración 2-3:	Boceto de arco frontal, jaulas 1 y 2	58
Ilustración 3-3:	Configuración lateral jaula de seguridad, jaula 1	58
Ilustración 4-3:	Configuración posterior jaula de seguridad, jaula 1.....	59
Ilustración 5-3:	Configuración lateral jaula de seguridad, jaula 2.....	59
Ilustración 6-3:	Configuración posterior jaula de seguridad, jaula 2.....	59
Ilustración 7-3:	Creación de documentos en <i>SolidWorks</i>	60
Ilustración 8-3:	Selección del sistema de referencia	60
Ilustración 9-3:	Herramientas del software de diseño <i>SolidWorks</i>	61
Ilustración 10-3:	Croquis del Arco Principal (mitad).....	62
Ilustración 11-3:	Simetría de elementos y finalización del croquis del arco principal	62
Ilustración 12-3:	Líneas constructivas para el croquis del arco delantero	63
Ilustración 13-3:	Diseño de la mitad del arco delantero	63
Ilustración 14-3:	Comprobación del requisito de diseño 7.....	64
Ilustración 15-3:	Simetría de elementos y finalización del croquis del arco delantero.....	64
Ilustración 16-3:	Colocación de los tirantes longitudinales.....	65
Ilustración 17-3:	Dimensionamiento de los tirantes posteriores.....	65
Ilustración 18-3:	Simetría de los tirantes posteriores	66
Ilustración 19-3:	Dibujo del tirante diagonal de unión en disposición “A”	66
Ilustración 20-3:	Refuerzo en “X” (líneas verdes) en el arco principal	67
Ilustración 21-3:	Cartela / Escuadra de refuerzo obligatoria (línea verde)	67
Ilustración 22-3:	Tirantes de refuerzo en “X” para el techo, disposición A	68
Ilustración 23-3:	Tirantes de refuerzo para los laterales (puertas), disposición “A”.....	68
Ilustración 24-3:	Dimensión “A” del requisito 6 (Cota Azul).....	69
Ilustración 25-3:	Tirantes de refuerzo entre la esquina superior del parabrisas y la base del arco delantero (líneas verdes)	69
Ilustración 26-3:	Tirantes para refuerzo de ángulos o uniones (línea verde)	70
Ilustración 27-3:	Tirante transversal de refuerzo para el arco delantero (línea verde).....	70
Ilustración 28-3:	Tirantes de refuerzo en los tirantes posteriores (línea verde)	71

Ilustración 29-3:	Dibujo del tirante diagonal de unión en disposición “B”	72
Ilustración 30-3:	Tirantes de refuerzo en “X” para el techo, disposición B	72
Ilustración 31-3:	Tirantes de refuerzo en “X” para los laterales (puertas), disposición B	73
Ilustración 32-3:	Tirantes de refuerzo para los tirantes posteriores. Pies de anclaje.....	74
Ilustración 33-3:	Opciones del menú Piezas Soldadas usadas en el diseño de las jaulas	74
Ilustración 34-3:	Opciones del menú Operaciones usadas en el diseño de las jaulas	75
Ilustración 35-3:	Sello de acero 1: carga vertical en el arco principal	75
Ilustración 36-3:	Sello de acero 2: carga entre el arco delantero y el lado del conductor	76
Ilustración 37-3:	Sello de acero 3: carga horizontal en el arco principal	76
Ilustración 38-3:	Sellos de acero en la jaula antivuelco No. 1.....	77
Ilustración 39-3:	Sellos de acero en la jaula antivuelco No. 2.....	78
Ilustración 40-3:	Entorno de ANSYS Workbench	78
Ilustración 41-3:	Entorno del componente Engineering Data	79
Ilustración 42-3:	Importación del diseño de jaula antivuelco.....	80
Ilustración 43-3:	Particiones en la geometría importada de un software externo	81
Ilustración 44-3:	Opciones del componente Model.....	81
Ilustración 45-3:	Control de malla en las simulaciones.....	83
Ilustración 46-3:	Criterio de calidad de malla: <i>Element Quality</i>	84
Ilustración 47-3:	<i>Warping Factor</i> para a) elementos cuadriláteros y b) elementos hexaédricos.....	84
Ilustración 48-3:	Asignación de carga para la simulación 1	86
Ilustración 49-3:	Asignación de carga para la simulación 2.....	86
Ilustración 50-3:	Asignación de carga para la simulación 3.....	87
Ilustración 51-3:	Opciones escogidas de la carpeta <i>Solution</i>	87
Ilustración 1-4:	Croquis final de la jaula antivuelco No. 1	89
Ilustración 2-4:	Croquis final de la jaula antivuelco No. 2.....	89
Ilustración 3-4:	Perfiles tubulares en toda la estructura de la jaula 1	90
Ilustración 4-4:	Perfiles tubulares en toda la estructura de la jaula 2	90
Ilustración 5-4:	Gradiente de tensión en la simulación No. 1.....	92
Ilustración 6-4:	Gradiente de tensión en la simulación No. 2.....	93
Ilustración 7-4:	Gradiente de tensión en la simulación No. 3.....	93
Ilustración 8-4:	Singularidad en la simulación No. 1	94
Ilustración 9-4:	Singularidad en la simulación No. 2	94
Ilustración 10-4:	Singularidad en la simulación No. 3	95
Ilustración 11-4:	Barrido para comprobar la singularidad.....	96
Ilustración 12-4:	Resultados Tensión equivalente (Promedio) Simulación 1	97
Ilustración 13-4:	Resultados Factor de Seguridad Simulación 1	97

Ilustración 14-4:	Resultados Deformación Eje Y Simulación 1	97
Ilustración 15-4:	Resultados Tensión equivalente (Promedio) Simulación 2	98
Ilustración 16-4:	Resultados Factor de Seguridad Simulación 2	99
Ilustración 17-4:	Resultados de Deformación Eje Y Simulación 2	99
Ilustración 18-4:	Resultados Tensión Equivalente (Promedio) Simulación 3	100
Ilustración 19-4:	Resultados Factor de Seguridad Simulación 3	100
Ilustración 20-4:	Resultados Deformación Eje X Simulación 3	100

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VISTA ISOMÉTRICA HYUNDAI GRAND I10
- ANEXO B:** VISTA TRASERA HYUNDAI GRAND I10
- ANEXO C:** VISTA LATERAL HYUNDAI GRAND I10
- ANEXO C:** TOMA MEDIDAS ANCHO PISO
- ANEXO D:** TOMA MEDIDAS ANCHO TECHO
- ANEXO E:** TOMA MEDIDAS ALTURA PARA ARCO PRINCIPAL
- ANEXO F:** TOMA MEDIDAS ALTURA PARA ARCO PRINCIPAL
- ANEXO G:** TOMA MEDIDAS ALTURA GENERAL PARA ARCO PRINCIPAL
- ANEXO H:** TOMA MEDIDAS PARTE PARA TIRANTES TRASEROS
- ANEXO I:** TOMA MEDIDAS ANCHO DE CAJUELA
- ANEXO J:** TOMA MEDIDAS ÁNGULOS ENTRE LOS PARANTES Y EL TECHO
- ANEXO K:** TOMA MEDIDAS PARTE SUPERIOR ARCO DELANTERO
- ANEXO L:** TOMA MEDIDAS DISTANCIA ENTRE ARCO CENTRAL Y DELANTERO
- ANEXO M:** TOMA MEDIDAS ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE PUERTA PARA REFERENCIA
- ANEXO N:** TOMA MEDIDAS ÁNGULO INCLINACIÓN PARTE SUPERIOR ARCO DELANTERO
- ANEXO O:** TOMA MEDIDAS ANCHO PARTE SUPERIOR DELANTERA
- ANEXO P:** TOMA MEDIDAS ALTURA DESDE EL PISO AL PARABRISAS
- ANEXO Q:** TOMA MEDIDAS ANCHO PARTE MEDIA DELANTERA
- ANEXO R:** TOMA MEDIDAS ALTURA PARTE DELANTERA
- ANEXO S:** PLANOS DE LA JAULA SELECCIONADA, JAULA N°1

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar una jaula antivuelco para el modelo Hyundai I10 segunda generación, mediante la aplicación del diseño asistido por computadora y software de simulación, para garantizar seguridad y utilidad de esta en competencias deportivas tipo rally. Para ello, se tomaron las medidas internas del habitáculo del vehículo y se diseñó dos modelos de jaulas, con el *software SolidWorks*. Luego, se seleccionó el tipo de material (Acero ASTM A500 grado C y Acero AISI 4130), elaborando una matriz con la normativa establecida por la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK). A continuación, se identificaron las condiciones de carga y anclaje para cada una de las simulaciones con ambos modelos, aplicando fórmulas que se encuentran en los reglamentos de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA). Finalmente, se ejecutaron seis simulaciones por cada modelo de jaula, con el *software ANSYS*, para medir la deformación y la tensión. Cada simulación representó diversas ubicaciones de las cargas a que fuera sometido el vehículo en caso de accidente. Como resultado, las doce simulaciones con los dos modelos arrojaron un rango de deformación entre 5,15 mm. y 27,18 mm., que es un nivel inferior al establecido por la FIA (50 mm.); en cuanto a tensión, ambos diseños en sus respectivas simulaciones superaron el nivel de la resistencia a la tracción de ambos materiales, sin embargo, estos valores de tensión se originaron debido a singularidades en las simulaciones, y luego de corregir dicha singularidad mediante barridos, se obtuvo valores inferiores a los permitidos en función de los materiales. Se concluye que los dos modelos cumplen las normas de seguridad, sin embargo, el modelo 1, con material AISI 4130 brinda mayor seguridad. Se recomienda a futuros competidores, la fabricación de cualquiera de las dos jaulas, considerando el presupuesto más adecuado.

Palabras clave: <JAULA ANTIVUELCO> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <ANSYS (SOFTWARE)> <SIMULACIÓN> <DEFORMACIÓN> <TENSIÓN>.

1174-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This project aimed to design a roll cage for the second-generation Hyundai I10 model, utilizing computer-aided design and simulation software, to ensure safety and functionality in rally-type sporting competitions. To achieve this, the internal measurements of the vehicle's cabin were taken, and two roll cage models were designed using SolidWorks software. Subsequently, the type of material was selected (ASTM A500 grade C steel and AISI 4130 steel), and a matrix was created based on the regulations set by the Ecuadorian Federation of Motorsports and Karting (FEDAK). Next, the load and anchoring conditions were identified for each simulation with both models, applying formulas found in the regulations of the International Automobile Federation (FIA). Finally, six simulations were conducted for each roll cage model using ANSYS software to measure deformation and stress. Each simulation represented various load locations that the vehicle would experience in the event of an accident. As a result, the twelve simulations with the two models yielded a range of deformation between 5.15 mm and 27.18 mm, which is below the limit established by the FIA (50 mm). Regarding stress, both designs in their respective simulations exceeded the ultimate tensile strength of both materials. However, these stress values were caused by singularities in the simulations. After correcting these singularities through sweeping techniques, values lower than the allowable limits based on the materials were obtained. It is concluded that both models comply with safety standards; however, Model 1, constructed with AISI 4130 material, provides higher safety. It is recommended to consider fabricating either of the two roll cages, taking into account the most suitable budget to future competitors.

Keywords: <ROLL CAGE> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <ANSYS (SOFTWARE)>
<SIMULATION> <DEFORMATION> <STRESS>.



Lic. Patricia Moyota A. Mgs.

C. I.: 0603611013

INTRODUCCIÓN

En el mundo tuerca las competencias de rally, tienen gran aceptación ante el público, por lo que, en cada campeonato ingresan más competidores junto con sus máquinas en busca del triunfo. Pero, el problema es que se trata de un deporte caro, en el cual, los pilotos buscan patrocinios para costear su participación, gastos que implican la preparación mecánica del vehículo para que responda a la fuerte exigencia de una carrera, así como los equipos y preparaciones para brindar seguridad de sus ocupantes. Muchas veces, en busca de abaratar costos, ciertos participantes ponen la seguridad en un segundo plano, construyendo o adquiriendo los elementos de seguridad requeridos, sin la aplicación de las normas, lo que incide en accidentes que pueden terminar de manera trágica. Por esto, el diseño de la jaula antivuelco, constituye una solución técnica para la seguridad en estas competencias.

El presente documento, se encuentran cinco capítulos. En el primer capítulo, se desarrolla el problema, sus causas y consecuencias, la justificación del proyecto y los objetivos. En el segundo capítulo se encuentra la fundamentación teórica, a la luz de los autores que sustentan los distintos procesos de la investigación. En el tercer capítulo, se desarrolla la metodología, con los métodos, técnicas e instrumentos de la investigación en general, así como, con las fases que corresponden al diseño y simulación de dos modelos de jaulas antivuelco. En el cuarto capítulo, se encuentran los resultados de las simulaciones, con los datos relacionados con la normativa de la FIA, en cuanto a las mediciones de deformación y tensión. Finalmente, se determinan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El problema de la presente investigación se enmarca en el área de la mecánica, el diseño y de la seguridad, dentro de la línea de investigación del diseño mecánico-automotriz. El inconveniente central de este estudio es la existencia de una fabricación empírica de las jaulas antivuelco para para vehículos de competencia del modelo Hyundai I10, provocando que se construyan jaulas inseguras, que incrementan el nivel de riesgo en las competencias, que ocasionan accidentes tanto leves como fatales.

Otra de las causas, es que el reglamento de participación es muy general y no cuenta con la normativa particular sobre este modelo; lo que provoca incertidumbre en los participantes sobre las características de la jaula antivuelco.

Finalmente, existen bastos estudios sobre otros modelos, pero no hay profundización en este modelo en particular. Por ello, los talleres mecánicos realizan adaptaciones en cada modelo, que son insuficientes para el cumplimiento de todas las normas de seguridad.

La pregunta que esta investigación pretende resolver es: ¿De qué manera se puede garantizar la seguridad de los competidores en este tipo de vehículo, desde los conocimientos de la mecánica? Para responderla, este proyecto propone el diseño de dos modelos de jaulas antivuelco, para sus respectivas simulaciones.

1.2. Justificación

Este trabajo tiene pertinencia, puesto que aborda las áreas del conocimiento de la ingeniería automotriz, tales como: ingeniería asistida por computadora, especialmente lo relacionado con el modelado por software de piezas para el análisis estructural, así como métodos de elementos finitos para el estudio de comportamiento del material; resistencia de materiales, sobre los factores de seguridad para la construcción y la deformación admisible del conjunto de la jaula antivuelco; diseño de carrocerías, relacionado con los materiales de elaboración de la jaula. Además, se realizará un estudio de las normas de competiciones.

La importancia de este proyecto radica en que las competencias se renuevan constantemente, con la inserción de modelos que no fueron creados para este fin, pero que se están utilizando con mayor frecuencia. Por ello, es necesario mejorar la seguridad, de modo que la afición deportiva no genere consecuencias fatales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una jaula antivuelco para el modelo Hyundai I10 segunda generación, mediante la aplicación del diseño asistido por computadora y software de simulación, para garantizar seguridad y utilidad de esta en competencias deportivas tipo rally.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar las especificaciones técnicas y dimensiones que se requieren para la jaula antivuelco del Hyundai I10, a través de revisión bibliográfica e investigación de campo, para la obtención de datos reales.
- Seleccionar los tipos de materiales, mediante un software de simulación para el cumplimiento de las normas de seguridad de la jaula antivuelco.
- Aplicar el software de diseño para la generación de diferentes modelos de jaulas antivuelco del vehículo Hyundai I10, y, mediante la aplicación de una matriz QFD seleccionar el diseño más adecuado.
- Realizar una simulación del diseño de la jaula antivuelco, mediante el uso de software de ingeniería asistida por computadora, para el cumplimiento de requerimientos técnicos establecidos por la normativa.
- Analizar los procesos de manufactura y los costos que tendría la posible fabricación del diseño elegido de la jaula antivuelco.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Según (Guerrero, 2016, pp. 43-91) en su trabajo “Análisis, diseño, modificación e implementación de la estructura interna y externa de la carrocería para un vehículo de competencia en circuito”, se diseña y construye un roll bar para el vehículo Chevrolet Corsa, sobre la base del reglamento de la Federación Internacional del Automóvil (FIA) y las normas de la FEDAK. El método en este trabajo es el analítico, al momento de realizar el estudio, fabricación y discusión de resultados. También, se usa el método de modelado al momento de realizar las modificaciones e implementación de la jaula antivuelco al vehículo, el autor empleando como ayuda *software* de simulación para las pruebas de resistencia de cargas del roll bar, posteriormente se procedió a construirlo en su mayoría en acero al carbono para luego implementarlo en el vehículo propuesto. Se constató que el material propuesto resiste las cargas a las que fue sometido en las simulaciones y brinda un factor de seguridad aceptable, por lo que sería seguro en caso de ocurrir un accidente, en donde se vea comprometida la carrocería del vehículo.

Además, según (Ángeles, 2020, pp. 42-83) en la tesis titulada “ Análisis comparativo de la eficacia protectora de la jaula interna antivuelco en los formatos tubular y laminar para unidades vehiculares mineras tipo Pick-Up en el Perú mediante simulación computacional”, al ver la necesidad de reforzar la seguridad de los trabajadores del sector minero en el Perú al momento de transportarse en sus vehículos tipo *Pick-up* son propensos a sufrir volcamientos debido a la poca accesibilidad de los terrenos donde se realiza la actividad minera, en donde aplica una metodología Tecnológica-Cuantitativa, donde luego de diseñar y analizar las jaulas antivuelco en el tipo tubular y laminar usando *software* de simulación. Como conclusión, en este tipo de jaula tubular existen menos esfuerzos provocando que exista menor deformación a comparación de la jaula tipo laminar; pero, debido a la geometría circular de la jaula tipo tubular, da como resultado una desaceleración más tosca para los ocupantes. Por lo contrario, en la jaula tipo laminar se produce una deformación programada más armónica, que da a entender que si genera una mejora en la estructura del chasis y además que el factor de seguridad de ambas tiene valores aceptables, generando como recomendación que se realicen mejoras en las uniones soldadas y en las intersecciones de los diseños.

Los autores (Safiuddeen, et al., 2021, pp. 1-17) en su artículo realizan una evaluación del comportamiento de los materiales ePA-CFRPA (filamento de poliamida reforzada con fibra de

carbono) y acero estructural ASTM A36 cuando se utilizan en una jaula antivuelco durante siniestros de: vuelco, impacto lateral e impacto frontal. En primer lugar, diseñaron la jaula antivuelco en el *software SolidWorks* a partir de las dimensiones de un monocasco de un AUDI R8, luego, se procedió con el análisis de elementos finitos mediante los *softwares ANSYS Workbench* y *LS DYNA*, los cuales, a diferencia de las pruebas de choque prácticas (reales), proporcionan datos valiosos, como la magnitud de las fuerzas de impacto y la cantidad de transferencia de energía en la carrocería del vehículo que causa la deformación. Cabe recalcar que dichos análisis de choques se realizaron cuando el vehículo viaja a una velocidad de 80 km/h. De la realización de las pruebas ya mencionadas se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 1-2: Comparación para jaula antivuelco entre acero y fibra de carbono

Análisis	Resultados	Jaula antivuelco de Acero	Jaula antivuelco de fibra de carbono
Análisis de choque frontal	Fuerza de impacto (N)	84231.38	79881.57
	Esfuerzo máximo (MPa)	8.7941	6.8857
	Factor de seguridad	28.43	627.24
Análisis de choque lateral	Fuerza de impacto (N)	36,495	34,408
	Esfuerzo máximo (MPa)	12,794	553.89
	Factor de seguridad	0.019	7.791
Análisis de accidente por vuelco	Fuerza de impacto (N)	55389.71	52222.18
	Esfuerzo máximo (MPa)	1796	1292
	Factor de seguridad	0.13	3.34

Fuente: Safiuddeen, et al, 2021.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

De los resultados de las pruebas de choque que se muestran en la tabla 1-2, se observa que la fuerza de impacto en la jaula antivuelco compuesta de fibra de carbono es menor que la existente en la jaula de acero ASTM A36, esta diferencia en la fuerza de impacto crea una variación considerable en la tensión máxima experimentada por ambas jaulas antivuelco. Además, se observa que el valor máximo de tensión en la jaula de acero es mayor que el límite elástico del material, lo que provoca a que el factor de seguridad sea muy bajo (inferior a uno) en los análisis de choque lateral y de vuelco, lo cual es un indicativo de que esta jaula falla estructuralmente. Por

otro lado, la tensión máxima que experimenta la jaula antivuelco de fibra de carbono en los tres análisis de choque es menor que el límite elástico de la fibra de carbono, lo que hace posible que el factor de seguridad en esta jaula sea mayor a uno en los tres casos, por lo tanto, se concluye que la jaula antivuelco de fibra de carbono no sufre fallas estructurales, y asegura la integridad física de los ocupantes en los tres casos de choque.

(Ribadeneira Tovar & Tovar Jurado, 2015, pp. 28-45) en su proyecto de titulación implementa los sistemas de seguridad para competencias de *rally* en un vehículo *Volkswagen Gol* 2000cc siguiendo las normativas de la FEDAK. Uno de estos sistemas de seguridad normados por la FEDAK, es la jaula antivuelco o jaula de seguridad, misma que los autores diseñaron con el *software INVENTOR* para luego evaluar su integridad estructural en el *software ANSYS*, con el fin de que el diseño final cumpla con todas las características necesarias para su legalización y uso en competencias deportivas y pueda ser construido e implementado en el vehículo. En este proyecto, los autores primero croquizaron la estructura de la jaula en el *software INVENTOR*, luego exportaron el croquis al *software ANSYS* en donde se le asignó al croquis el perfil tubular normado por la FEDAK y el material (acero A560), después se asignaron las condiciones de carga y anclajes respectivas y con estos parámetros se evaluó el factor de seguridad de la estructura, la deformación de la jaula y los esfuerzos equivalentes (*Von-Misses*), obteniendo los siguientes resultados: 1,22; 1,424mm y 287,29 MPa respectivamente. Estos resultados fueron evaluados empleando una matriz QFD, de la se concluyó que la jaula era segura y se procedió con su construcción de la jaula.

(Torres López, 2019, pp. 2-32) en su trabajo de fin de grado diseña una estructura de seguridad para un vehículo *Volkswagen Polo III Classic* de 1996 siguiendo las normativas de la FIA para las especificaciones de diseño y ensayos estructurales, el autor empleó el *software SolidWorks* tanto para el diseño como para la simulación. Para el análisis estructural del diseño final, se escogió el acero 25CrMo4 como material de asignación para la estructura, ya que este cuenta con un alto límite elástico y un alto límite de rotura. En cuanto a los ensayos, se colocaron las restricciones de movilidad de los anclajes y se colocaron las cargas (fuerzas) correspondientes que dictan los ensayos de la FIA, luego se simuló la jaula haciendo un mallado con elementos de tipo *Shell* con el fin de que el *software* malle al elemento siguiendo la geometría de la jaula a lo largo de la superficie exterior de los tubos. De esta acción se obtuvo que el arco principal de la jaula experimentó una tensión máxima de 463 MPa, valor que supera al límite elástico del material, más no a su límite de rotura (700 MPa), produciendo una deformación plástica en el elemento que se encuentra dentro de los límites impuestos por la FIA, además se observó que la tensión en los demás elementos es menor a la tensión máxima, de modo que no existe riesgo de rotura en la jaula. En cuanto a los resultados de desplazamiento, estos no superan los 10mm, valor que está

muy por debajo que el valor de deformación permitido por la FIA. Concluyendo de esta forma que el diseño realizado es fiable y mantendrá su integridad estructural en caso de accidentes.

2.2. Definiciones

2.2.1. Rally

Conforme a la información de (Bayona, 2011, párr.1-4), se entiende como *Rally*, a la competencia de vehículos (ya sea automóviles, motos, camiones, etc.) en donde se toman en cuenta dos parámetros en especial, la velocidad y el tiempo, se realizan en distintos tramos llamados “etapas”, y son efectuadas sobre cualquier superficie como tierra, arena, lodo, asfalto, nieve, etc., sin importar las condiciones climáticas del lugar.

El *Rally* a nivel mundial se encuentra regido bajo el control de la FIA, además que sus competencias pueden llegar a ser organizadas desde pequeñas regionales, a nivel de país y continentales, entre los ejemplos más conocidos tenemos en Sudamérica el *Rally Dakar*, en Europa el *Rally Montecarlo*, entre otros repartidos por el resto del mundo.

2.2.2. Historia del Rally

Según información de (Bayona, 2011, párr. 6-18), la primera vez en usarse *Rally* como lo conocemos ahora fue en 1911 en la primera competencia de *Rally* de Montecarlo, aunque en realidad los inicios del *Rally* pueden haber sido el 22 de julio del año 1894 en París donde el periodista Pierre Giffart organizó las carreras de carruajes que no sean arrastradas por caballos llamado “*Concours des Voitures sans Chevaux*”.



Ilustración 1-2: Carrera de carruajes sin caballo (Concours des Voitures sans Chevaux)

Fuente: Gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France.

Pero, en junio de 1895 se realizaría por primera vez la competición cronometrada en toda la historia que comprendería las ciudades de París – Bordeaux – París, carrera que fue planificada con el fin de verificar la eficacia de los carruajes que no contaban con la tracción de caballos, en el que se realizó un trayecto estimado de mil doscientos kilómetros. Emile Levassor fue el primer piloto ganador en toda la historia de las competencias automovilísticas a bordo de un Panhard-et-Levassor. Unos meses después el conde Albert de Dion sería el encargado de fundar el primer club de automovilismo en toda la historia llamado *Automobile Club de Francia*.

En los siguientes años, más y más países en Europa, Sudamérica y África se unían a la fiebre del automovilismo realizando competencias de automóviles reuniendo a un gran número de participantes que seguían sumándose en cada competencia, en países como Alemania, Italia, Inglaterra, Argentina, Perú, etc., formaron clubs de automovilismo y organizándose de mejor manera para organizar los eventos en los cuales los pilotos competían y los días de descanso se organizaban exposiciones de los vehículos participantes.



Ilustración 2-2: Exhibición de vehículos de competencia

Fuente: Galán, M./ Motorgiga.com

El periodo, entre las dos Guerras Mundiales, retrasaron totalmente el avance de la humanidad en todo aspecto, el automovilismo no fue una excepción, aunque se realizaron carreras en época de guerra, no tuvieron la misma acogida ya que se desarrollaban de manera más clandestina. Pero finalizado el periodo de guerras se retomaron con fuerza las competencias a gran escala llegando a su mayor auge y evolucionando poco a poco hasta llegar a lo que conocemos ahora. En la actualidad el WRC (*World Rally Championship*) o el *Rally Dakar* son dos de las competencias más codiciadas entre los pilotos y las marcas de vehículos para mostrar sus vehículos.



Ilustración 3-2: Vehículo de Rally cruzando dunas de arena en el Rally Dakar

Fuente: Redbull.com.

2.2.3. *Competencias de Rally*

El *rally* según afirma (CNRM, 2022, párr. 2-14) es un deporte que se compone de prácticamente de dos competencias: *rally* de velocidad y *rally* de regularidad. En el *rally* de velocidad los vehículos compiten en de varias etapas, en las cuales se suman los tiempos en el que los competidores finalizan cada ruta, siendo el ganador el que menor tiempo haya sumado, en tanto que, en el *rally* de regularidad se evalúa la precisión con la que el piloto concluye la ruta o circuito, es decir que, el ganador de esta competencia será aquel que logre terminar el recorrido con el menor número de puntos de penalización (estos puntos dependen de los organizadores y suelen ser explicados a los pilotos antes del inicio de la competencia).

Una de las características del *rally* es dividir a los vehículos en categorías, independientemente del tipo de competencia de *rally* en la que participen. Estas categorías se encargan de agrupar a los vehículos en base a la capacidad volumétrica del motor que incorporan. Esta división en categorías se realiza con el fin de realizar competencias únicas para cada categoría, asegurando así una competencia justa. Autores como (Paspuel Pozo & Tonato Chicaiza, 2022, p. 29) dan a conocer que cada categoría de competición posee su propia reglamentación que indica todas las modificaciones permitidas en el motor, transmisión, suspensión, neumáticos, la carrocería, etc. La FEDAK y la CNR (Comisión Nacional de *Rally*) al ser los organismos que regulan y supervisan las competencias automovilísticas de *rally* en el Ecuador, imponen los reglamentos para cada categoría de vehículos, esta disposición se puede observar en la tabla 2-2.

333

Tabla 2-2: Categorías de rally en el Ecuador

CATEGORÍA	CONFORMIDAD
RC2E	Homologación Internacional FIA / Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
RC3	Homologación Internacional FIA
RC4	Homologación Internacional FIA
RC5	Homologación Internacional FIA
RC2N	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
T4	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
T3	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
T2	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
T1	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
TODO TERRENO	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
CAMIONETAS	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
UTV-A	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad
UTV-T	Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

En cuanto a los requisitos técnicos para las categorías, la FEDAK y la CNR en su Reglamento Nacional Técnico de *Rally 2022*, detalla que los vehículos de las categorías T1 a T4 deben tener las siguientes características:

Tabla 3-2: Características de las categorías de rally T1 a T4

Categoría	Cilindraje [cm ³]	Peso mínimo sin tripulación y tanque de combustible vacío [kg]	Capacidad máxima del tanque de combustible [litros]
T1	0 – 1250	800	50
T2	1251 – 1450	880	55
T3	1451 – 1650	990	60
T4	1651 – 2050	1100	70

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

De lo mostrado en las tablas 2-2 y 3-2 se concluye que el Hyundai i10 es un vehículo que pertenece a la categoría T1, por lo tanto, este vehículo únicamente podrá participar en las competencias de dicha categoría y su equipamiento de seguridad deberá basarse en lo estipulado en el Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad de la FEDAK y la CNR.

2.2.4. Hyundai i10

Según (AutoTALKZ, sf, párr. 1- 19), el Hyundai i10 es el auto más pequeño que nos ofrece la marca surcoreana, consta de cinco puertas con carrocería tipo *hatchback*, que cuenta con tracción delantera perteneciente a la clase A. Este modelo llegó al mercado a partir del 2007, para reemplazar a su similar Hyundai Atos, cuya producción está a cargo de la fábrica de Hyundai Motor India, actualmente comparte plataforma con el Kia Picanto. Además, tiene una homologación para llevar cinco pasajeros.

2.2.4.1. Primera Generación

En su primera generación que va entre los años 2007 hasta el 2014, contaba con dos motorizaciones a gasolina, una con un motor de 1.1 litros con 67 CV y el de 1.2 litros con 75 CV, también, contaba con una motorización diésel de 1.2 litros con 75 CV. Esta generación ofrecía dos tipos de cajas de cambios, una que era la manual de cinco marchas y la automática de cuatro marchas. Sus dimensiones eran de: 3565mm de longitud, 1595 mm de ancho con un peso de 860 kg. Este vehículo se abrió rápidamente las puertas en el mercado debido a su precio accesible, su diseño sobrio y su rendimiento aceptable, además que, al tener cinco plazas de ocupantes, era una mejor opción a tener en cuenta a comparación de sus competidores que solo contaban con cuatro plazas como el Citroën C2 o el Renault Twingo.



Ilustración 4-2: Hyundai i10 primera generación

Fuente: Cochescadencia.com

2.2.4.2. Segunda Generación

Entre los años de 2011 al 2013 Hyundai se plantea el rediseño de su estética, que, con varios pequeños cambios, como el cambio en el diseño de la parrilla, las luces o interiores, dándole un toque más fresco y llamativo al público.

A finales del 2013 se presenta la segunda generación del i10, el cual sería presentado como Grand i10, el cual contaba con dos motorizaciones a gasolina, un motor tres cilindros de 1.0 litros y otro de 1.2 litros cuatro cilindros, los cuales al igual que en su generación anterior contaban con la opción de escoger entre caja manual o automática. Tiene una capacidad de tanque de combustible de 37 L.



Ilustración 5-2: Hyundai i10 Segunda Generación

Fuente: Hyundai.com.ec

2.2.4.3. Ficha técnica sobre dimensiones y seguridad

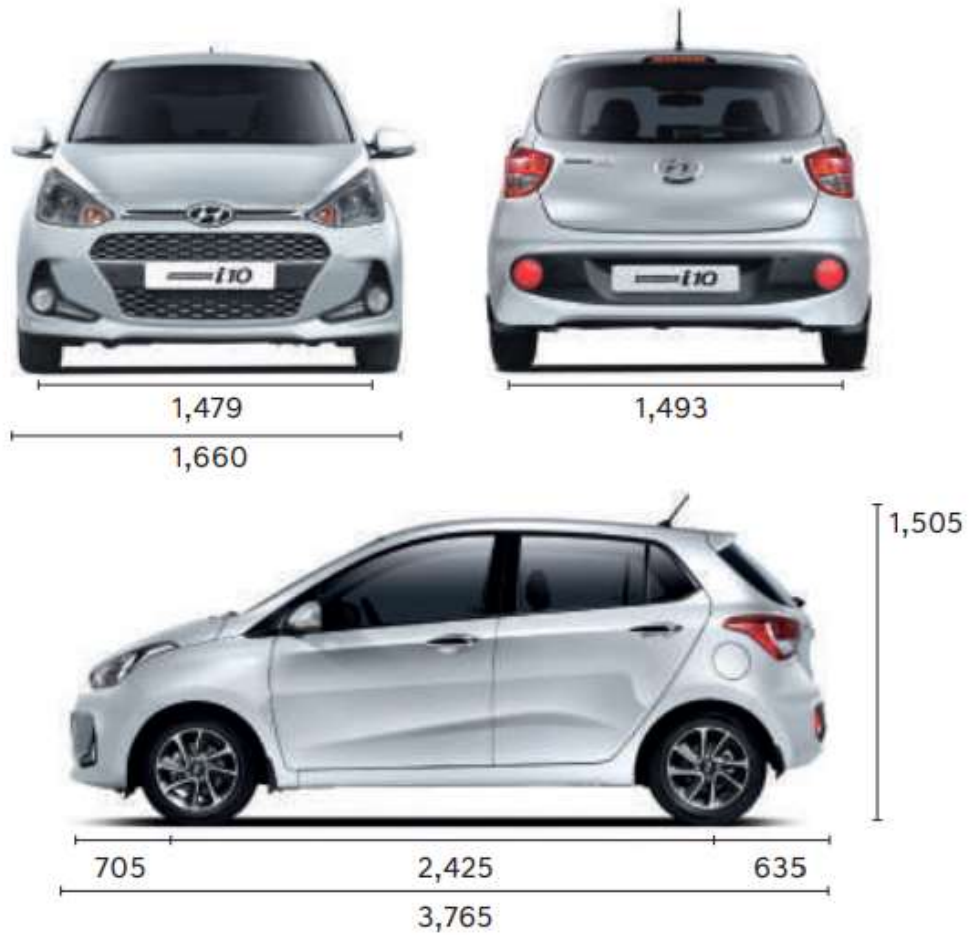


Ilustración 6-2: Medidas externas Hyundai i10

Fuente: Hyundai.com.ec.

Tabla 4-2: Dimensiones externas Hyundai i10

Dimensiones	STD	L	GL	GLS
Largo (mm)		3.765		
Ancho (mm)/*Con espejos		1.479/ * 1.660		
Alto (mm)		1.505		
Distancia entre ejes (mm)		2.425		

Fuente: Hyundai.com.ec.

Realizado por: Alencastro, J y Guamancuri, F., 2022.

Tabla 5-2: Especificaciones de seguridad del vehículo stock

SEGURIDAD	STD	L	GL	GLS
Airbag conductor y pasajero	✓	✓	✓	✓
Sistema de distribución de fuerza del freno (EBD)	✓	✓	✓	✓
Control de estabilidad electrónico (ESP)	✓	✓	✓	✓
Sistema de antibloqueo de frenos (ABS)	✓	✓	✓	✓
Asistente de arranque en pendiente (HAC)	✓	✓	✓	✓
Cinturón de seguridad delantero de 3 puntos	✓	✓	✓	✓
Cámara de reversa	—	—	—	✓

Fuente: Hyundai.com.ec.

Realizado por: Alencastro, J y Guamancuri, F., 2022.

2.2.5. FEDAK

La FEDAK (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo) es una agrupación deportiva autónoma, con derecho privado, que no cuenta con ningún fin de lucro, libre de cualquier tendencia ya sea religiosa, política o racional, la cual está acogida a las leyes, reglamentos y estatutos del Estado ecuatoriano, además que a sus propios reglamentos y estatutos. Es la encargada de organizar a nivel de todo el país las competencias automovilísticas y de *karting* en todas sus categorías, con el fin de apoyar a la formación de pilotos para que representen a Ecuador en competencias a nivel internacional. (FEDAK, 2021, párr.1).



Ilustración 7-2: Logo Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK)

Fuente: Fedak.com.ec.

2.2.6. FIA

La FIA (Federación Internacional del Automóvil) es una organización fundada en 1904 con el fin de lograr una gestión y una seguridad coherentes para el automovilismo deportivo. A lo largo de los años la FIA se convirtió en una organización mundial que promueve el automovilismo deportivo, así como la movilidad segura, sostenible y accesible para todos los competidores de las competencias automovilísticas del mundo. En sí, la FIA se encarga de ejercer el papel de árbitro mundial de los deportes del motor, abarcando tanto el suministro de conocimientos normativos como un sistema judicial deportivo imparcial (Federation Internationale de l'Automobile, 2015, párr. 1-5).



Ilustración 8-2: Logo Federación Internacional del Automóvil (FIA)

Fuente: Federation Internationale de l'Automobile, 2015

2.2.7. Diseño mecánico asistido por computadora

El diseño mecánico es el proceso mediante el cual se diseñan elementos y sistemas de naturaleza mecánica (elementos de máquina, estructuras tubulares, etc.). Este proceso inicia con la identificación de una necesidad y la decisión de resolverla, la resolución de dicha necesidad empieza con la identificación de todas las restricciones, especificaciones y características del objeto que va a diseñarse, estas especificaciones deben ser un indicativo del costo y consideraciones de manufactura que tendrá el producto final. Cabe recalcar que, existen ciertas funciones, especificaciones y consideraciones de diseño que deben realizarse mediante códigos y normas, debido a la economía local, la seguridad y por consideraciones de responsabilidad legal del producto (Budynas & Nisbett, 2012, pp. 5-6).

Cuando se concluye la identificación de las especificaciones, prosiguen los procesos de síntesis, análisis y optimización; la síntesis consiste en la elaboración de un diseño conceptual que cumpla con todas las especificaciones previas; luego se tiene el análisis y la optimización del diseño, para este proceso se deben desarrollar modelos matemáticos que describan lo mejor posible al sistema (estructura o elemento) real, luego se aplican dichos modelos y en base a los resultados de esta aplicación se optimiza o no el diseño, estos procesos se repiten varias veces, hasta obtener un

resultado satisfactorio. Anteriormente este proceso se tenía que realizar de forma manual, lo cual lo hacía un proceso largo y tedioso que acarreaba errores, hoy en día, se emplean herramientas y recursos computacionales (*softwares*) que realizan todo el procedimiento ya detallado de forma rápida y eficiente (Budynas & Nisbett, 2012, pp. 6-8).

En sí, el diseño mecánico se enfoca en garantizar que el producto que se esté diseñando (un componente mecánico, por ejemplo) sea viable, es decir, que sea capaz de soportar grandes esfuerzos y que tenga un factor de seguridad óptimo. Por tal razón, el enfoque de diseño (elástico o plástico) es vital para determinar qué características estructurales tendrá el diseño final.

2.2.7.1. Diseño en el campo elástico

Se habla de diseño en el campo elástico, cuando una estructura se diseña a partir del cálculo de las cargas de trabajo o servicio a las que estará sometida dicho elemento, en otras palabras, se diseñan elementos en base a los esfuerzos permisibles que puede soportar un material, es decir, los esfuerzos que se encuentran en la región elástica del diagrama esfuerzo-deformación (ilustración 9-2). Este tipo de diseño también puede denominarse diseño por esfuerzos permisibles o diseño por esfuerzos de trabajo (Flores Córdova, 2023, párr. 1).

Los autores (Budynas & Nisbett, 2012, p. 144) mencionan que la elasticidad es la propiedad que poseen los materiales que les permiten regresar a su estado original después de haber sido deformado. Para que dicha deformación exista se debe aplicar una fuerza, tensión o esfuerzo, cuya magnitud determinara el grado de deformación de una estructura o material. 3

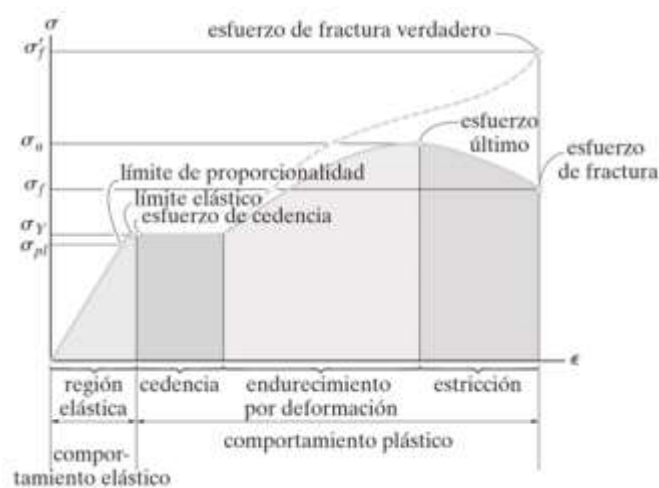


Ilustración 9-2: Diagrama esfuerzo-deformación idealizado y real para un material dúctil

Fuente: Hibbeler, 2011.

Las regiones de este diagrama se explican a continuación:

- *Región elástica / comportamiento elástico:* en esta región la curva es prácticamente una línea recta en la mayor parte de la región, de tal forma que, el esfuerzo es proporcional a la deformación. El límite superior del esfuerzo para esta región se denomina *límite de proporcionalidad*, σ_{pl} . Cuando el esfuerzo excede el límite de proporcionalidad, la curva tiende a doblarse y aplanarse como se muestra en la figura, este fenómeno continúa hasta que el esfuerzo alcanza su límite elástico. Si el esfuerzo es retirado en este punto el material podrá recuperar su forma original (Hibbeler, 2011, p. 84).
- *Cedencia / Fluencia:* (Hibbeler, 2011, p. 84) menciona que cuando existe un ligero aumento en el esfuerzo por encima del límite elástico se producirá un rompimiento del material y ocasionará que éste se deforme de manera permanente (deformación plástica). El esfuerzo que causa la cedencia se llama esfuerzo de cedencia o punto de cedencia o fluencia, σ_Y .

En el caso de los aceros al bajo carbono o aceros laminados en caliente, el punto de fluencia o cedencia suele conformarse dos valores: primero se encuentra un punto de fluencia superior, desde el cual se produce una disminución súbita del esfuerzo hasta alcanzar el punto de fluencia inferior (ilustración 10-2b). Cabe recalcar que, después de haber alcanzado el punto de fluencia, el material seguirá deformándose sin ningún incremento en el esfuerzo, a este estado se le suele denominar perfectamente plástico.

- *Endurecimiento por deformación:* en esta región, el autor (Hibbeler, 2011, p. 85) afirma que, una vez concluida la fluencia, el material es capaz de soportar un aumento del esfuerzo aplicado, lo que provoca una curva ascendente pero que se vuelve más plana hasta llegar a un esfuerzo máximo conocido como esfuerzo último, σ_u .
- *Estricción:* en este caso se produce una reducción uniforme de la sección transversal de la probeta del material debido al alargamiento producido en la sección de endurecimiento por deformación, sin embargo, luego de pasar el esfuerzo último, esta reducción de sección se enfoca en una única región de la probeta, provocando que el diagrama esfuerzo-deformación se curve hacia abajo hasta que la probeta se rompa en el esfuerzo de fractura, σ_f .

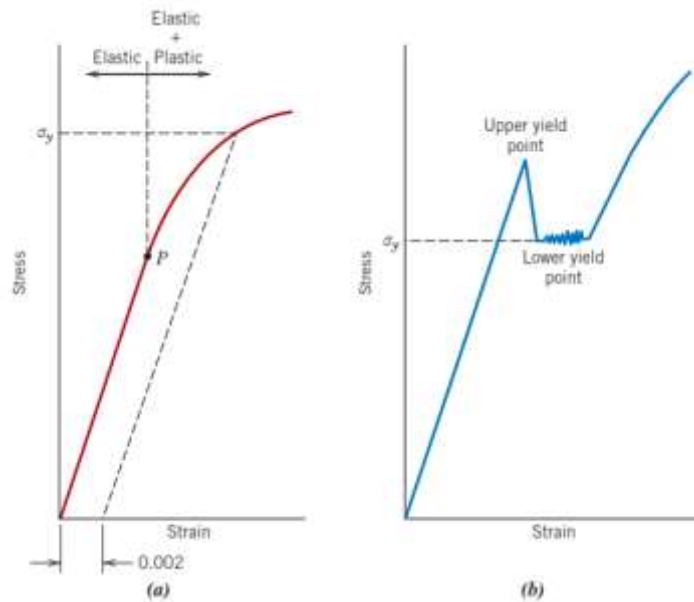


Ilustración 10-2: Tensión-deformación: a) material dúctil, b) aceros al bajo carbono y aceros laminados en caliente

Fuente: Callister & Rethwisch, 2017.

2.2.7.2. Diseño en el campo plástico

En este tipo de diseño, primero se calculan las cargas de trabajo a las que se someterá una determinada estructura, luego se las multiplican por ciertos factores de carga o de sobrecapacidad, y, en base a estos resultados, se diseñan los elementos estructurales se diseñan, en otras palabras, las estructuras se diseñan a partir de sus resistencias al colapso. Este tipo de diseño tiene lugar ya que se ha observado que la ductilidad en los aceros proporciona una reserva de resistencia, siendo este fenómeno es la base del diseño plástico (Flores Córdova, 2023, párr. 2). En otras palabras, en el diseño plástico se aprovecha la resistencia del material más allá de su punto de fluencia (ver ilustración 9-2) mediante la definición el esfuerzo permisible en función del esfuerzo de falla.

La plasticidad, según (Aristizábal Castrillón y Manrique Torres, 2017, p. 10) se define como la capacidad de un material de alcanzar deformaciones permanentes sin romperse. Para que este estado tenga lugar, se deben aplicar valores de esfuerzos que se encuentren dentro de la zona plástica. Las deformaciones permanentes también se llaman deformaciones plásticas.

2.2.7.3. Factor de seguridad

La carga máxima que soporta un elemento de máquina en condiciones normales de uso es más pequeña que la carga última del material. Esta carga más pequeña se denomina carga permisible, carga de diseño o carga de trabajo, y es la que se usa comúnmente para diseñar elementos estructurales (diseño elástico), puesto que sólo una parte de la capacidad última de carga del elemento se utiliza cuando se aplica la carga permisible. Esto hace posible que la capacidad de carga sin emplear del elemento se reserve para asegurar su desempeño seguro y que no existan roturas (Beer, et al, 2020, p. 29).

El factor de seguridad describe la relación entre la carga permisible y la carga última, explicada anteriormente, de esta forma, el factor de seguridad (F.S.) se describe como la razón entre la carga última y la carga permisible, este factor también puede definirse como la razón entre el esfuerzo último y el esfuerzo permisible, tal y como se observa en la siguiente ecuación:

$$F.S. = \frac{\text{carga última}}{\text{carga permisible}} \quad \text{ó} \quad F.S. = \frac{\text{esfuerzo último}}{\text{esfuerzo permisible}}$$

Sin importar que ecuación se emplee, el factor de seguridad debe ser mayor que 1 si se desea evitar una posible falla, esta consideración es general, sin embargo, esta consideración puede cambiar en función de los materiales empleados y el propósito del elemento. Por ejemplo, el F.S. que se considera óptimo para componentes de aviones o vehículos espaciales está cerca de 1 con el fin de reducir el peso del vehículo o componente, por otro lado, esta consideración cambia al hablar de los elementos de una planta de energía nuclear, en la cual, el factor de seguridad puede ser de hasta 3 debido a las incertidumbres en la carga o el comportamiento del material (Hibbeler, 2011, p. 47).

En sí, la selección adecuada del factor de seguridad es vital para diseñar correctamente una estructura o elemento, por ejemplo, si se selecciona un F.S. demasiado grande, el elemento final puede estar sobre diseñado, es decir que se emplea demasiado material o que el mismo posee una resistencia mucho mayor a la necesaria, lo cual repercutirá en el costo final. Caso contrario, si se escoge un F.S. demasiado bajo, la estructura tendrá un alto riesgo de falla. Generalmente los valores de F.S. están comprendidos entre 1, 2 y 4, siendo 2 un promedio que la mayoría de los diseñadores consideran aceptable (Callister & Rethwisch, 2017, p. 174).

2.2.7.4. *Diseño de bocetos*

Los *softwares* de diseño son un gran aliado al momento de elaborar y evaluar un diseño, puesto que permiten un entorno con una visualización amigable y ofrecen varias herramientas que agilitan el proceso de diseño, no obstante, para empezar a utilizar un *software* de diseño se debe tener una concepción previa de lo que se quiere realizar, es ahí donde entra el diseño de bocetos. La información proporcionada por (Hurtado Abril, 2019, párr. 17) explica que el diseño de bocetos se refiere al proceso de realizar los primeros trazos en papel con la finalidad de tener una preconcepción del diseño a realizar y para definir las características principales y aspecto general del mismo. Por otro lado, (G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2019, p. 254) en su catálogo, afirma que en el diseño de bocetos se suelen realizar varios bocetos o borradores de un diseño, mismos que cuentan con todas las indicaciones necesarias para elaborar el producto final; estas indicaciones pueden incluir: los materiales, el tratamiento superficial, las dimensiones, las tolerancias, tipo de perfil / tubo a emplear, restricciones del diseño, ángulos, puntos anclaje, consideraciones especiales, estética, etc.

2.2.7.5. *Software de diseño*

Fuentes como (Siemens Digital Industries Software, 2022, párr. 1-3) aseguran que un *software* de diseño es aquel programa que nos permite crear, modificar, analizar e incluso documentar representaciones gráficas de un determinado elemento, ya sea de forma bidimensional o tridimensional (2D o 3D). Estos *softwares*, también se conocen como *softwares* CAD (*Computer-Aided Design* / Diseño Asistido por Computadora) y, a más de las funciones, el autor menciona que este tipo de software posee las siguientes ventajas:

- Permite acelerar y mejorar el proceso de diseño a través de una mejor visualización de los subensambles, de las piezas y del producto final mediante un entorno amigable.
- Posibilita la obtención de documentación más sólida, sencilla y detallada del diseño, la cual incluye: geometrías, dimensiones y listas de materiales.
- Hace posible una disminución considerable de los errores humanos cometidos en el diseño tradicional.

2.2.7.6. *Software de simulación*

(Mathworks, 2022, párr. 1-2) asegura que un *software* de simulación es aquel que permite predecir el comportamiento de un sistema mediante la aplicación de un modelo matemático. En sí, este tipo de programas calcula el comportamiento del sistema en base a condiciones que cambian con el tiempo o a medida que se producen eventos, de tal forma que, este tipo de *software* hace posible

la evaluación de diseños, el diagnóstico de problemas de un diseño preexistente y analizar un sistema en condiciones que son difíciles de reproducir. Además, (Mathworks, 2022, párr. 1-2) da a conocer que un *software* de simulación también incluye herramientas de visualización como: *data displays*, animación 3D, etc. para valorar de mejor manera la simulación a medida que se ejecuta.

La importancia de un *software* de simulación radica en que estos programas posibilitan la evaluación de diseños y elementos en condiciones difíciles de producir o que representan una gran inversión monetaria, razón por la cual, este tipo de *software* es ampliamente usado en ingeniería, puesto que en esta profesión se necesita validar constantemente un gran número de diseños, modelos, piezas, etc. Un claro ejemplo de esto es el sector automotriz, en donde realizar las pruebas de seguridad directamente en los vehículos representa una gran cantidad de dinero, por lo cual se emplean programas de simulación que describen el comportamiento que tendrá el vehículo en distintas situaciones, garantizando la veracidad de resultados y reduciendo enormemente los costos.

2.2.7.7. Método de elementos finitos

El método de elementos finitos (MEF), es una técnica ayudada por computadora para obtener soluciones numéricas aproximadas de ecuaciones que predicen la respuesta de sistemas físicos sujetos a influencias externas. Antes de aplicar el MEF se debe discretizar el modelo sujeto a análisis, esta discretización consiste en dividir el cuerpo en un sistema equivalente de cuerpos o unidades más pequeñas (elementos finitos) interconectadas en puntos que sean comunes para dos o más elementos (puntos nodales o nodos) y/o líneas de contorno y/o superficies. El método de elementos finitos, en lugar de resolver el problema de todo el cuerpo en una sola operación, formula las ecuaciones para cada elemento finito y las combina para obtener una solución final de todo el cuerpo. El MEF generalmente se aplica para la solución de problemas estructurales (como las jaulas antivuelco), casos en los que se calculan los desplazamientos en cada nodo y las tensiones dentro de cada elemento que conforman la estructura, esto cuando la estructura está sujeta a diferentes condiciones de cargas (Logan, 2007, p. 1).

En el MEF, los nodos son elementos de gran importancia ya que al ser una coordenada en el espacio en donde se considera que existen grados de libertad (desplazamientos, potenciales, temperaturas, etc.) y acciones (fuerzas, corrientes, fluidos, etc.) de un sistema físico, es posible aplicar sobre estos elementos, restricciones de diferentes tipos y obtener resultados que describan únicamente el comportamiento de dicho elemento. Cabe recalcar que, en elementos estructurales, como es el caso de la jaula antivuelco, los nodos pueden ser rígidos (uniones o juntas soldadas) o articulados (juntas mediante pasadores).

Otra de las partes esenciales del MEF, es el mallado, el cual se define como la red de celdas o elementos y nodos que “discretizan” una región. Entre más elementos se coloquen dentro de una determinada región (malla) esta incrementara su densidad, los *softwares* CAD y CAE (*Computer-Aided Engineering* / Ingeniería Asistida por Computadora) generan esta malla de forma automática (malla no estructurada), sin embargo, esta se puede modificar o “refinar” manualmente con el fin de obtener mejores resultados (malla estructurada). Por lo general, los resultados del MEF mejoran cuando la densidad de malla es incrementada en áreas de interés como zonas en donde existen grandes esfuerzos (Budynas & Nisbett, 2012, p. 927).

Cabe recalcar que, la calidad de malla no depende únicamente de la cantidad de elementos finitos o celdas que posee, ya que, las características y resultados que brinde dicha malla estarán estrechamente relacionados con el tipo de elemento del cual se constituya la malla, de tal forma que, para mallas tipo 2D se aceptan celdas cuadriláteras y triangulares, en tanto que, para mallas 3D, se pueden utilizar celdas hexaédricas, tetraédricas, piramidales, en cuña y poliédricas (ANSYS, Inc, 2009, párr. 2). En el caso de las mallas estructuradas, las celdas se constituyen de elementos cuadriláteros en análisis 2D, y elementos hexaédricos en análisis 3D (ANSYS, Inc, 2009, párr. 2) (ilustración 11-2), puesto que estos tipos de elementos poseen un mayor número de nodos, lo que, a más de aumentar la calidad de la malla, genera resultados más precisos en la mayoría de los casos, por otro lado, en las mallas no estructuradas, se suelen emplear celdas del tipo triangulo en análisis 2D y celdas tetraédricas en análisis 3D. Este tipo de mallado se caracteriza por su fácil creación, sin embargo, genera un costo computacional mayor en comparación con las mallas estructuradas (García-Cuevas, et al., 2020, pp. 8-9).

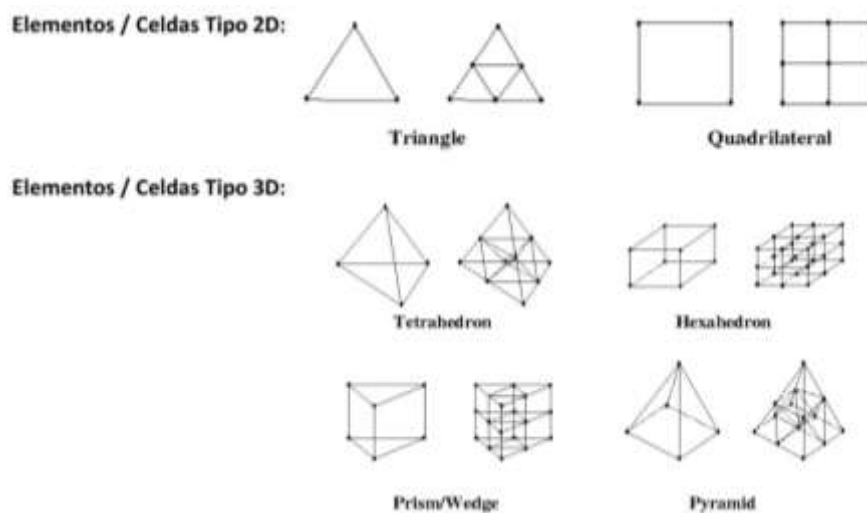


Ilustración 11-2: Tipos de elementos en el mallado MEF

Fuente: ANSYS, Inc., 2009

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Cabe recalcar que, estos elementos pueden ser del tipo lineal o cuadrático, los elementos del tipo lineal se caracterizan por la falta de nodos intermedios en el elemento (ilustración 12-2), caso contrario a los elementos cuadráticos, los cuales si poseen estos nodos intermedios. Como norma general, se recomienda evitar usar elementos triangulares lineales en mallados 2D y elementos de cuña o tetraédricos del tipo lineal en mallados 3D en regiones de gradiente de resultados altos u otras regiones de especial interés (ANSYS, Inc, 2010, pp. 6-7).

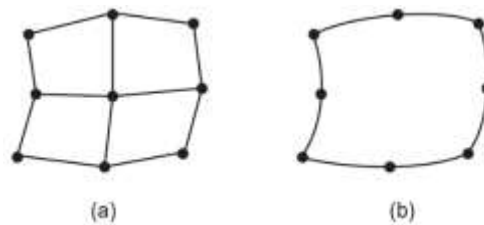


Ilustración 12-2: Elementos a) lineales; y b) cuadráticos

Fuente: ANSYS, Inc., 2010

2.2.8. Jaulas antivuelco

Una jaula antivuelco, también conocida como estructura de seguridad o jaula de seguridad, es una estructura multitubular o marco diseñado especialmente para ser implementado en el interior de un vehículo, en específico en el compartimiento de pasajeros (habitáculo) cerca de la carrocería, afirman (Safiuddeen, et al., 2021, p. 1), por otro lado, organizaciones como (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 8) detallan que la finalidad de este tipo de estructura es evitar en la medida de lo posible una deformación importante en la carrocería o chasis del automóvil, para así proteger a los ocupantes del vehículo de cualquier tipo de lesión o muerte en casos de accidentes, especialmente en casos de volcaduras (de ahí el nombre de jaula antivuelco).

Las jaulas antivuelco generalmente se construyen en el interior del automóvil, sin embargo, también pueden construirse alrededor del compartimiento de pasajeros, en cuyo caso toma el nombre de jaula Exo. Este elemento de seguridad comúnmente se construye e implementa en vehículos de competencias deportivas de alta velocidad con el fin de salvaguardar la vida e integridad física del piloto y copiloto en caso de accidentes.

2.2.8.1. Historia de las Jaulas Antivuelco

Conforme a la información provista por (Panting, 2017, párr. 2-6), las primeras jaulas antivuelco tienen su origen en la década de 1920. En esta década, las muertes por volcamiento de tractores eran comunes en el sector de la agricultura, sin embargo, los avances tecnológicos de los años

subsiguientes hicieron que los tractores fueran mucho más potentes, provocando que el número de muertes ocasionadas por el volcamiento de los vehículos agrícolas incrementara hasta el punto de que, para el año de 1950, este tipo de muerte representara aproximadamente el 60% de las muertes en el sector agrícola. Estos acontecimientos alcanzaron su punto máximo en el año de 1959, año en el cual, finalmente se decretó en Suecia que todos los tractores fabricados en el país desde ese año deberían estar equipados con una jaula interior. La implementación de esta jaula interior en los tractores produjo resultados muy buenos, a tal punto que, en pocos años, las muertes por volcamiento de tractores se redujeron aproximadamente en un 70%. Al observar este éxito, pronto varios países adoptaron este modelo.

Al observar el éxito de las jaulas en vehículos agrícolas, se pensó en implementar este elemento en las competencias automovilísticas, sin embargo, al principio esta idea fue rechazada puesto que se tenía la concepción de que las jaulas añadirían peso al vehículo y por lo tanto este disminuiría su rendimiento. No obstante, entre los años 1959 y 1970, varios pilotos murieron a causa de volcaduras de vehículos, esto provocó que se reconsiderara la concepción negativa de las jaulas antivuelco en las competencias automovilísticas, hasta el punto de que, en 1971 la FIA decidió hacer obligatorias las jaulas antivuelco en todos los vehículos de carreras.

Luego de que la FIA reglamentara oficialmente el uso de las jaulas antivuelco en vehículos de competencia, se han realizado varios estudios para determinar cuál es el mejor material de construcción que ofrezca un aceptable nivel de seguridad y poco peso, a más de esto, la FIA constantemente ha actualizado sus reglamentos sobre las jaulas antivuelco, detallando en cada uno el diseño y los elementos de estas jaulas.

2.2.8.2. Tipos de Jaulas

La información expuesta por (180sx Club, 2021, párr. 10-14) detalla que las jaulas antivuelco se pueden clasificar en base al número de puntos de anclaje o fijación (independientemente de si son soldadas o empernadas) que poseen. A continuación, se da una breve descripción de cada tipo de jaula antivuelco:

- *Jaula antivuelco de 4 puntos:* situada detrás del asiento del conductor (ilustración 13 - 2). Se compone de un arco principal que puede incorporar o no una cruceta de refuerzo (dos tirantes diagonales) y 2 tirantes posteriores que sirven de puntos de anclaje extra. Como su nombre indica, su fijación en el chasis se da a través de 4 puntos de anclaje.

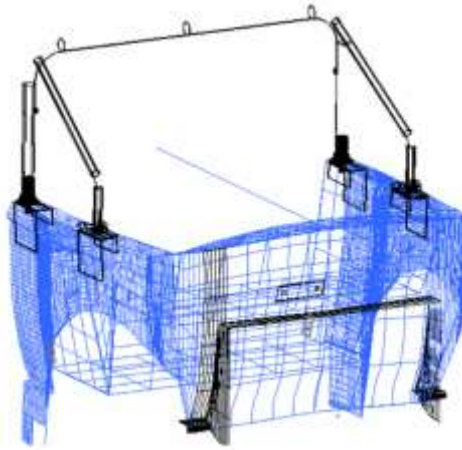


Ilustración 13-2: Jaula antivuelco de 4 puntos

Fuente: García de la Figal, 2005.

- *Jaula antivuelco de 5 puntos:* composición similar a la jaula de 4 puntos y se ubica únicamente detrás del asiento del piloto. En esta jaula se añade un tirante diagonal adicional que une a los tirantes posteriores para mejorar la estabilidad.
- *Jaula antivuelco de 6 puntos:* este tipo de jaula se diseña con el fin de extender sus elementos sobre los asientos para así ofrecer una mejor protección contra vuelcos en comparación con una jaula de 4 o 5 puntos. Es decir, es una jaula completa que cubre todo el interior del vehículo.
- *Jaula antivuelco de 7 puntos:* no difiere en gran mayoría de la jaula de 6 puntos, únicamente se le adiciona un tirante transversal para mejorar la rigidez y la resistencia.
- *Jaula antivuelco de 8 puntos:* es el tipo de jaula antivuelco más común utilizada en vehículos de competencias de alta velocidad. Varias jaulas de 8 puntos suelen estar diseñadas con tirantes anti-intrusión y protección en las puertas para minimizar el impacto lateral.

2.2.9. Diseño de jaulas antivuelco

Al ser una estructura que tiene como finalidad resguardar la vida e integridad física de los ocupantes de un vehículo, una jaula antivuelco debe cumplir con ciertas especificaciones y requisitos de diseño que son impuestas por organismos de control locales/nacionales e internacionales, tales como la FEDAK a nivel nacional (Ecuador) y la FIA a nivel internacional. La FEDAK es la encargada de normar el diseño, la validación y el uso de las jaulas antivuelco en competencias tipo *rally* a nivel nacional, razón por la cual se debe recurrir a los estatutos y normativas provistas por este organismo para diseñar una jaula antivuelco óptima para su uso en competencias deportivas. Cabe recalcar que, también es común complementar la información

provista por la FEDAK con las normativas de la FIA, ya que, al ser un organismo internacional que regula las normativas existentes para competencias automovilísticas, en la mayoría de los casos posee información más detallada acerca del uso, diseño, construcción y aplicación de los elementos de seguridad para competencias deportivas.

La FEDAK, en conjunto con la CNR (Comisión nacional de *rally*) presentan el “REGLAMENTO NACIONAL DE SEGURIDAD PARA RALLIES” como base para el diseño y construcción de jaulas antivuelco, en tanto que, la FIA presenta el ART 253, Anexo J “Equipamiento de Seguridad (Grupos N, A, R-GT)” como documento base para el diseño y construcción de estas estructuras de seguridad.

2.2.9.1. Componentes de las jaulas antivuelco

El diseño de una jaula antivuelco puede variar en base a los requerimientos del vehículo y las decisiones del diseñador, sin embargo, la (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022, p. 2) en su reglamento de seguridad indica cual es el diseño básico o estructura base que debe cumplir una jaula de seguridad (ilustración 14 - 2), dicha estructura se compone los siguientes elementos:

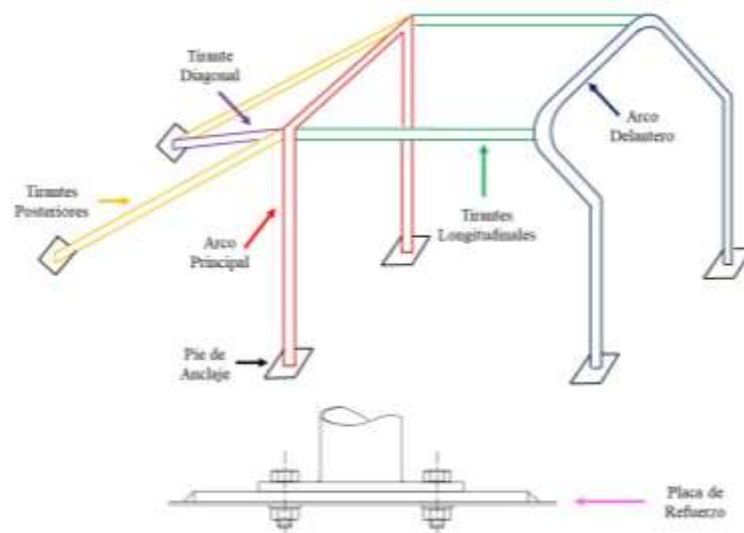


Ilustración 14-2: Elementos básicos de una jaula antivuelco

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022 & FIA Sport Departamento Técnico, 2018.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- A. *Arco / Barra principal:* Estructura vertical constituida por un arco tubular de una pieza que está en un plano transversal al vehículo, justo detrás de los asientos delanteros. La (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 9) indica que esta estructura puede llegar a tener una inclinación

máxima $\pm 10^\circ$ con respecto a la vertical dependiendo del diseño interior del vehículo y de las consideraciones del diseñador.

- B. *Arco / Barra delantera*: Elemento semejante al arco principal pero su forma sigue los montantes y el borde superior del parabrisas. La parte inferior de esta barra debe ser vertical de preferencia, con un ángulo máximo de 10° respecto a la vertical hacia atrás.
- C. *Tirante / Caño longitudinal*: Tubo de una pieza que conecta las partes superiores del arco principal y el arco delantero.
- D. *Tirante / Caño posterior*: Tubo que soporta al arco principal al unirlo con la parte trasera del vehículo.
- E. *Tirante / Caño diagonal*: Tubo transversal que conecta a uno de los ángulos superiores del arco principal (o uno de los extremos del tirante transversal en el caso de un arco lateral) con el pie de anclaje opuesto inferior del arco.
- F. *Pie de montaje / Pie de anclaje*: Placa soldada al tubo de una barra antivuelco, para permitir que se la suelde a la carrocería o a la estructura del chasis, generalmente sobre una placa de refuerzo (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022, p. 3). Por otro lado, la (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 9) indica que esta placa permite que se la suelde o se atornille sobre la carrocería o chasis.
- G. *Placa de refuerzo*: Placa de metal fijada a la carrocería o a la estructura del chasis debajo de un pie de montaje de la barra antivuelco para distribuir la carga en la estructura.

Además de los elementos ya mencionados, la (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, pp. 8-10), indica que, dependiendo del diseño de una jaula antivuelco, esta también se puede conformar de los siguientes elementos (ilustración 15 - 2):

- *Arco lateral*: Estructura casi longitudinal y generalmente vertical constituida por un arco tubular de una pieza, ubicado a lo largo de la parte derecha o izquierda del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo el montante del parabrisas, y los montantes traseros siendo casi verticales y estando justo detrás de los asientos delanteros.
- *Semiarco lateral*: Estructura idéntica al arco lateral, pero sin el pilar trasero.
- *Tirante transversal*: Tubo semi-transversal compuesto de una única pieza que une los miembros superiores de los arcos o semiarcos laterales.
- *Tirantes / Caños desmontables*: elementos de una estructura de seguridad que se pueden desmontar.
- *Refuerzo de la estructura*: Miembro añadido a la estructura de seguridad para mejorar su resistencia.
- *Cartela / Escuadra*: Refuerzo para un ángulo o unión entre dos tubos hecho de chapa doblada en forma de U de espesor no inferior a 1,0 mm.

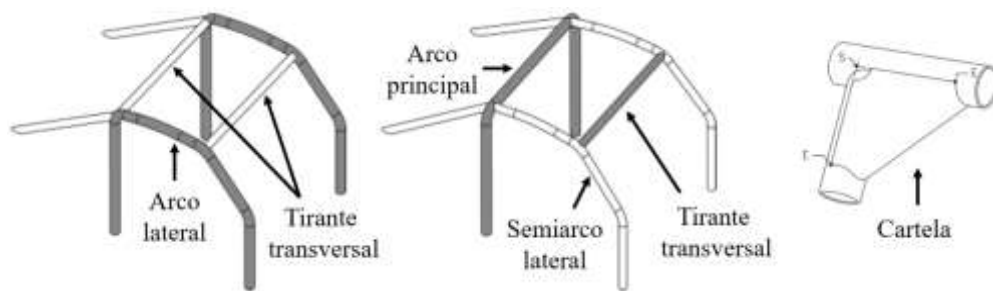


Ilustración 15-2: Elementos adicionales de una jaula antivuelco

Fuente: FIA Sport Departamento Técnico, 2018.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

2.2.9.2. Requisitos mínimos obligatorios y restricciones de diseño

Al ser la FEDAK el organismo que regula el diseño de las jaulas antivuelco en el Ecuador, se recurre al Reglamento Nacional de Seguridad Para Rallies 2022 que es la normativa propuesta por la FEDAK y la CNR que indica todos los requisitos con los que debe cumplir una jaula antivuelco. Cabe recalcar que, la FEDAK indica que los vehículos homologados deberán diseñar jaulas antivuelco únicamente en base a los estatutos de la FIA, en tanto que, los vehículos que no son homologados (como el Hyundai i10) deberán atenerse a las siguientes indicaciones detalladas por la FEDAK y la CNR:

- *Requisito 1:* La construcción básica de cualquier jaula de seguridad tendrá que obedecer el requisito de la ilustración 16 – 2 (estructura base) y a los siguientes requisitos mínimos de diseño:

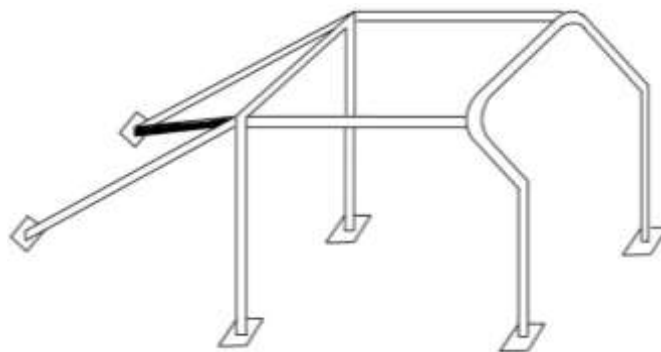


Ilustración 16-2: Diseño base de la jaula antivuelco impuesto por la FEDAK

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

La FEDAK también indica que tanto la barra principal como la barra frontal deben estar construidas de una sola pieza, es decir, de un solo tubo. Además, se especifica que los pies de

montajes deben permitir que la estructura únicamente se suelde a la carrocería o chasis, es decir que no se permiten anclajes emperrados, lo cual es un indicio de que todos los elementos que componen a la jaula antivuelco deben de estar soldados y no emperrados. Ya que en el reglamento de la FEDAK no se especifica el tipo de unión entre tubos (soldadas o emperradas) se asume que estos elementos están soldados, es decir no son desmontables.

Cabe recalcar que, el tirante transversal que refuerza la unión de tirantes posteriores con el arco principal debe colocarse en base a una de las disposiciones mostradas en la ilustración 17 - 2.

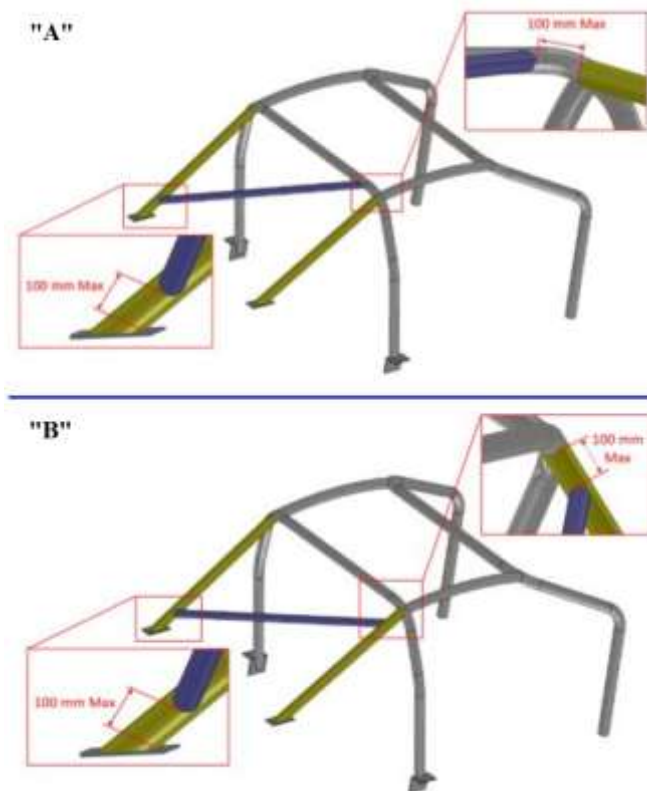


Ilustración 17-2: Disposiciones de la conexión del tirante diagonal de refuerzo

Fuente: Fédération Internationale De L'automobile, 2021.

El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal o al tirante posterior a no más de 100 mm de la unión entre la barra antivuelco principal y el tirante. En tanto que, el extremo inferior del tirante diagonal debe unirse al tirante posterior a no más de 100 mm del montaje del tirante posterior en la carrocería (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.9).

Otra de las consideraciones de la (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 10) a tener con cuenta, es que la parte vertical del arco principal debe ser tan próxima como sea posible a los paneles interiores de la carrocería y debe tener una sola curvatura entre su parte inferior y su parte superior.

Además, el pilar de un arco delantero debe seguir lo más cerca posible a los montantes del parabrisas y tener una sola curvatura entre su parte inferior y su parte superior.

Los tirantes posteriores deben anclarse a nivel del techo, lo más cerca posible a los ángulos superiores exteriores del arco principal, a ambos lados del vehículo. Estos tirantes deberán formar un ángulo mínimo de 30° con la vertical y tienen que estar dirigidos hacia atrás, ser rectos y tan cercanos como sea posible a los paneles interiores de la carrocería.

- *Requisito 2:* El montaje de dos tirantes diagonales en el arco principal es obligatorio (ver ilustración 18 – 2).

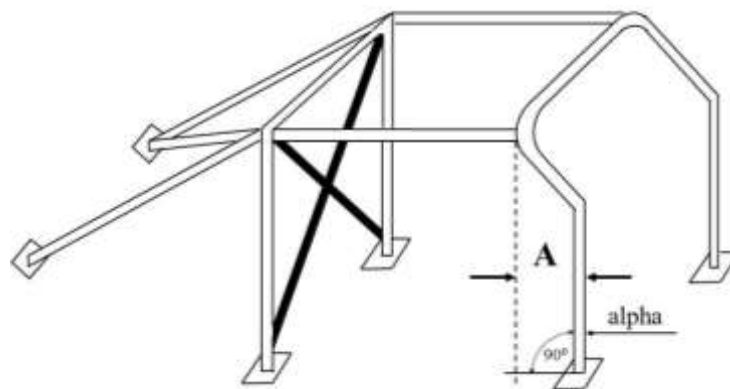


Ilustración 18-2: Requisito mínimo – Refuerzos del arco principal

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

La FEDAK no da especificaciones de la ubicación de los tirantes diagonales, por lo cual se recurre al Art. 253, Anexo J de la FIA para complementar las indicaciones provistas por la FEDAK. La (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 11) menciona que los tirantes deben ser rectos y que el extremo inferior de la diagonal debe unirse con el arco principal a menos de 100mm del pie de anclaje (ver ilustración 19 - 2). Además, el extremo superior del tirante diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100mm de la unión de este con el tirante posterior.

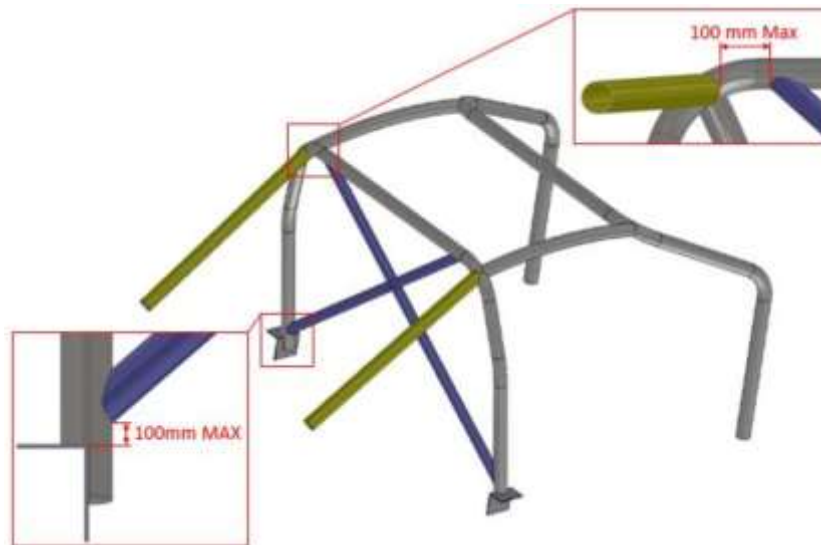


Ilustración 19-2: Conexiones de los tirantes diagonales al arco principal

Fuente: Fédération Internationale De L'automobile, 2021.

- *Requisito 3:* La conexión entre dos tirantes debe reforzarse por una escuadra/cartela (ver ilustración 20 – 2).

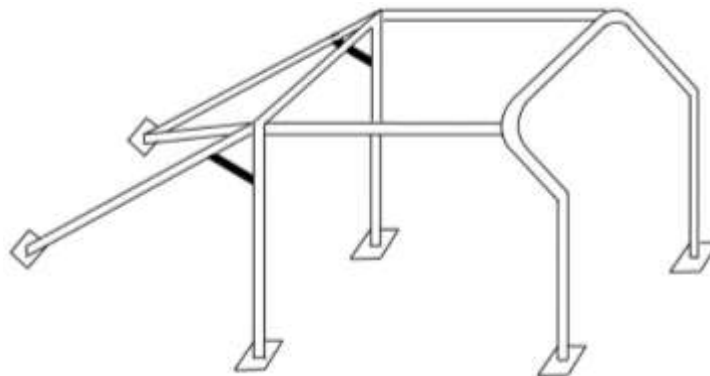


Ilustración 20-2: Requisito obligatorio - Refuerzos de los tirantes traseros

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Al igual que el requisito anterior, la FEDAK no da indicaciones detalladas de la disposición de este refuerzo, por lo cual se recurre a la (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 13), misma que menciona que los extremos de los refuerzos no deben situarse a más de la mitad de la longitud del tirante al que van unidos, a excepción de los elementos del arco delantero, que pueden unirse a las barras de las puertas/arco delantero.

- *Requisito 4:* La parte superior del arco debe tener dos tirantes diagonales (ver ilustración 21 – 2).

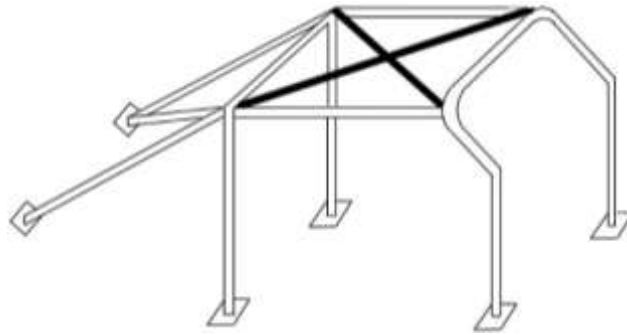


Ilustración 21-2: Requisito obligatorio - Refuerzos del techo

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Los extremos de los tirantes deben estar a menos de 100mm de la unión entre arcos y tirantes de la estructura base (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 11). Además, (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.10) menciona que estos refuerzos pueden seguir la curvatura del techo, además, uno de los dos tirantes diagonales debe ser de una sola pieza. Estos refuerzos pueden colocarse en base a las disposiciones mostradas en la ilustración 22 - 2.

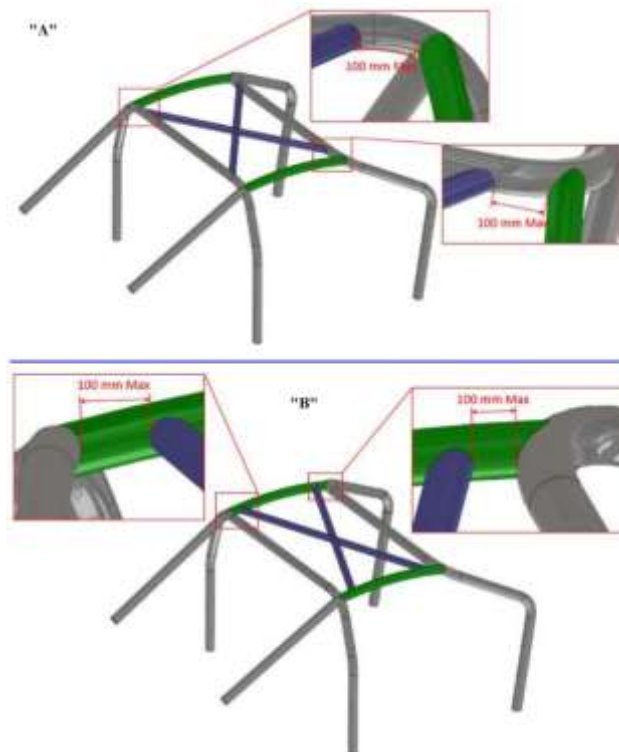


Ilustración 22-2: Disposiciones de los refuerzos del techo

Fuente: Fédération Internationale De L'automobile, 2021.

- *Requisito 5:* Uno o más tirantes longitudinales deben colocarse a cada lateral del auto (ver ilustración 23 - 2).

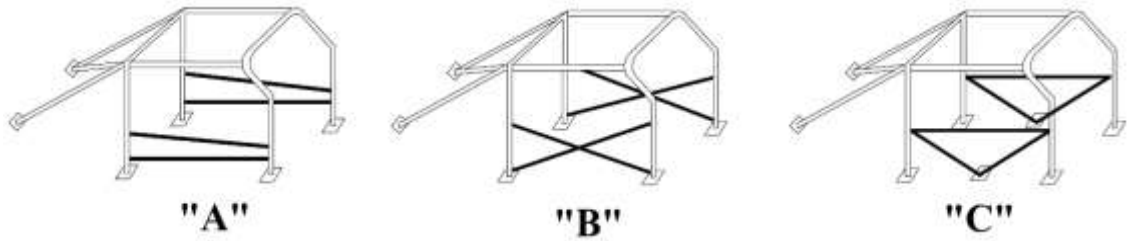


Ilustración 23-2: Requisito obligatorio - Refuerzos laterales (puertas)

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Para este caso, el diseño de los tirantes debe ser idéntico en ambos lados. Estos tirantes deben situarse tan alto como sea posible pero sus puntos de anclaje superiores no estarán a más de la mitad de la altura total de la puerta medida desde su base. En el caso del refuerzo tipo “X”, uno de los tirantes debe ser una barra de una sola pieza y el otro debe estar en un máximo de dos partes, además, para este tipo de refuerzo, su punto de unión puede estar desplazado lateralmente hacia el exterior (+Y) (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.11). Para competiciones sin copiloto, estos refuerzos pueden ser aplicados únicamente en el lado del conductor y no es obligatorio que el diseño sea idéntico en ambos lados (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 11).

- *Requisito 6:* Si la dimensión "A" (ver ilustración 16 - 2) es mayor que 200mm, un tirante de refuerzo según la ilustración 24 - 2 debe añadirse a cada lateral del arco delantero entre la esquina superior del parabrisas y la base de ese arco.

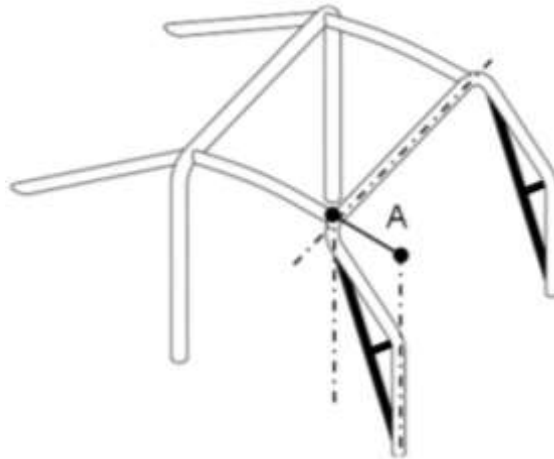


Ilustración 24-2: Requisito obligatorio - Refuerzos laterales (parabrisas)

Fuente: FIA Sport Departamento Técnico, 2018.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

La (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 12) indica que este refuerzo puede ser curvado a condición de que sea rectilíneo en vista lateral (ilustración 25 - 2) y que el ángulo de la curvatura no exceda

20°, además, el extremo superior de este elemento debe estar a menos de 100mm de la unión entre el arco delantero (lateral) y el tirante longitudinal (transversal). Su extremo inferior debe estar a menos de 100mm del pie de anclaje del arco frontal (lateral). Cabe recalcar que, si este tirante de refuerzo se cruza con los tirantes de refuerzo laterales (puertas), este tirante debe dividirse varias partes a fin de que los tirantes de laterales no se dividan (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.12).

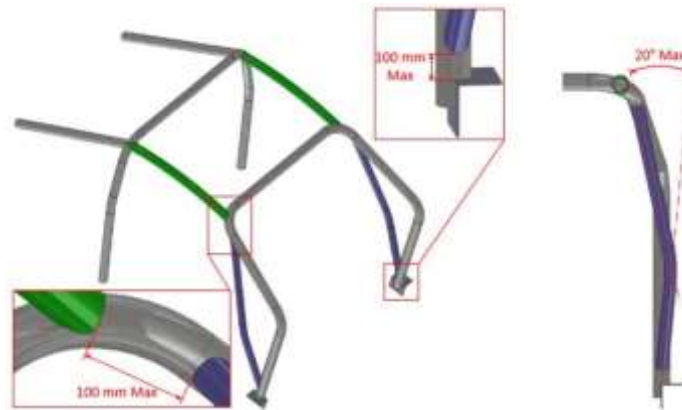


Ilustración 25-2: Requisito obligatorio - Refuerzos del parabrisas

Fuente: Fédération Internationale De L'automobile, 2021.

- *Requisito 7:* El ángulo "alfa" (α) (ver ilustración 18 - 2) no debe ser mayor a 90°.
- *Requisito 8:* La estructura de seguridad colocada en la apertura de las puertas, deberá ajustarse a las siguientes medidas, (ver ilustración 26 - 2):

La dimensión A deberá tener 300mm (30 cm) como mínimo.

La dimensión B deberá tener 250mm (25 cm) como máximo.

La dimensión C deberá tener 300mm (30 cm) como máximo.

La dimensión D (medida desde el ángulo superior del parabrisas, sin el sello) deberá tener 100mm como máximo.

La dimensión E no deberá ser mayor que la mitad de la altura de la apertura de la puerta (H).

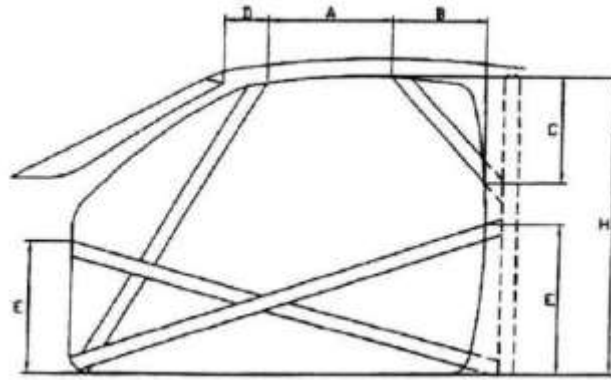


Ilustración 26-2: Requisito obligatorio – Refuerzos en las puertas

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

- *Requisito 9:* Para el diseño y construcción de la jaula antivuelco se deben emplear tubos que cumplan con los requisitos establecidos en la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Especificaciones de los tubos utilizados en las jaulas antivuelco

Material	Dimensiones (mm)	Utilización
Acero al carbono sin costuras estirado en frío que contenga como máximo un 0,3% de carbono.	45 x 2.5 mm (1.75 x 0.095")	Barra antivuelco principal, barra antivuelco lateral y su conexión según su construcción.
	o	
	50 x 2.0 mm (2.0 x 0.083")	Otras partes de la estructura de seguridad.
	38 x 2.5 mm (1.5 x 0.095")	
o		
	40 x 2.0 mm (1.6 x 0.083")	

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Cabe recalcar que, (FIA Sport Departamento Técnico, 2018, p. 18) menciona en caso de emplear tubos tratados térmicamente para la construcción de jaulas antivuelco, se deben seguir las indicaciones del fabricante en cuanto a los procesos de soldadura de los tubos. Por otro lado, (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022, p. 4) indica que los tubos empleados deben doblarse usando un proceso de trabajo en frío y el radio de la línea central de flexión debe ser por lo menos tres veces el diámetro del tubo, obteniendo los siguientes radios:

$$R_1 = 3 \times De_1 = 3 \times 45mm = 135mm$$

$$R_2 = 3 \times De_2 = 3 \times 50mm = 150mm$$

$$R_3 = 3 \times De_3 = 3 \times 38mm = 114mm$$

$$R_4 = 3 \times De_4 = 3 \times 40mm = 120mm$$

- *Requisito 10*: se recomienda que la unión entre 2 tubos sea reforzada por una escuadra (ver ilustración 27 - 2).

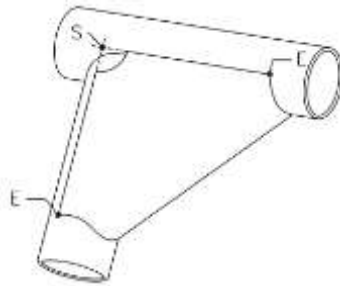
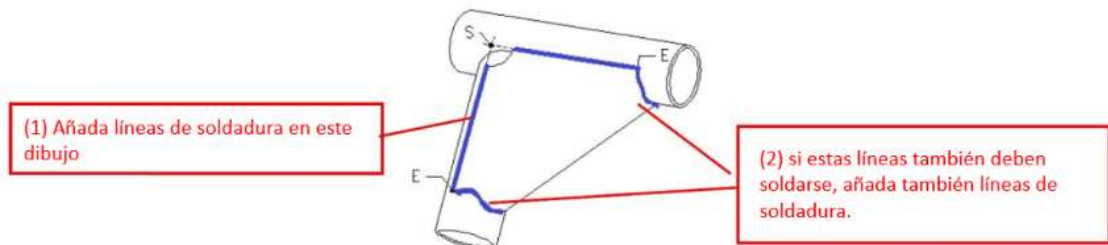


Ilustración 27-2: Escuadra / cartela

Fuente: FIA Sport Departamento Técnico, 2018.

La FIA indica que en los extremos de una cartela “E” deben ubicarse a una determinada distancia del punto “S”, esta longitud es debe ser de entre 3 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor (ver ilustración 28 - 2). Además, este elemento puede incluir una perforación en su extremo “S” con el fin de disminuir su peso, el diámetro de esta perforación no deberá ser mayor al diámetro exterior del tubo más grande unido por la cartela.



El dibujo debe actualizarse para mostrar todas las líneas de soldadura obligatorias en azul arriba.

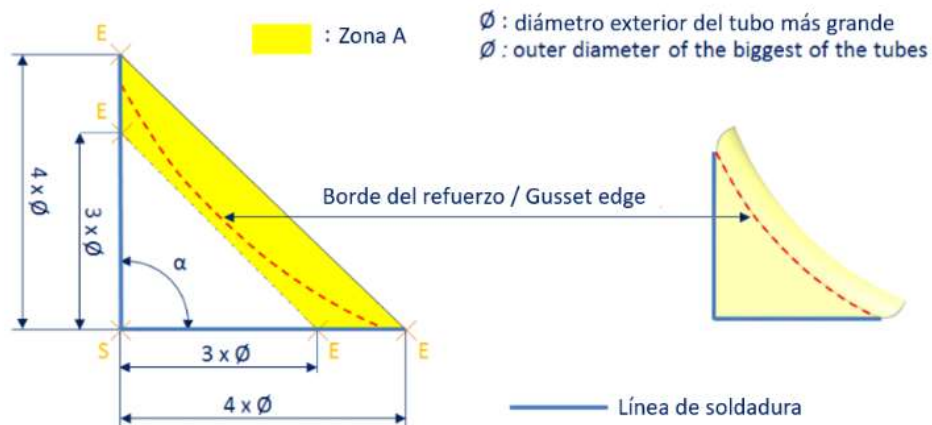


Ilustración 28-2: Dimensionamiento de una escuadra / cartela

Fuente: Fédération Internationale De L’automobile, 2021.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- *Arneses de seguridad:* cabe recalcar que el uso de estos elementos es obligatorio según la normativa de la FEDAK, y, en la mayoría de los casos, los arneses de seguridad se anclan a la jaula antivuelco, lo cual requeriría de la adición de un tirante extra para este anclaje, no obstante, la FEDAK en su Reglamento Nacional de Seguridad Para Rallies 2022 indica que los arneses de seguridad deben anclarse adecuadamente ya sea al casco del vehículo o a la jaula de seguridad (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022, p. 6), razón por la cual, en los diseños de jaulas antivuelco realizados en este proyecto técnico no se añadirán tirantes o elementos para el anclaje de los arneses de seguridad, y estos deberán anclarse al casco del vehículo como indica la normativa.

2.2.9.3. Tirantes y refuerzos opcionales

El Reglamento Nacional de Seguridad para Rallies 2022 únicamente indica los requisitos mínimos (obligatorios) que deben cumplir los vehículos no homologados por la FIA, sin embargo, ya que se realizaron dos diseños de jaulas antivuelco, se recurre al Art. 253, Anexo J de la FIA, el cual indica que además de los elementos obligatorios, una jaula antivuelco puede añadir ciertos elementos opcionales (con sus respectivas disposiciones) a su estructura base obligatoria.

A pesar de que en su Reglamento Nacional la FEDAK y el CNR no indican específicamente que elementos opcionales se pueden incorporar a los requisitos mínimos, en dicha normativa se muestran varios diseños/dibujos de tirantes y refuerzos opcionales que coinciden con los propuestos por la FIA, siendo estos, los que se implementaran en ambos diseños. Dichos elementos son:

- *Tirantes diagonales en los tirantes posteriores:* En la ilustración 16-2 se indica que este tipo de tirante es obligatorio, sin embargo, solo se aplica un tirante diagonal. Para los elementos opcionales, se añade otro tirante diagonal, formando una “X” (ver ilustración 29 - 2).

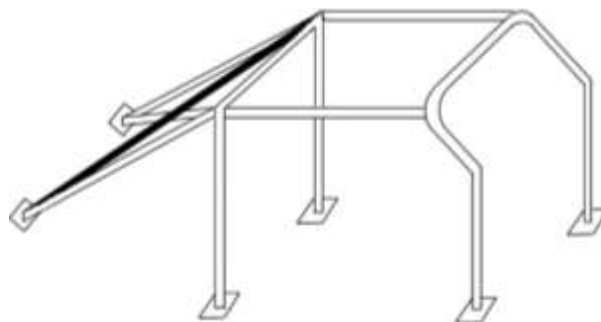


Ilustración 29-2: Tirantes diagonales en los tirantes traseros

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.
Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Para esta configuración, uno de los tirantes debe estar compuesto de un solo elemento. Además, los extremos superiores de las diagonales deben unirse al arco principal o al tirante posterior a no más de 100 mm de la unión entre la barra antivuelco principal y el tirante. En el caso de los extremos inferiores de los tirantes diagonales, estos deben unirse al tirante posterior a no más de 100 mm del montaje del tirante posterior en la carrocería (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.9).

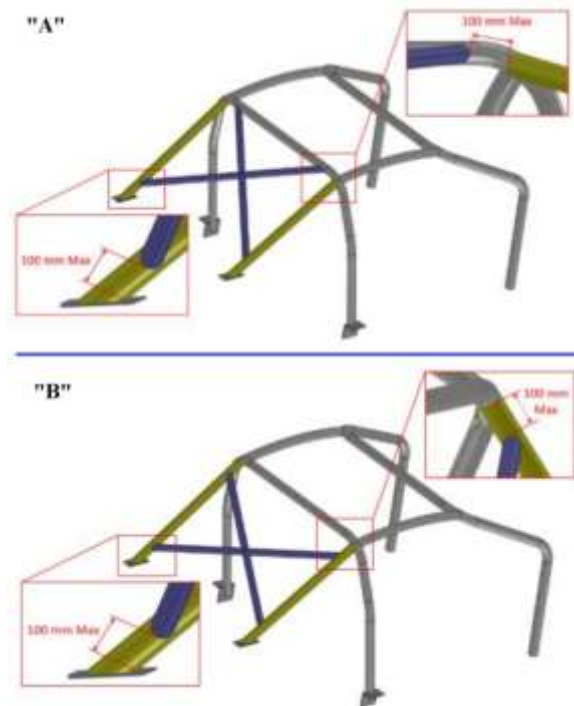


Ilustración 30-2: Disposiciones de los tirantes diagonales en los tirantes posteriores

Fuente: Fédération Internationale De L'automobile, 2021.

- *Puntos de anclaje sobre la suspensión delantera:* Las extensiones deben estar conectadas a los puntos de anclaje superiores de la suspensión. Para este anclaje se toma la consideración que de los tirantes diagonales de refuerzo que se unen a los tirantes longitudinales que se anclan a la suspensión debe estar situado a 100mm de los puntos de anclajes inferiores del arco delantero.

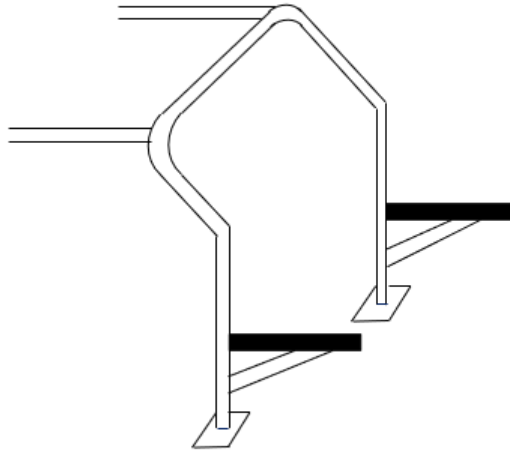


Ilustración 31-2: Puntos de anclaje en la suspensión delantera

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- *Tirantes transversales:* El miembro transversal fijado en el arco delantero puede situarse tan alto como sea posible, pero su borde inferior no debe estar situado por encima del punto más elevado del salpicadero. Este elemento no debe posicionarse por debajo de la columna de dirección.

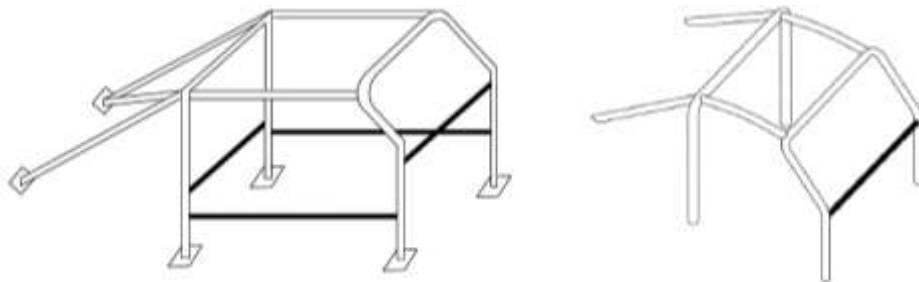


Ilustración 32-2: Tirante transversal en el arco delantero

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022 & FIA Sport Departamento Técnico, 2018.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- *Refuerzos de ángulos o uniones:* Los refuerzos deben estar hechos de tubos o chapa curvada en forma de U (cartela), y deben cumplir con las especificaciones de ubicación impuestas en el requisito 3.

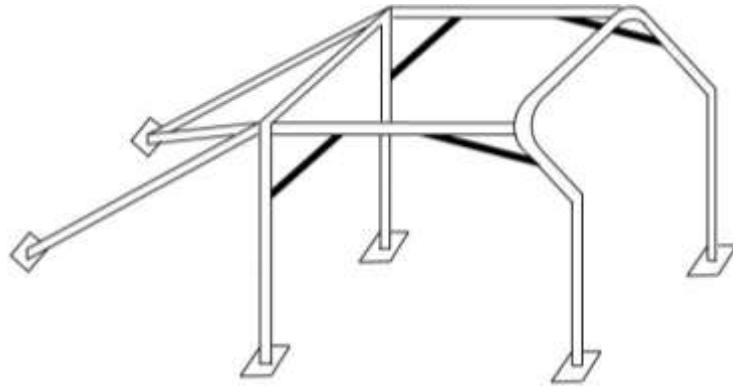


Ilustración 33-2: Refuerzos de ángulos o uniones

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

- *Otros tirantes y refuerzos:* De manera general, todos los tirantes y refuerzos deben estar soldados y se pueden utilizar por separado o combinándolos con otros. Los demás elementos opcionales que no se detallaron, se muestran en la ilustración 34 - 2 y se toma en cuenta la consideración de que los extremos de los tirantes se deben ubicar a 100mm de los anclajes.

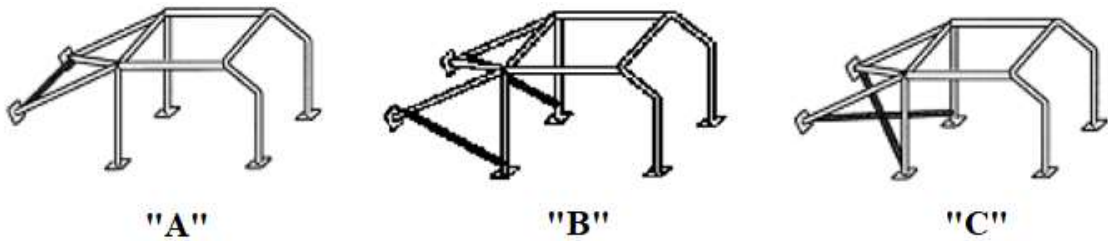


Ilustración 34-2: Otros tirantes y refuerzos

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022.

Ya analizados todos los elementos obligatorios y opcionales que debe tener una jaula antivuelco para su uso, procedemos a especificar que componentes tendrán los dos diseños de jaula antivuelco realizados en este proyecto (tabla 7-2).

Tabla 7-2: Componentes de los diseños 1 y 2 de jaula antivuelco

DISEÑO 1	DISEÑO 2
Estructura Base	
1 arco principal	1 arco principal
1 arco delantero	1 arco delantero
2 tirantes longitudinales de conexión	2 tirantes longitudinales de conexión
2 tirantes posteriores	2 tirantes posteriores
1 tirante diagonal para unir los tirantes posteriores (disposición “A”)	1 tirante diagonal para unir los tirantes posteriores (disposición “B”)
Refuerzos y requisitos obligatorios	
2 tirantes diagonales en el arco principal	2 tirantes diagonales en el arco principal
2 escuadras de refuerzo entre los tirantes posteriores y el arco principal	2 escuadras de refuerzo entre los tirantes posteriores y el arco principal
2 tirantes diagonales de refuerzo en el techo (disposición “A”)	2 tirantes diagonales de refuerzo en el techo (disposición “B”)
2 tirantes de refuerzo en cada lateral/puertas (disposición “A”)	2 tirantes de refuerzo en cada lateral/puertas (disposición “B”)
1 tirante de refuerzo para la esquina superior del parabrisas en cada lateral.	1 tirante de refuerzo para la esquina superior del parabrisas en cada lateral.
4 cartelas / escuadras	4 cartelas / escuadras
Tirantes y refuerzos opcionales	
1 tirante transversal de refuerzo sobre la columna de dirección	1 tirante transversal de refuerzo sobre la columna de dirección
2 refuerzos tubulares en la unión de los tirantes longitudinales con el arco principal	2 refuerzos tubulares en la unión de los tirantes longitudinales con el arco principal
1 tirante transversal de refuerzo para los tirantes posteriores (ilustración 32-2 a)	2 tirantes de refuerzo para los tirantes posteriores (ilustración 32-2 b)
Puntos de anclaje	
6 puntos de anclaje	6 puntos de anclaje

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

2.2.10. Métodos de anclaje

Información encontrada en (Rodiautosport, 2022, párr.10-14), nos dice que para el anclaje de las jaulas antivuelco tenemos dos tipos, soldadas y atornilladas. Sin embargo, la (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo & Comisión Nacional de Rally, 2022, p. 3) en su Reglamento Nacional de Seguridad para Rallies 2022, menciona que los anclajes de la jaula antivuelco deben ser soldados a la carrocería o a la estructura del chasis. Además, indica que toda soldadura en la estructura de

la jaula debe ser de penetración total, preferiblemente de arco protegido por gas y que esta debe hacerse a lo largo de todo el perímetro del tubo. A continuación, se detallan que son los anclajes soldados.

2.2.10.1. Anclajes soldados

Este tipo de anclaje es el más seguro debido a que aumenta considerablemente la capacidad de soportar deformaciones por choque, básicamente se trata en soldar las bases de la jaula antivuelco a la carrocería en puntos específicos, este tipo de trabajo debe ser realizado por profesionales, ya que de no ser realizado de la manera correcta el momento de que el vehículo sufra una colisión esta unión se puede quebrar generando más riesgo para los ocupantes. Las jaulas soldadas son un requisito para la mayoría de las competencias importantes de automovilismo.



Ilustración 35-2: Jaula antivuelco anclada por suelda

Fuente: vimesasport.com.

2.2.11. Análisis estático de cargas

Según la Federación Internacional del Automóvil para poder aprobar una jaula antivuelco debe cumplir con ciertos requerimientos enfocados en diferentes puntos:

2.2.11.1. Carga vertical en el arco principal

La (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.21) indica que toda la estructura de la jaula antivuelco debe soportar una determinada carga aplicada en la parte superior del arco principal (ilustración 36-2). Esta carga está expresada en decanewtons y se la calcula en base al peso del auto y un peso adicional que varía en función de la categoría de competición del vehículo. La fuerza que se aplica en el arco principal se la calcula con la siguiente fórmula:

$$F = 7,5 * (W_{vehículo} + 500 \text{ kg}) [\text{daN}]$$

Conociendo que 1 daN es igual a 10 N, transformamos la expresión anterior a Newtons:

$$F = 75 * (W_{vehículo} + 500 \text{ kg}) [\text{N}]$$

En donde:

F = Fuerza (N)

75 = Es una constante

W vehículo = Peso del vehículo expresado en kilogramos [kg]

500 kg = Es la carga útil considerada por la FIA para la categoría T1

Ingresamos los datos del Hyundai i10 en la fórmula:

$$F = 75 * (925 \text{ kg} + 500 \text{ kg})\text{N}$$

$$F = 106875 \text{ N}$$

De esta expresión matemática concluimos que la jaula antivuelco deberá soportar una carga vertical de 106875 N en su arco principal para ser certificada por la FIA. Al aplicarse esta carga la (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.21) establece que la jaula antivuelco no debe sufrir ninguna rotura, además no se puede producir una deformación superior a 50 mm en eje de aplicación de la carga (eje Y). Cabe recalcar que, esta carga deberá aplicarse durante un tiempo de 15 segundos.

La FIA también indica que esta carga debe ser aplicada a la jaula antivuelco a través de un sello rígido de acero. Este sello deberá tener un radio de 20 ± 5 mm en los bordes rígidos que tengan contacto con el arco principal, además, deberá dimensionarse con las siguientes medidas:

Longitud = anchura del arco principal + mín. 100 mm

Anchura = 250 ± 50 mm

Espesor = 40 mm mínimo

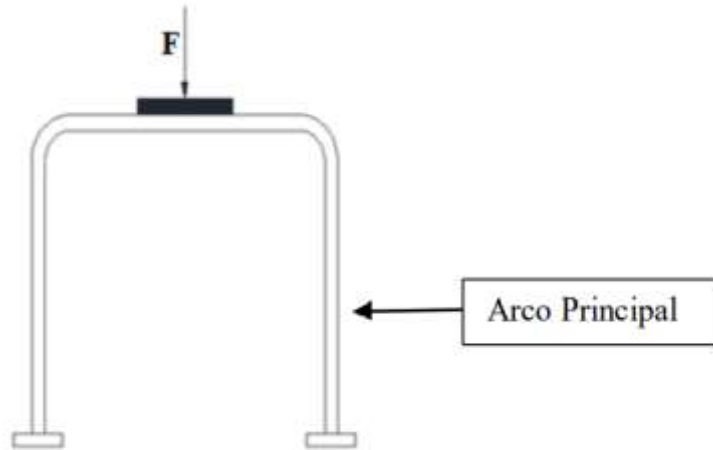


Ilustración 36-2: Disposición de la carga vertical en el arco principal

Fuente: Cárdenas Gárate, 2015.

2.2.11.2. Carga lateral en el arco principal

En este caso la carga va a ser aplicada en la parte lateral superior de la barra principal, específicamente, se aplicará a 550 ± 50 mm por medidos desde el punto más bajo del pie de montaje del arco principal (ilustración 37-2). Esta carga se encuentra expresada en Newtons y se la calcula con la siguiente fórmula:

$$F = 35 * (W_{vehículo} + 500 \text{ kg}) [N]$$

En donde:

F = Fuerza (N)

35 = Es una constante

W vehículo = Peso del vehículo

500 kg = Es la carga útil considerada por la FIA para la categoría T1

Ingresamos los datos del Hyundai i10 en la fórmula:

$$F = 35 * (925 \text{ kg} + 500 \text{ kg})N$$

$$F = 49875 \text{ N}$$

Esta carga calculada se aplicará a través de un sello rígido de acero que tendrá un radio de 20 ± 5 mm en los bordes rígidos que tengan contacto con el arco principal y deberá tener las siguientes dimensiones:

Longitud = 450 ± 50 mm

Anchura = 250 ± 50 mm

Espesor = 40 mm mínimo

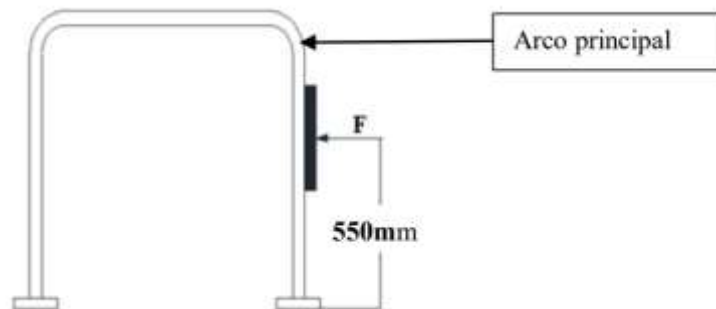


Ilustración 37-2: Disposición de la carga lateral en el arco principal

Fuente: Cárdenas Gárate, 2015.

Para este caso, la (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.22) indica que, al aplicarse la carga lateral en un tiempo de 15 segundos, la jaula antivuelco no deberá sufrir ningún tipo de rotura, tampoco se deben producir deformaciones plásticas mayores a 50 mm en el eje de aplicación de la carga (eje X).

2.2.11.3. Cargas en el arco delantero

En este caso, la (Fédération Internationale De L'automobile, 2021, p.22) establece que una carga deberá aplicarse en el arco delantero, específicamente en la intersección entre el tirante longitudinal que se encuentra en el lateral del conductor y el arco delantero. Al igual que en los casos anteriores, dicha carga se aplicará a través de un sello de acero, el cual, en este caso se orientará con una inclinación de $5^\circ \pm 1^\circ$ hacia delante y hacia abajo respecto a la horizontal, en su eje longitudinal, en su eje transversal, el sello debe dirigirse hacia el exterior y hacia abajo con un ángulo de $25^\circ \pm 1^\circ$ con respecto a la horizontal (ver ilustración 38-2). La carga por aplicarse en el sello se la calcula con la siguiente fórmula:

$$F = 35 * (W_{vehículo} + 500 \text{ Kg})N$$

En donde:

F = Fuerza (N)

35 = Es una constante

W vehículo = Peso del vehículo

500 kg = Es la carga útil considerada por la FIA para la categoría T1

Ingresamos los datos del Hyundai i10 en la fórmula:

$$F = 35 * (925 \text{ kg} + 500 \text{ kg})N$$

$$F = 49875 \text{ N}$$

El radio de los bordes del sello de acero que entran en contacto con la jaula será de $20 \pm 5 \text{ mm}$ al igual que los casos anteriores. Las dimensiones del sello para este caso son:

Longitud = $450 \pm 50 \text{ mm}$

Anchura = $250 \pm 50 \text{ mm}$

Espesor = 40 mm mínimo

En esta prueba no se deben producir deformaciones mayores a 100 mm en el eje de aplicación de la carga (eje Y). Esta carga, al igual que en las pruebas anteriores debe aplicarse durante 15 segundos o menos.

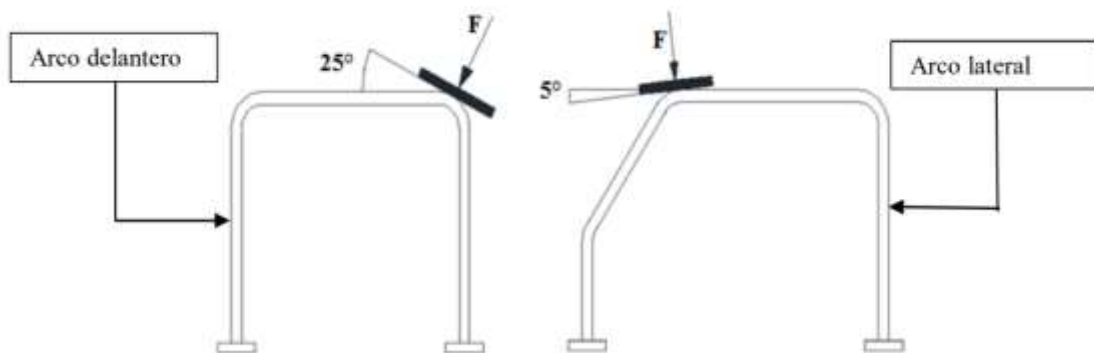


Ilustración 38-2: Disposición de la carga en el arco delantero

Fuente: Cárdenas Gárate, 2015.

2.2.12. Matriz QFD (Quality Function Deployment)

Información de (IONOS, 2021, párr. 2-17) menciona que la matriz QFD es más conocida como “Despliegue de la función de calidad” o su significado de sus siglas en inglés “*Quality Function Deployment*” es un estudio metódico de las necesidades que podría tener un cliente, con el objetivo de perfeccionar la calidad que tiene un producto. Nace en Japón gracias a Yōji Akao y entre las décadas de los 60 y 70. Varias empresas reconocidas, utilizan este método para mejorar y adaptarse de una manera más óptima al mercado, obteniendo muy buenos resultados.

La principal singularidad del Despliegue de la función de calidad es que todos sus componentes figuran en una gráfica y se encuentran enlazados entre sí. Debido a su forma a la matriz QFD es

conocida como Casa de la Calidad y es usada generalmente en gestión de calidad, pero también se aplica en el desarrollo de algún producto. Es un proceso que se puede adaptar a cada tipo de situación debido a que no es un método de un solo camino, pero para poder realizarlo de una manera correcta existen cuatro pasos a seguir:

- *Primer paso:* Para poder realizar un proyecto primero hay que cuestionarse a quién va dirigido tomando en cuenta varios aspectos de los posibles clientes, lo que va a ayudar a tener una idea clara de cómo poder gestionar el producto.
- *Segundo paso:* Hay que realizar un estudio a la posible clientela para poder saber qué es lo que en realidad necesitan y así poder encaminarte a realizar algún producto.
- *Tercer paso:* Se debe analizar a la competencia, es decir que se debe estudiar todos los productos que sean realizados por otros que tengan que ver con tu proyecto, para así compararlo y poder encontrar las falencias y ventajas de nuestro producto.
- *Cuarto paso:* Se debe realizar un auto estudio del producto propio para poder establecer si va a cumplir con las necesidades que se reconocieron en pasos anteriores y si va a contar con la suficiente calidad para poder competir contra la competencia.

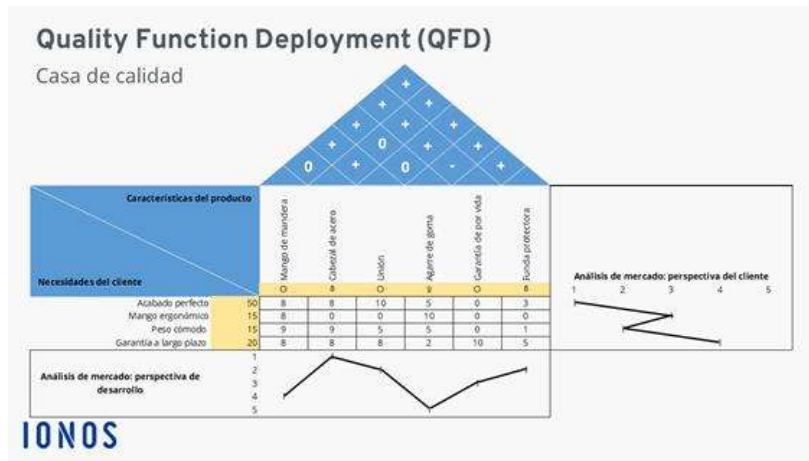


Ilustración 39-2: Ejemplo de estructura de matriz QFD

Fuente: IONOS.es.

2.2.13. Materiales de construcción

Cuando se desea construir una pieza de maquinaria o elemento estructural, la correcta selección del material es una de las decisiones más importantes, ya que varias de las características y funciones de dicho elemento dependerán de su material de fabricación, razón por la cual, la selección de materiales es una de característica fundamental en el diseño mecánico. La elección de un material se basa en las propiedades que este posee, en sus dimensiones disponibles (perfiles

comerciales) y en los requerimientos de la pieza o estructura. En sí, un diseñador deberá escoger un material de tal manera que se evite la pérdida de funcionalidad de la pieza o estructura, o que la probabilidad de dicha pérdida de funcionalidad se mantenga a un nivel de riesgo aceptable (Budynas & Nisbett, 2012, p.30). Algunas de las consideraciones a tener en cuenta al momento de escoger el material de fabricación de un elemento o estructura mecánica son: la resistencia a la corrosión, efectos de la temperatura, esfuerzos admisibles y la deformación, siendo estos dos últimos los más importantes, ya que acarrear consigo conceptos como el límite elástico, la fluencia y la resistencia a la tracción.

Como se mencionó anteriormente, los elementos de seguridad para competencias deportivas tipo *Rally*, están normados por organismos como la FIA a nivel internacional y la FEDAK a nivel nacional, siendo este el caso de las jaulas antivuelco o estructura de seguridad, las cuales, según el Reglamento Nacional de Seguridad para Rallies 2022 establecido por la FEDAK y la CNR indica que, el material seleccionado para la construcción de jaulas antivuelco debe ser un acero al carbono sin costuras (sin soldadura) estirado en frío y que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Tener una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm² (MPa).
- Conteniendo máximo de carbono no mayor al 0,3 %
- En el caso de acero sin aleaciones, el contenido máximo de aditivos será del 1% de manganeso y del 0,5% de otros elementos.
- Al seleccionar el acero, debe prestarse atención a que presente buenas propiedades de elongación y una adecuada capacidad de soldadura.

Además de las características del material ya mencionadas, la FEDAK y la CNR establecen que dimensiones debe tener el material de construcción para las diferentes partes de la jaula antivuelco, estas se pueden observar en la tabla 6-2.

2.2.13.1. *Selección del material*

Puesto que se pretende hacer un análisis de costos del modelo de jaula seleccionado, es necesario seleccionar un material para la simulación que se encuentre disponible en el mercado ecuatoriano o que se pueda importar sin problema. En Ecuador, sí se comercializa tuberías redondas estiradas en frío y sin costuras, una de estas, es el tubo redondo estructural fabricado con la norma de calidad ASTM A500 Grado A, B o C, la cual (Altos Hornos de México, 2017, p. 4) menciona que es una norma que establece los grados de acero para secciones estructurales huecas, específicamente para tubos de sección circular hueca HSS formados en frío en tres grados (A, B, C), y también para

tubos HSS formados en frío de sección cuadrada y rectangular con los mismos grados ya mencionados. Además, esta norma también se enfoca en tubos de acero al carbono soldados y sin soldadura (costura) (Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd.,2017, párr. 1). En la siguiente tabla se muestran las propiedades mecánicas y químicas de los tres grados disponibles del acero ASTM A500 con el fin de establecer que grado del acero ASTM A 500 es el adecuado para la construcción y simulación de la jaula antivuelco.

Tabla 8-2: Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A500 Grado A, B y C

Propiedades	Grado A	Grado B	Grado C
Densidad [g/cm ³]	7.80	7.80	7.80
Resistencia a la tracción, última [MPa (Ksi)]	310 (45 000)	400 (58 000)	425 (61 600)
Resistencia a la tracción, rendimiento [MPa (Ksi)]	230 (33 400)	290 (42 100)	315 (45 700)
Límite elástico [MPa (Ksi)]	228 (33 000)	290 (42 000)	317 (46 000)
Elongación a la rotura en 50mm	25% (aplicable para espesores de pared de 3.05mm y mayores)	23% (aplicable para espesores de pared de 4.57mm y mayores)	21% (aplicable para espesores de pared de 3.05mm y mayores)
Módulo de volumen (<i>Bulk Modulus</i>) [GPa]	160	160	160
Módulo de corte (<i>Shear Modulus</i>) [GPa]	80.0	80.0	80.0
Composición química (%)			
Carbono (C)	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.27
Manganeso (Mn)	-	-	≤ 1.4
Fósforo (P)	≤ 0.050	≤ 0.050	≤ 0.050
Azufre (S)	≤ 0.063	≤ 0.063	≤ 0.063
Cobre (Cu)	0.18	≤ 0.18	≤ 0.18
Hierro (Fe)	99	99	98

Fuente: Matweb.com, 2022 & United Steel Industry, 2018.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Como se observa en la tabla, el acero ASTM A500 Grado C es el que posee el menor contenido de carbono y el que tiene los valores de resistencia a la tracción y límite elástico más elevados, mientras que, el acero grado B también es una opción viable puesto que posee propiedades que se encuentran dentro de las especificaciones de la FEDAK, por otro lado, el acero grado A, a pesar de que su contenido de carbono es menor a 0.3%, su valor de resistencia a la tracción es muy bajo, por lo cual no calificaría como material de construcción / simulación. Por tales razones, se escoge al acero ASTM A500 Grado C como uno de los materiales de construcción / simulación puesto que, a más de cumplir con los requerimientos mecánicos y químicos, este material si se encuentra en el mercado con las dimensiones requeridas, además, el proveedor *IMPORTACEROS* nos da la posibilidad de adquirir otras dimensiones previa consulta.

Como se requieren dos materiales para la simulación de las jaulas antivuelco, es necesario seleccionar otro material, pero lamentablemente en el mercado ecuatoriano no existen muchos materiales que cumplan con los requisitos previamente mencionados, claro, existen materiales que cumplen con las propiedades mecánicas y químicas perfectamente, como el acero ASTM A 36 sin embargo, su método de fabricación no es el adecuado (no son estirados en frío o tienen costuras). Razón por la cual es necesario recurrir a proveedores internacionales para la “adquisición” del material.

Autores como (180sx Club, 2021, párr. 22), (Cárdenas Gárate, 2015, p. 31) y (Torres López, 2019, p. 20) afirman que el material mayormente empleado para la construcción de las jaulas antivuelco y que cumple con los requerimientos de la FIA y por lo tanto de la FEDAK es el acero AISI 4130, también conocido como acero cromado 25CrMo4, el cual es una aleación de cromo y molibdeno con base de carbono que tiene una de las mayores resistencias a la tracción por unidad de peso en comparación con otros acero al carbono, lo cual lo hace una opción viable para la selección. No obstante, para asegurar la selección adecuada del segundo material, se emplea la base de datos en línea *MatWeb - MATERIAL PROPERTY DATA*, la cual contiene una gran cantidad de información referente a varios materiales disponibles en la industria, sus propiedades, y su método de fabricación, además, este sitio web permite realizar búsquedas avanzadas previo registro, las cuales permiten encontrar los materiales que se encuentren dentro de la base de datos y que cumplan con las opciones de búsquedas planteadas (ver ilustración 40-2).

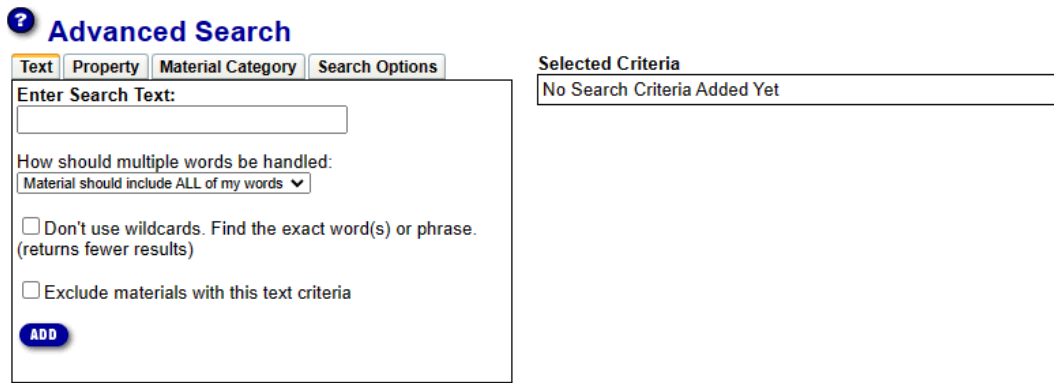



Ilustración 40-2: Criterios de búsqueda disponibles en *MatWeb*

Fuente: Matweb.com, 2022.

Como se observa en la ilustración, la búsqueda de los materiales para las jaulas antivuelco se puede personalizar escribiendo una descripción del material en la opción *Text* (esta descripción debe ingresarse en inglés), seleccionando una propiedad específica del material deseado (como la resistencia a la tracción) en la opción *Property* y escogiendo una familia o categoría a la que el material pertenece, tal y como: metales, cerámicas, plásticos, aceros al carbono, aleaciones, etc. en la opción *Material Category*. Cabe recalcar que, en el modo gratuito esta base de datos permite realizar tres búsquedas avanzadas diarias con un límite de tres aspectos de búsqueda. Motivo por el cual, para la elección de los materiales, se realizaron dos búsquedas en las que se detallan los requisitos que debe tener el material. Los criterios de búsqueda en utilizados se detallan en la tabla 9-2.

Tabla 9-2: Búsquedas realizadas para la selección del material

No. de Búsqueda	Criterios de búsqueda	Ilustración
1	<p>Categoría del Material: Low Carbon Steel (Acero al Bajo Carbono).</p> <p>Propiedad: <i>Tensile Strength, Ultimate From 350 MPa</i> (Resistencia a la Tracción, Última desde 350 MPa).</p> <p>Texto: "cold" AND "drawn" (estirado en frío).</p>	

	Categoría del Material:	Low Carbon Steel (Acero al Bajo Carbono).	
2	Propiedad:	<i>Tensile Strength, Ultimate From 350 MPa</i> (Resistencia a la Tracción, Última desde 350 MPa).	
	Texto:	"seamless" (sin costuras).	

Fuente: Matweb.com, 2022.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

De lo observado en la tabla 9-2 se puede notar que la restricción de 0.3% máximo de carbono no se coloca, esto se debe a que, al colocar la opción “*Low Carbon Steel*” se restringe el contenido de carbono del metal, puesto que, esta categoría de metales se caracteriza por tener aceros al carbono con un contenido de carbono menor o igual a 0.3%. En cuanto a la restricción de la resistencia mínima a la tracción, se escoge la resistencia última del material ya que esta resistencia es el valor de tracción máxima que puede soportar un material antes de que se produzca una rotura o fractura. En la tabla 6-2 se detalla que el material de construcción de la jaula antivuelco debe de ser estirado en frío y sin costuras, razón por la cual se ingresan las palabras: “*cold*” AND “*drawn*” y “*seamless*” para limitar los resultados de búsqueda, de tal forma que, en la primera búsqueda, se obtuvieron un total de 55 materiales y en la segunda búsqueda se obtuvieron un total de 3 materiales, mismos que se encontraron dentro de los 55 materiales de la primera búsqueda, consiguiendo así un total de dos materiales aplicables para la construcción de la jaula, el resultado se reduce a dos materiales (aceros) ya que dos de los tres resultantes corresponden al mismo material pero con diferente presentación (ver ilustración 41-2).

Advanced Search

Text Property Material Category Search Options

Enter Search Text:
seamless

How should multiple words be handled:
Material should include ALL of my words

Don't use wildcards. Find the exact word(s) or phrase. (returns fewer results)

Exclude materials with this text criteria

ADD

Selected Criteria

Type	Criteria	Results
Text	"seamless"	258
Property	Tensile Strength, Ultimate From 350 MPa	192
Material Category	Low Carbon Steel	3

DISPLAY SEARCH RESULTS **RESET**

Found 3 Results -- Page 1 of 1 -- [Prev Page] [Next Page] -- view 200 per page

Use Folder: My Folder Contains: 0/3 **COMPARE MATERIALS** Other Tasks: -- task --

Select	Material Name	Tensile Strength, Ultimate (MPa)
<input type="checkbox"/> 1	AISI 1015 Steel, cold drawn	385
<input type="checkbox"/> 2	AISI 1015 Steel, cold drawn, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round	385
<input type="checkbox"/> 3	AISI 4012 Steel	490

Found 3 Results -- Page 1 of 1 -- [Prev Page] [Next Page] -- view 200 per page

Ilustración 41-2: Resultados de la segunda búsqueda en MatWeb

Fuente: Matweb.com, 2022.

Finalizada la búsqueda, procedemos a realizar una comparación (tabla 10-2) de las propiedades de los dos aceros resultantes de la búsqueda y el acero AISI 4130 mencionado anteriormente.

Tabla 10-2: Propiedades de los aceros AISI 1015, AISI 4012 y AISI 4130

Propiedades	AISI 1015	AISI 4012	AISI 4130
Densidad [g/cm ³]	7,87	7,8	7,85
Dureza, Brinell	111	130	-
Dureza, Knoop	129	-	-
Dureza, Rockwell B	64	-	-
Resistencia a la tracción, última [MPa]	385	420	1426
Resistencia a la tracción, rendimiento [MPa]	325	220	1357
Elongación a la rotura, en 50mm	18 %	23 %	-
Reducción del área	40 %	-	-
Módulo de elasticidad [GPa]	205	190	207
Módulo de volumen [GPa]	106	-	-

Coefficiente de Poisson	0.29	0.29	0.33
Maquinabilidad	60 %	-	-
Módulo de corte [GPa]	80.0	73.0	77.82
Composición química (%)			
Carbono (C)	0.13 – 0.18	0.090 – 0.14	0.30 – 0.37
Hierro (Fe)	99.13 – 99.57	98.2 – 98.9	97.03 – 98.22
Manganeso (Mn)	0.30 – 0.60	0.75 – 1.0	0.40 – 0.60
Fósforo (P)	≤ 0.040	0 – 0.035	≤ 0.035
Azufre (S)	≤ 0.050	0 – 0.040	≤ 0.040
Silicio (Si)	-	0.15 – 0.35	0.15 – 0.30
Molibdeno (Mo)	-	0.15 – 0.25	0.15 – 0.25
Cromo (Cr)	-	-	0.80 – 1.10 %

Fuente: Matweb.com, 2022, MakeItFrom, 2020, & Autodesk Inc, 2023.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

De los datos mostrados en la tabla, es evidente que el acero AISI 4130 es el que mejor se adecua a los requerimientos de la FEDAK, por lo tanto, seleccionamos este acero como segundo material de construcción / simulación, de tal forma que, los materiales que se emplearan en este proyecto son:

- Acero ASTM a 500 Grado C, y
- Acero AISI 4130

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipos de investigación

3.1.1. *Método analítico - sintético*

Esta investigación desarrollará un método analítico – sintético, puesto que, en la elaboración de la lista de requerimientos para la implementación de la jaula antivuelco, se analizaron las diferentes normativas y reglamentos existentes en las entidades que organizan competencias, para luego establecer las normas específicas de este modelo en particular.

3.1.2. *Enfoque*

El enfoque de esta investigación es principalmente cuantitativo, puesto que arrojó datos numéricos sobre cantidades en cuanto a cargas y medidas de la jaula antivuelco. Sin embargo, también tiene elementos cualitativos, debido al estudio de las características del material que se requiere, así como a las normativas y reglamentos que se sugieren.

3.1.3. *Investigación aplicada*

Por su propósito, se trata de una investigación aplicada, pues permite emplear los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y plasmarlos en un diseño para determinar su viabilidad técnica. Además, la ejecución de este proyecto se considera técnica, debido a que promueve la modificación de un producto que existe en otros modelos de vehículos, lo que a su vez conlleva a una mejora en la calidad de la condición de seguridad del Hyundai I10.

3.1.4. *Investigación experimental*

En cuanto a la manipulación de variables, se trata de una investigación experimental, porque se realizaron diferentes simulaciones para establecer el nivel de seguridad, con distintas condiciones de carga y soporte. Las variables son: especificaciones técnicas (dependiente) y deformación (independiente).

3.1.5. Tipos de investigación por la forma de obtención de datos

Por la forma de obtención de datos, se trata de una investigación documental, porque se realizó revisión bibliográfica sobre la mecánica y las diferentes normativas. También, es una investigación de campo, porque se levantarán datos sobre un modelo real. Se puede considerar, además, como investigación de laboratorio, puesto que se hizo simulaciones mediante un *software* donde existió manipulación de variables en forma virtual.

3.1.6. Metodología de Diseño Asistido por Computadora

La metodología para el desarrollo de la propuesta, se sustentó en el Diseño Asistido por Computadora, con las diferentes fases para su creación. Para ello, se usó el programa *ANSYS*, para el análisis estructural mediante las simulaciones de cargas; la base de datos en línea *MatWeb*, para la selección de materiales; programas de diseño, para la creación de la jaula antivuelco; además de programas de procesamiento de textos, para la elaboración de los informes correspondientes.

3.1.7. Técnicas

3.1.7.1. Revisión documental

Se revisó literatura existente de jaulas antivuelco, sobre la carrocería del modelo Hyundai I10 y sobre las normativas y reglamentos de competencias, de entidades como la FEDAK y la FIA. También, se revisaron principios y aplicaciones del dibujo técnico, para el dibujo del boceto en físico, tipos de materiales para la elaboración de la jaula, usos de los diferentes programas para cada una de las etapas de la creación del producto. El instrumento de esta técnica, es el registro documental, mediante carpetas de archivos en PDF o enlaces de las páginas web de cada información.

3.1.7.2. Observación directa

Se realizó la observación del modelo Hyundai I10, al cual se le tomó las medidas internas de ancho, altura, largo, arcos laterales, puntos de anclaje. También se observó el material del habitáculo y los requerimientos técnicos para la elaboración de la jaula antivuelco, en función de las características particulares del vehículo. El instrumento de esta técnica es el registro de observación, mediante fotografías, hojas de apuntes y tablas de Excel.

3.1.7.3. Simulación

Una vez terminado el diseño de dos tipos de jaulas antivuelco, se realizó la simulación con el uso del programa ANSYS, con distintos materiales y cargas, poniendo en experimentación, las variables indicadas anteriormente, que son: las especificaciones técnicas, como variable dependiente; y, la deformación, como variable independiente. Los resultados se registraron en tablas comparativas.

3.1.8. Etapas del Diseño Asistido por Computadora

El desarrollo de la propuesta consta de varias etapas, que son: diseño virtual de los bocetos, inserción de datos en las herramientas del programa, determinación de condiciones de carga estáticas, determinación de soportes, simulación de la estructura estática, corrección del diseño y validación del diseño.

3.1.8.1. Diseño manual de los bocetos

Esta fase inició con la elaboración de un bosquejo en papel de la forma y dimensiones de los componentes que tendrán los dos diseños de jaula antivuelco. Estos bosquejos se muestran en las ilustraciones 1-3 y 2-3.

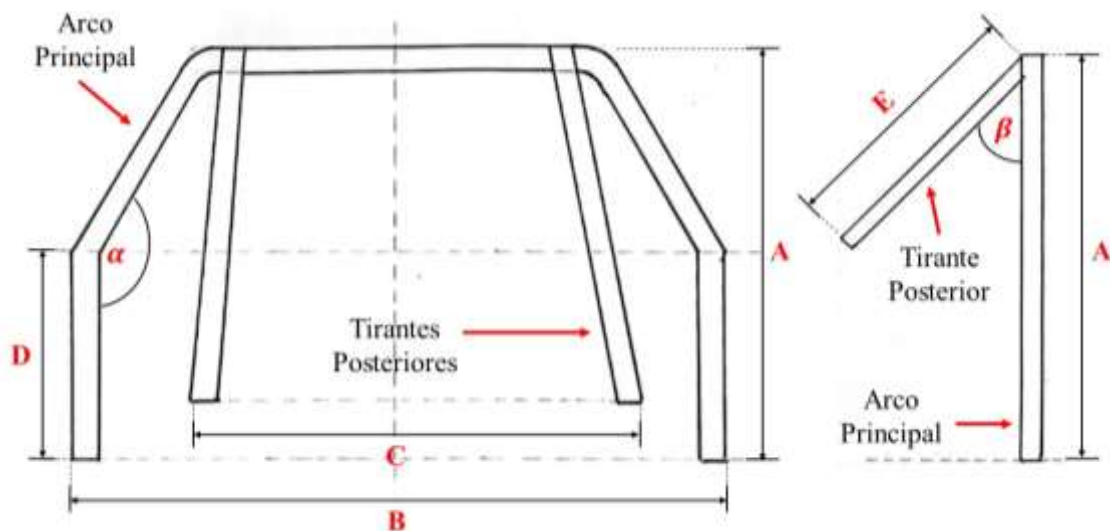


Ilustración 1-3: Boceto de arco principal más tirantes, vista posterior y lateral, jaula 1 y 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

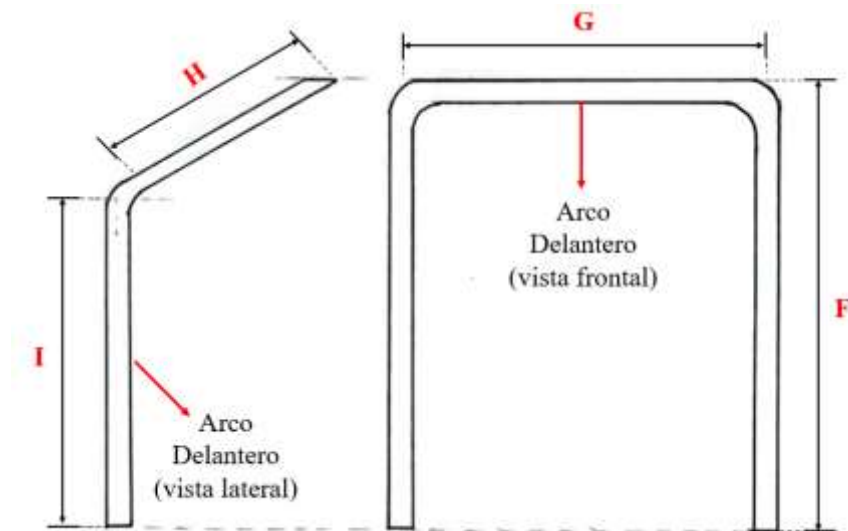


Ilustración 2-3: Boceto de arco frontal, jaulas 1 y 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

3.1.8.2. Diseño virtual de los bocetos

A continuación, se realizó el diseño virtual, con el uso del *software Paint*, para el dibujo base de la vista de las jaulas antivuelco, como se muestra en las ilustraciones 3-3, 4-3, 5-3 y 6-3 de la configuración lateral y posterior.



Ilustración 3-3: Configuración lateral jaula de seguridad, jaula 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.



Ilustración 4-3: Configuración posterior jaula de seguridad, jaula 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

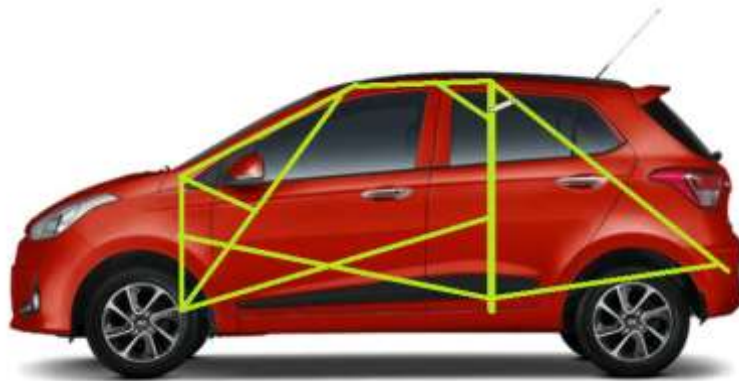


Ilustración 5-3: Configuración lateral jaula de seguridad, jaula 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.



Ilustración 6-3: Configuración posterior jaula de seguridad, jaula 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Con ello, se inició el diseño del croquis para las jaulas 1 y 2 con el uso del *software SolidWorks*, a continuación, se detalla el proceso de diseño para las dos jaulas:

Diseño jaula 1

Estructura base:

- Se ejecutó el programa *SolidWorks* y al hacerlo apareció una ventana emergente para la creación de nuevos documentos, con la opción “Pieza” conforme a lo visto en la ilustración 7-3.

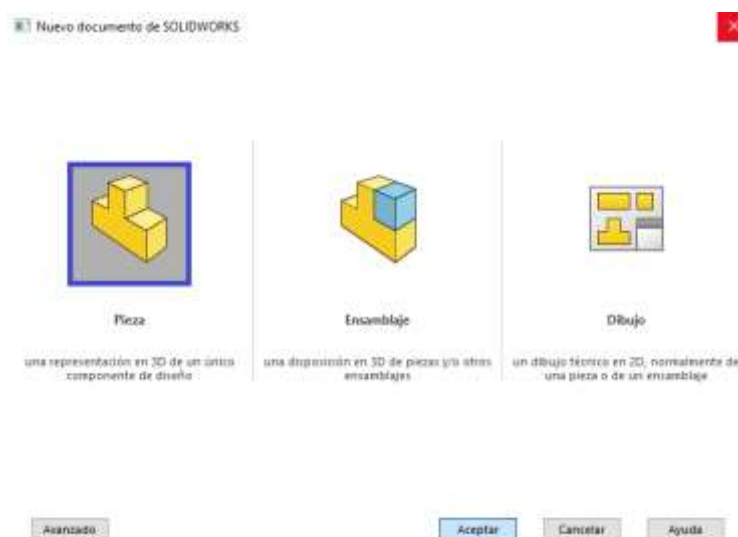


Ilustración 7-3: Creación de documentos en *SolidWorks*

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Creado el nuevo documento tipo “Pieza” se seleccionó el sistema de referencia en el diseño, en este caso se usó un sistema tridimensional, el cual se creó usando la opción “Croquis 3D” del menú “Croquis” (ilustración 8-3).

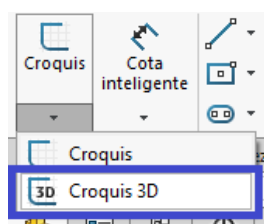


Ilustración 8-3: Selección del sistema de referencia

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Creado el sistema de referencia tipo 3D (ejes x, y & z), se seleccionó la vista frontal (plano x & y). Luego, con la opción “línea constructiva” (ver ilustración 9-3), se creó una línea horizontal que parte desde el origen y que se ubique a lo largo del eje x, y una línea vertical que se ubique a lo largo del eje y, cuyo inicio es el punto final de la línea horizontal. La línea horizontal se acota con la mitad de la dimensión “B”, en tanto que, la línea vertical se acota con la totalidad de la dimensión “A”. Después, con la opción “línea” se creó la mitad del diseño del arco principal, se lo acota de tal forma que el croquis quede definido y se realizan los redondeos respectivos (ver ilustración 10-3), cumpliendo con el requisito de diseño 9 detallado en el capítulo 2.

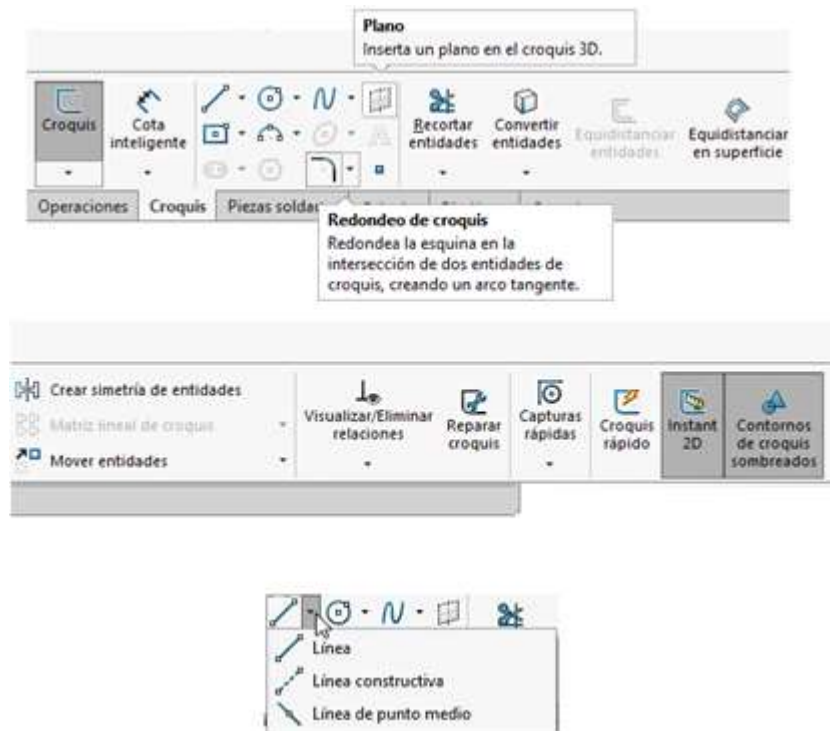


Ilustración 9-3: Herramientas del software de diseño SolidWorks

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

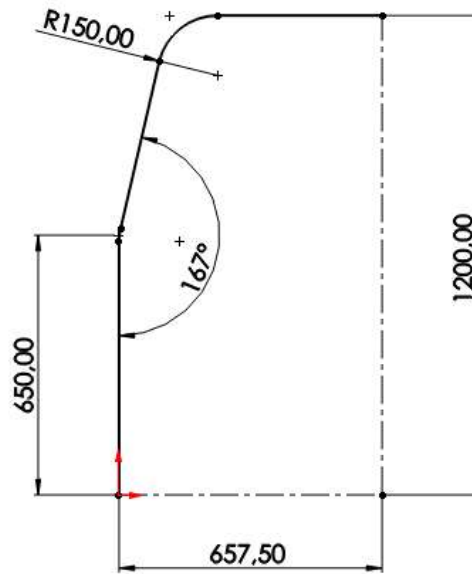


Ilustración 10-3: Croquis del Arco Principal (mitad)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Se creó un plano de croquis con la opción “Plano” (ilustración 9-3) tomando como referencia a la línea constructiva vertical y al plano “Alzado”, para así realizar una simetría de los elementos que conforman la mitad del arco principal (ilustración 11-3). Se completó este arco y a su vez ahorrar recursos computacionales y no sobre acotar el diseño.

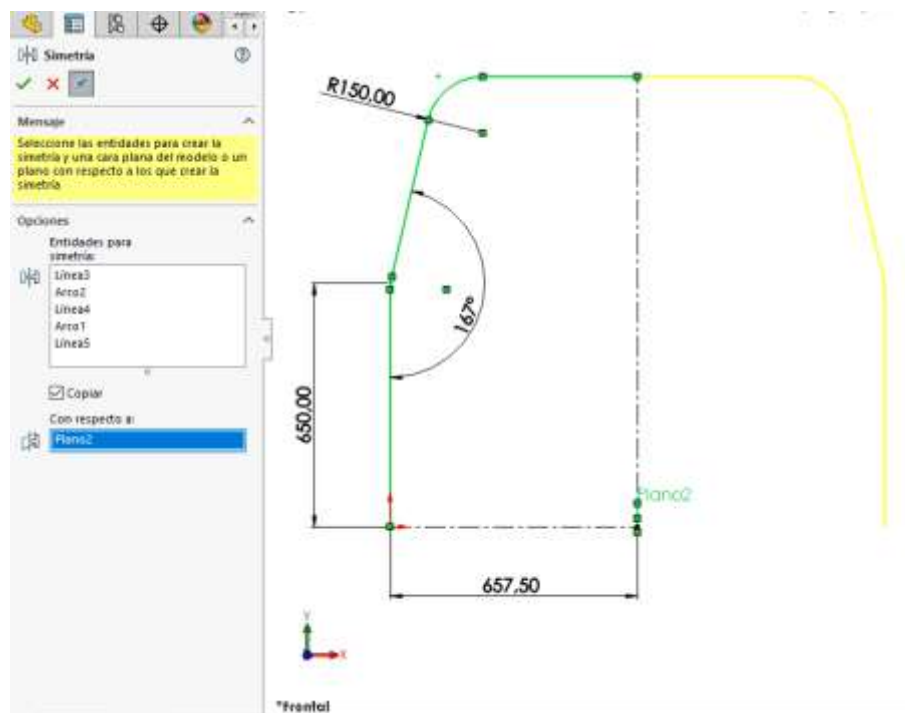


Ilustración 11-3: Simetría de elementos y finalización del croquis del arco principal

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Finalizado el croquis del arco principal, se creó una línea constructiva a lo largo del eje z, que parte desde el origen y que se acota con la distancia lateral que existe entre el arco principal y el arco delantero. Luego, se trazaron cuatro líneas constructivas más, formando una “L” (ver ilustración 12-3) con el fin de garantizar la correcta ubicación del arco delantero con respecto al arco principal.

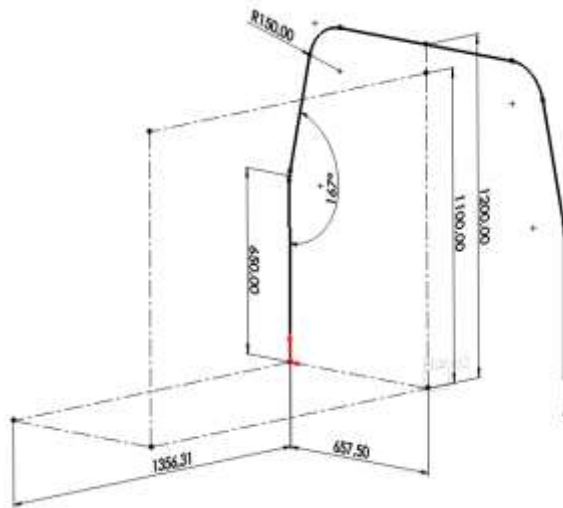


Ilustración 12-3: Líneas constructivas para el croquis del arco delantero

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Se realiza el croquis de la mitad del arco delantero, se lo acota con las dimensiones de la tabla 1-3 y se redondea, de tal forma que el croquis quede definido (ilustración 13-3). Se trazan líneas constructivas desde la parte superior e inferior del arco delantero para corroborar lo establecido en el requisito de diseño 7 (ver ilustración 14-3).

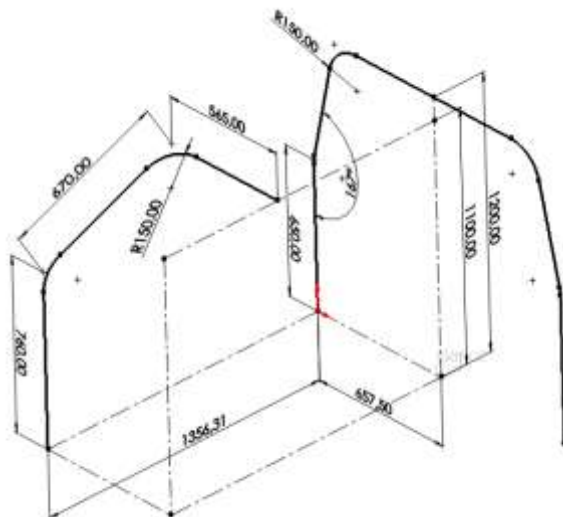


Ilustración 13-3: Diseño de la mitad del arco delantero

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

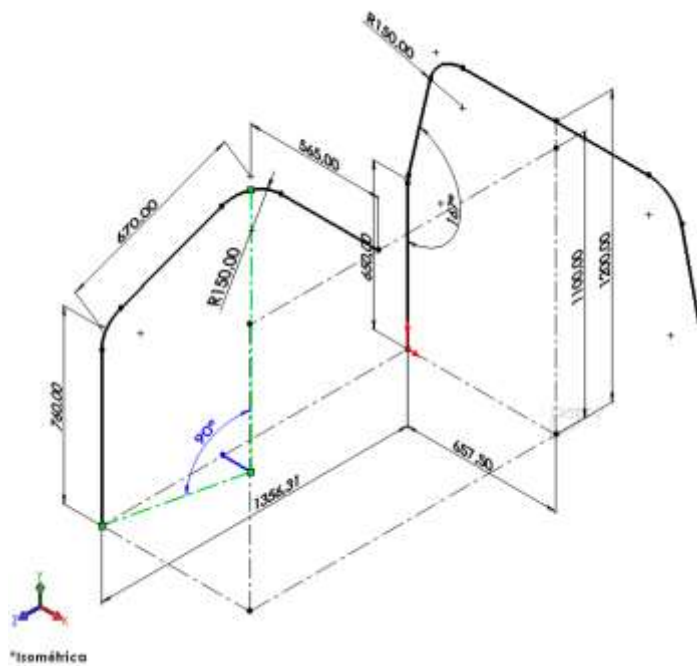


Ilustración 14-3: Comprobación del requisito de diseño 7

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Luego se establece una simetría de la mitad del croquis del arco delantero, para obtener el arco delantero completo, tal y como se muestra en la ilustración 15-3.

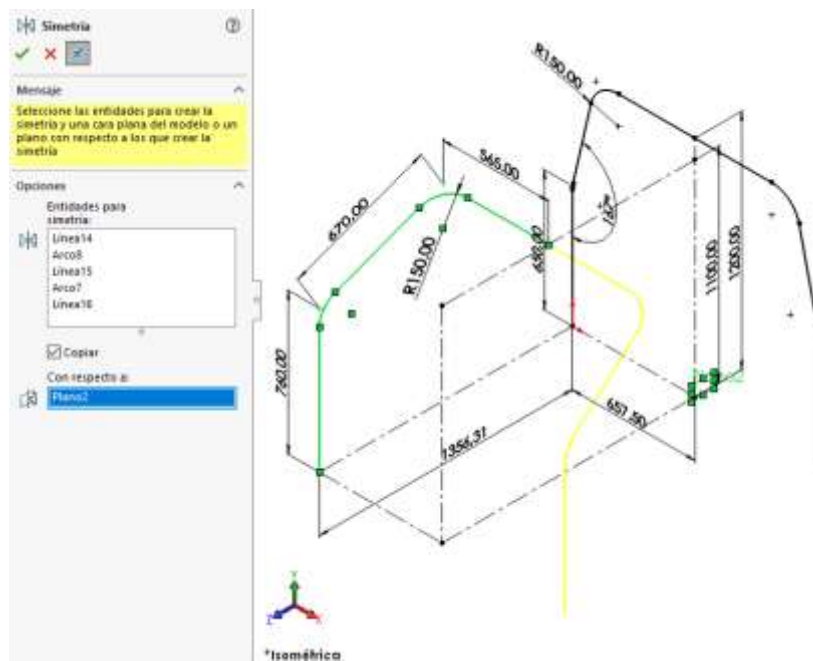


Ilustración 15-3: Simetría de elementos y finalización del croquis del arco delantero

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Finalizado tanto el arco principal como el delantero, se coloca uno de los tirantes longitudinales que unen a ambos arcos con la opción “línea”, procurando que tanto el origen como el fin de este tirante sea el punto medio de los dobleces de los arcos. Luego se establece la respectiva simetría (ilustración 16-3).

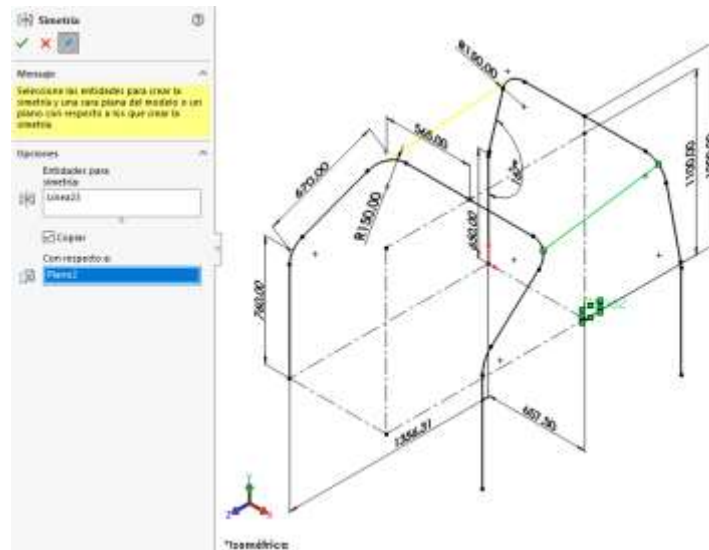


Ilustración 16-3: Colocación de los tirantes longitudinales

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- A continuación, se dibuja uno de los tirantes posteriores (ilustración 17-3) con la ayuda de líneas constructivas, para asegurar la correcta disposición de este elemento y su equidistancia. Se crea la respectiva simetría (ilustración 18-3).

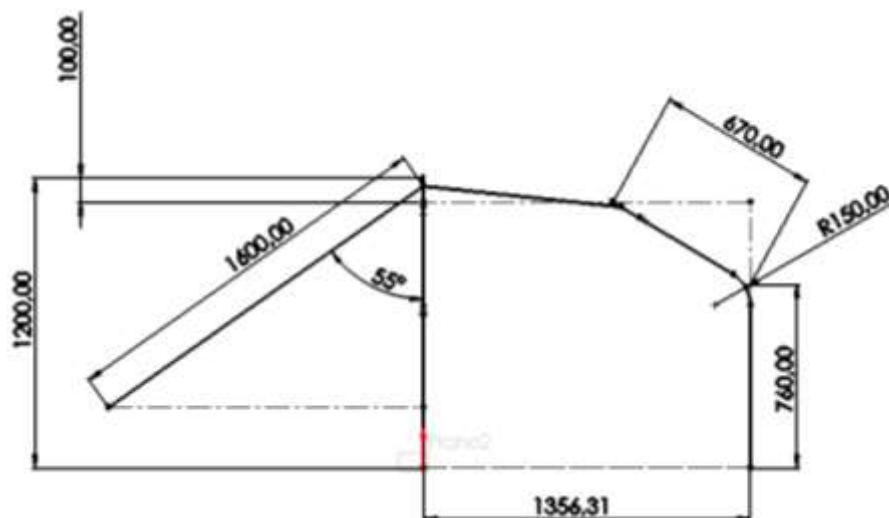


Ilustración 17-3: Dimensionamiento de los tirantes posteriores

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

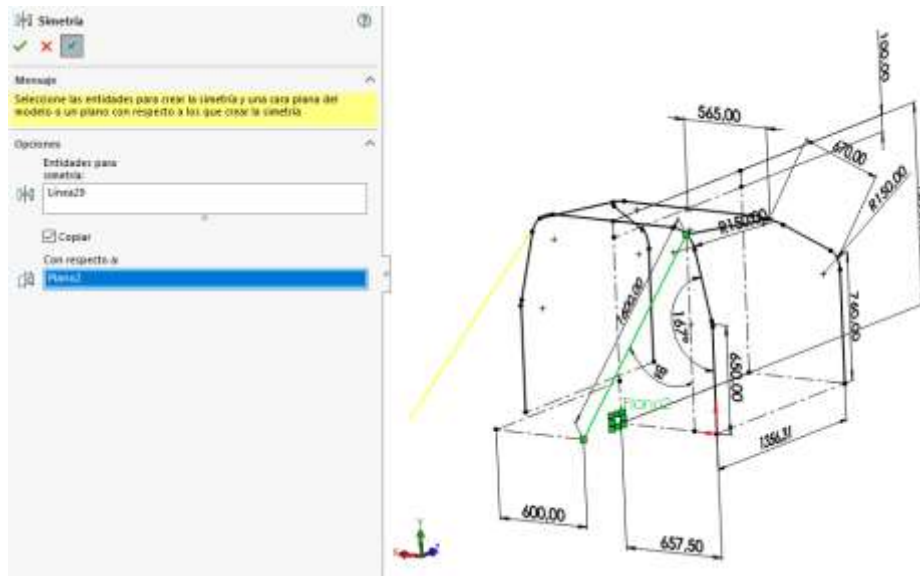


Ilustración 18-3: Simetría de los tirantes posteriores

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Después se dibuja el tirante diagonal que une a los tirantes posteriores, siguiendo la disposición “A” mostrada en el requisito de dibujo 1, tal y como se muestra en la ilustración 19-3. Con este croquis culmina el diseño de la estructura base de la jaula No. 1.

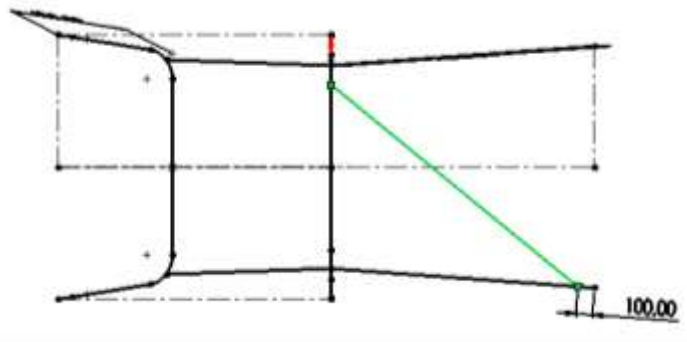


Ilustración 19-3: Dibujo del tirante diagonal de unión en disposición “A”

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Requisitos mínimos y obligatorios:

- Concluida la estructura base, se procede con los refuerzos obligatorios. El primero de estos refuerzos, son los tirantes diagonales ubicados en el arco principal. Se dibuja uno de ellos, según las indicaciones del requisito 2, luego se realiza la respectiva simetría para obtener el refuerzo completo (ilustración 20-3).

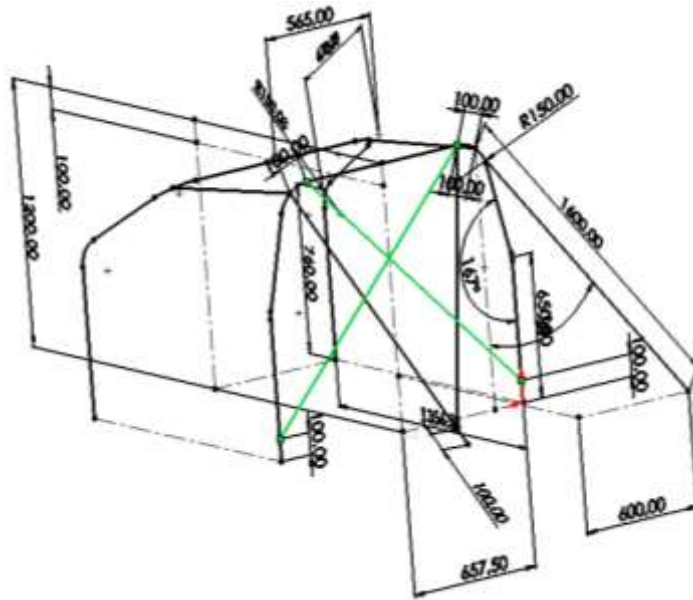


Ilustración 20-3: Refuerzo en “X” (líneas verdes) en el arco principal

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Terminado el paso anterior, se realizó el croquis del requisito 3, una escuadra/cartela de refuerzo, siguiendo las disposiciones de dimensión mencionadas en el requisito 10. Esto se efectúa en ambas conexiones de los tirantes posteriores con el arco principal (ver ilustración 21-3).



Ilustración 21-3: Cartela / Escuadra de refuerzo obligatoria (línea verde)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Luego se dibujan tirantes diagonales en el techo en base al requisito 4, disposición “A” en ambas conexiones de los tirantes posteriores con el arco principal (ilustración 22-3).

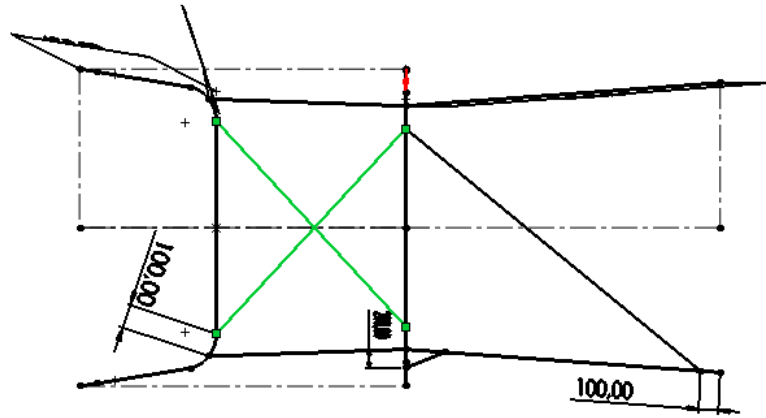


Ilustración 22-3: Tirantes de refuerzo en “X” para el techo, disposición A

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Se realizan los dibujos de los refuerzos en los laterales en base al requisito 5, disposición “A” (ilustración 23-3) teniendo en cuenta las disposiciones de cotas mostradas en el requisito 8.

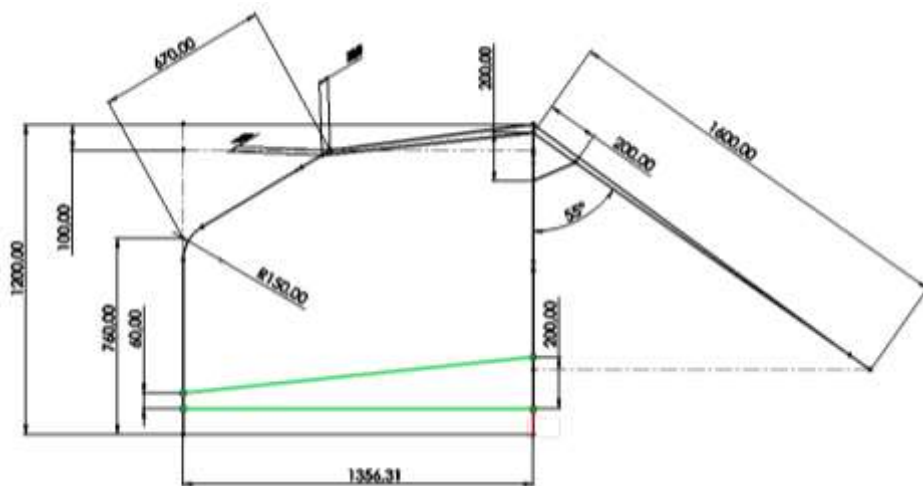


Ilustración 23-3: Tirantes de refuerzo para los laterales (puertas), disposición “A”

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Ya que la dimensión “A” (ver capítulo 2) si es mayor a 200mm (ver ilustración 24-3) se dibuja un tirante de refuerzo para el parabrisas, en base al requisito 6, como se observa en la ilustración 25-3.

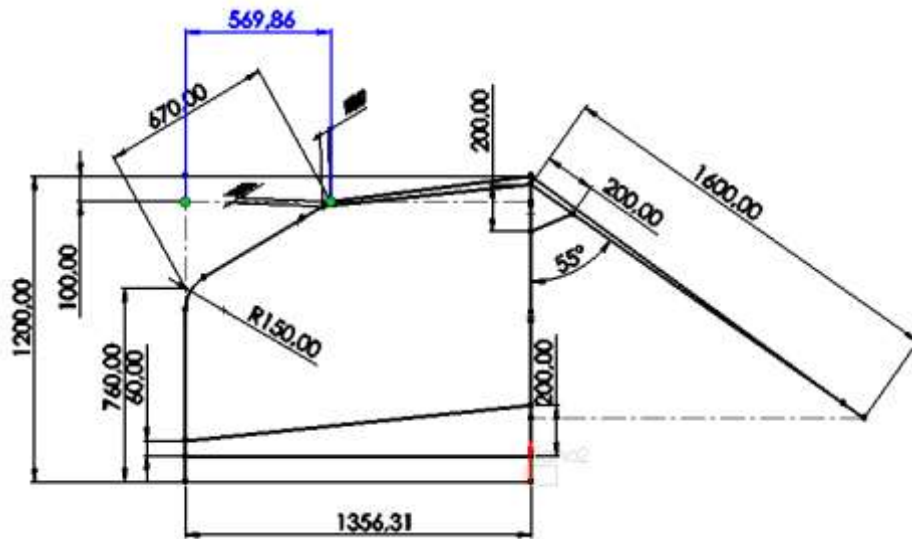


Ilustración 24-3: Dimensión “A” del requisito 6 (Cota Azul).

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

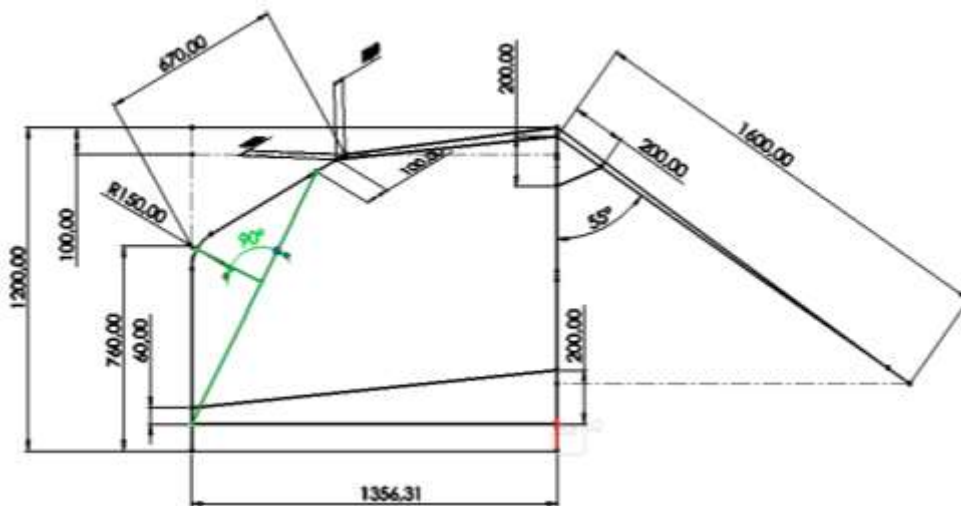


Ilustración 25-3: Tirantes de refuerzo entre la esquina superior del parabrisas y la base del arco delantero (líneas verdes)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Para concluir con los requisitos obligatorios, se colocan cartelas en la unión de dos tubos. Se colocan cartelas en: los tirantes diagonales de refuerzo para el techo y para el arco principal.

Tirante y refuerzos opcionales:

- Se coloca únicamente un refuerzo de ángulos o uniones entre el tirante longitudinal y el arco principal (ambos lados) en base a lo observado en la ilustración 31-2. Este proceso se debe hacer siguiendo a las instrucciones de dimensionamiento del requisito 8 (ilustración 26-3).

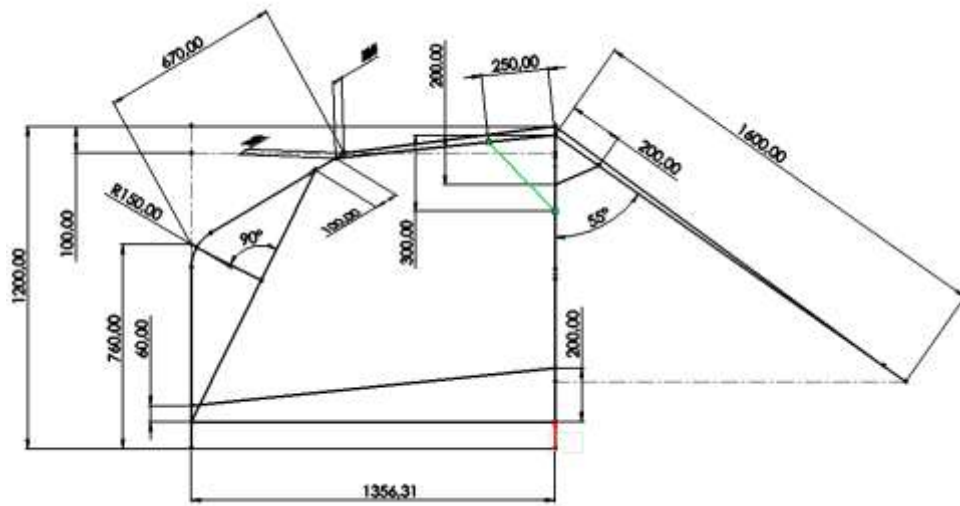


Ilustración 26-3: Tirantes para refuerzo de ángulos o uniones (línea verde)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Se dibuja un tirante transversal de refuerzo en el arco delantero en base a la ilustración 30-2, esta se ubica en el punto medio del primer dobléz del arco delantero, antes de que este siga el marco del parabrisas (ver ilustración 27-3).

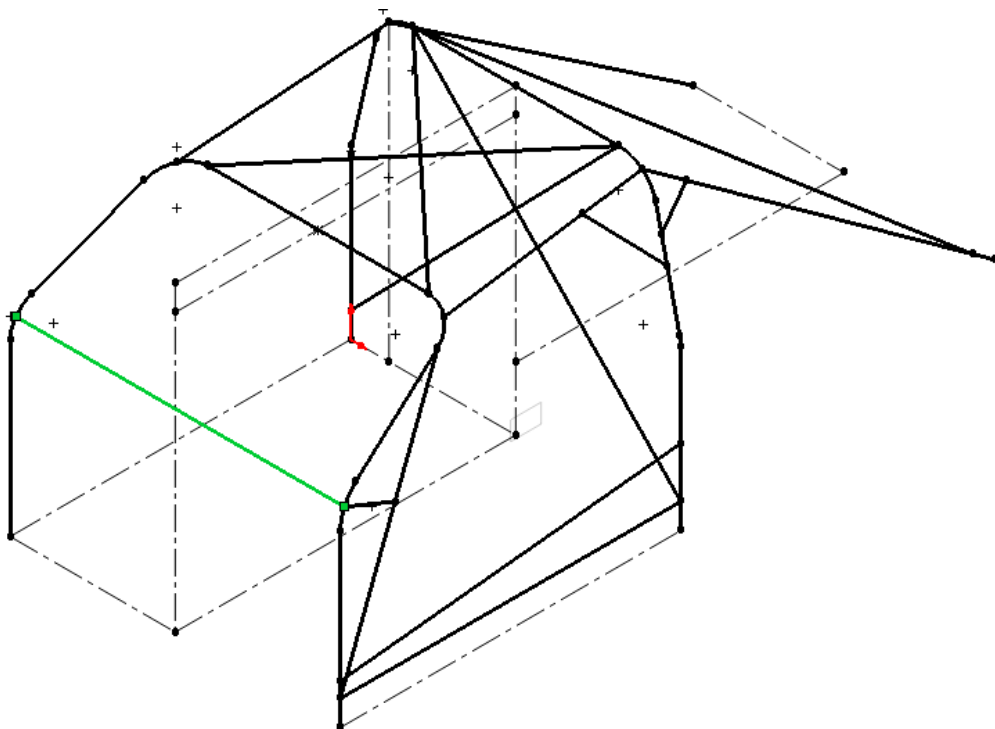


Ilustración 27-3: Tirante transversal de refuerzo para el arco delantero (línea verde)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Finalizado el paso anterior, se dibujan tirantes de refuerzos a los tirantes posteriores (ilustración 28-3) conforme a la disposición “A” de la ilustración 32-2. Luego se realizaron líneas en los puntos de anclaje de la jaula para la colocación de los pies de montaje, finalizando así el proceso de coquis de la jaula 1.

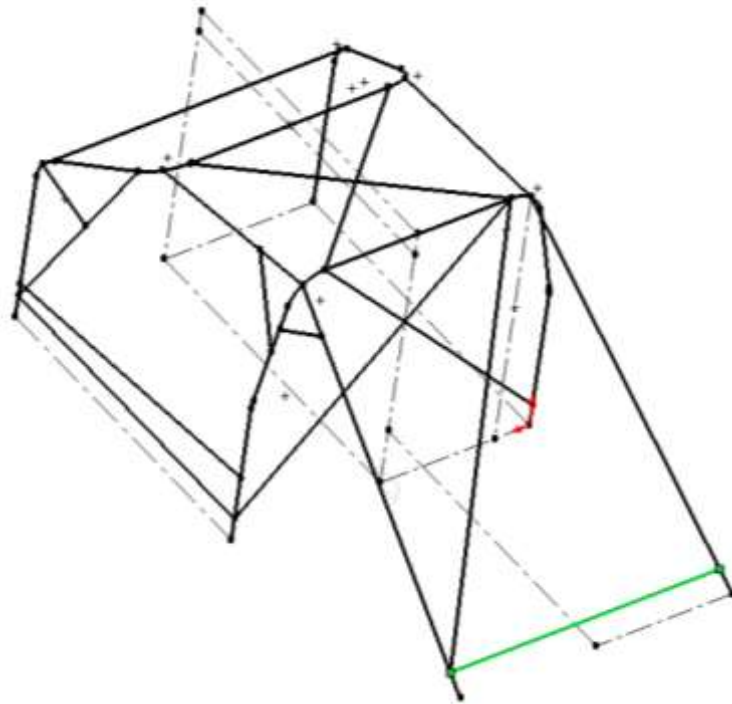


Ilustración 28-3: Tirantes de refuerzo en los tirantes posteriores (línea verde)

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Diseño jaula 2

Estructura Base:

- Puesto que la FEDAK impone un único modelo de estructura base (ver ilustración 14-2) para todas las jaulas antivuelco empleadas en las competencias organizadas por esta federación, el proceso de diseño de esta estructura es el mismo para las jaulas 1 y 2. Sin embargo existe la posibilidad de diferenciar ambas jaulas por la disposición del tirante diagonal de refuerzo empleado en los tirantes posteriores. En el caso de la jaula antivuelco No. 2, este elemento fue diseñado usando la disposición “B” (ver ilustración 29-3) explicada en el capítulo anterior.

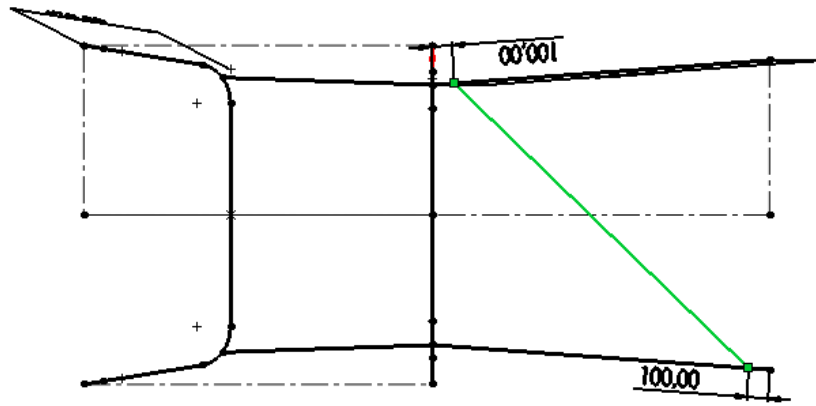


Ilustración 29-3: Dibujo del tirante diagonal de unión en disposición “B”

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Requisitos mínimos y obligatorios:

- Los requisitos mínimos y obligatorios son los mismos para ambas jaulas, sin embargo, varios de estos requisitos tienen la posibilidad de variar ya sea en su forma o en su disposición/ubicación. Los tirantes y elementos que pueden variar son: los tirantes de refuerzo para el techo y los tirantes para refuerzo en los laterales (puertas). Ambos refuerzos siguieron la disposición “B” en el diseño de la jaula antivuelco No. 2, tal y como se observa en las ilustraciones 30-3 y 31-3.

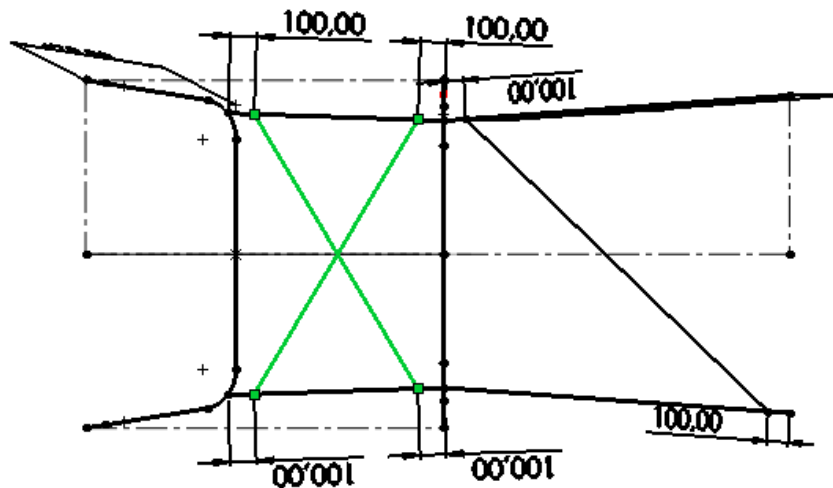


Ilustración 30-3: Tirantes de refuerzo en “X” para el techo, disposición B

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

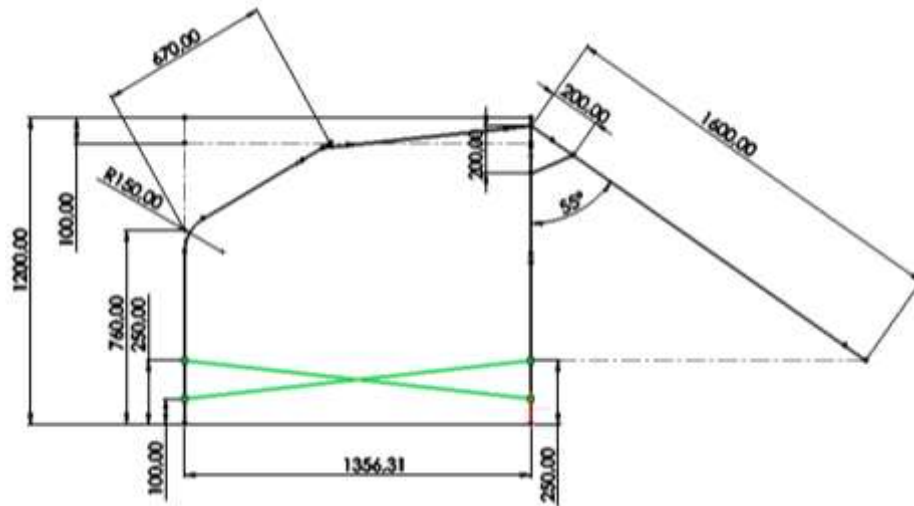


Ilustración 31-3: Tirantes de refuerzo en “X” para los laterales (puertas), disposición B

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- En cuanto a los requisitos mínimos restantes, estos son exactamente iguales en ambas jaulas, por lo cual el proceso de diseño de estos elementos es el mismo que el empleado en la jaula antivuelco No. 1. En el caso del diseño de la jaula No. 2 se colocaron cartelas de refuerzo en: los tirantes diagonales de refuerzo para los laterales (puertas); los tirantes diagonales de refuerzo para el techo y para el arco principal.

Tirantes y refuerzos opcionales:

- En ambos diseños de jaulas antivuelco se colocaron los mismos tirantes y refuerzos opcionales, en la misma disposición, a excepción de los tirantes de refuerzos a los tirantes posteriores. En la jaula No. 1 se siguió la disposición “A” para el croquis de este elemento, en tanto que, en el diseño de la jaula No. 2 se siguió la disposición “B” de dicho elemento. Luego se realizaron líneas en los puntos de anclaje de la jaula para la colocación de los pies de montaje (ilustración 32-3), finalizando así el proceso de croquizado de la jaula 2.

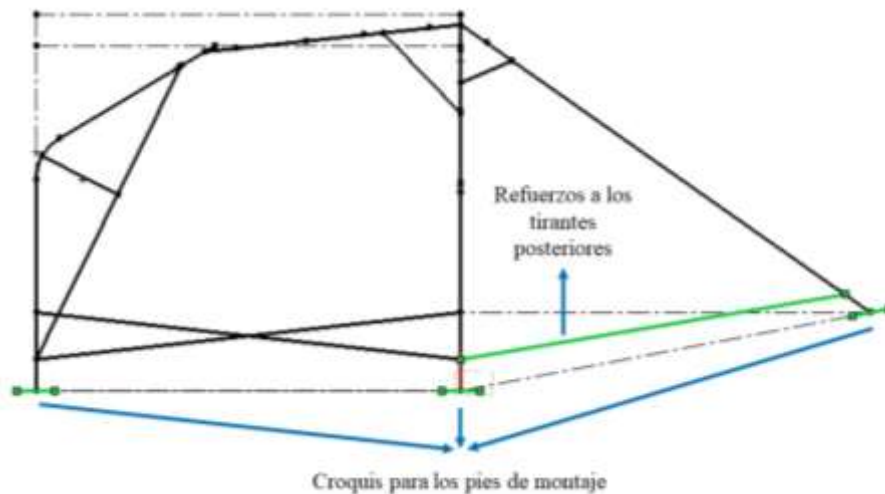


Ilustración 32-3: Tirantes de refuerzo para los tirantes posteriores. Pies de anclaje
Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

3.1.8.3. Inserción de datos en las herramientas del programa

Se empleó el *software SolidWorks*, con el uso del menú “Piezas Soldadas”, y con la aplicación de la herramienta “Miembro estructural” se asignaron los perfiles tubulares correspondientes para el arco principal, el arco frontal, tirantes longitudinales, transversales, posteriores y demás refuerzos en ambas jaulas. Además, se emplearon las herramientas “Recortar/Extender”, “Geometría de Referencia - Plano” del menú “Piezas Soldadas” para recortar eficazmente los tubos que tenían contacto entre ellos. También se empleó la herramienta “Simetría” del menú de “Operaciones” para facilitar la creación de las cartelas y los pies de montaje. Los perfiles tubulares que se escogieron son: 50 x 2mm para el arco principal, delantero y su conexión (tirantes longitudinales), y 40 x 2mm para los demás elementos de las jaulas. En el caso de las cartelas se usaron diferentes perfiles tipo “U” para cada jaula. Los menús y opciones empleadas para los diseños de las jaulas antivuelco se pueden observar en las ilustraciones 33-3 y 34-3.

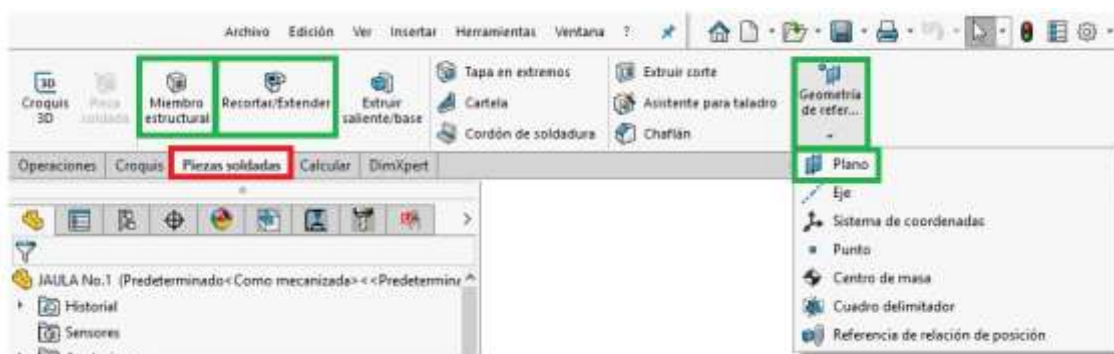


Ilustración 33-3: Opciones del menú Piezas Soldadas usadas en el diseño de las jaulas
Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.



Ilustración 34-3: Opciones del menú Operaciones usadas en el diseño de las jaulas

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

3.1.8.4. Determinación de las condiciones de carga estática

Se realizó la revisión documental del Reglamento de Homologación para Jaulas de Seguridad de la Federación Internacional del Automóvil, que establece, como condiciones de carga estática a las fuerzas que se detallaron en el capítulo anterior: $F_1 = 106875$ N aplicados verticalmente en el arco principal; $F_2 = 49875$ N aplicados entre el arco delantero y el lado del conductor; y $F_3 = 49875$ N aplicados horizontalmente en el arco principal. Todas estas fuerzas se aplicaron a través de un sello de acero cuyas dimensiones se especificaron en el capítulo anterior. Las disposiciones de los sellos son las mismas para las simulaciones de las dos jaulas, estas se pueden observar en las ilustraciones 35-3, 36-3 y 37-3.

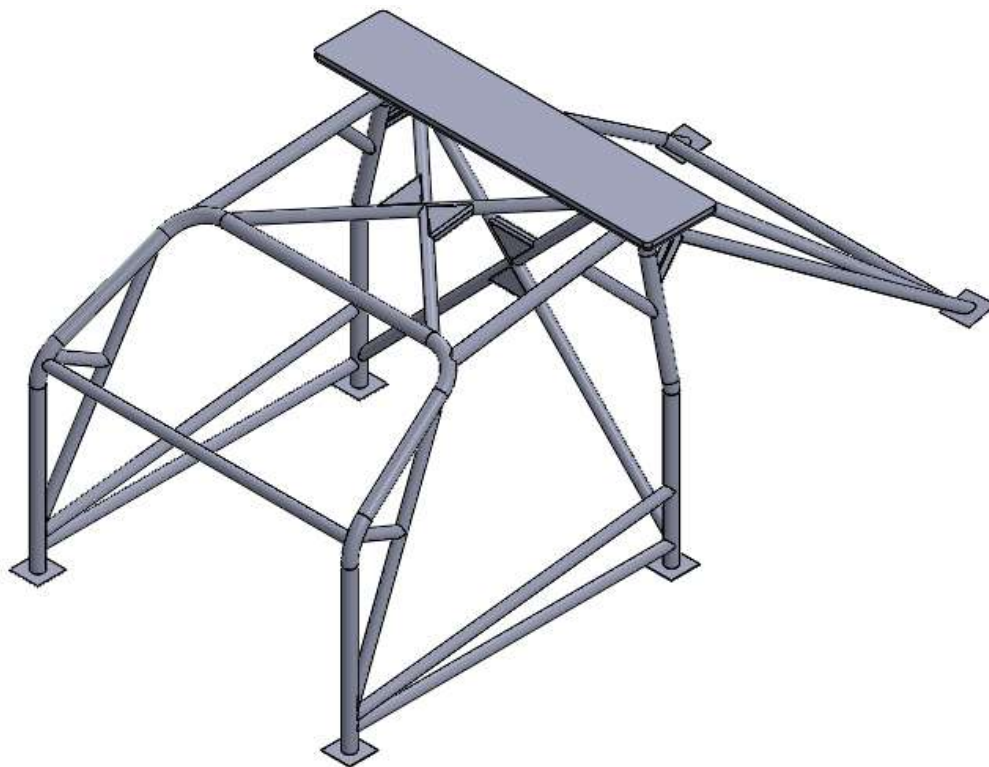


Ilustración 35-3: Sello de acero 1: carga vertical en el arco principal

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

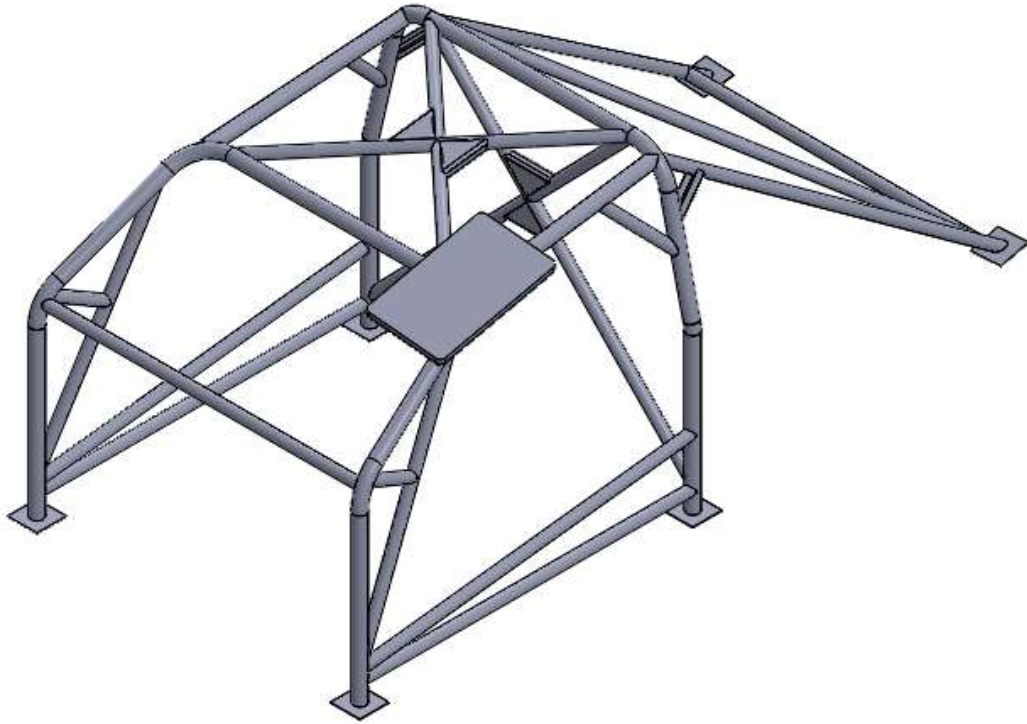


Ilustración 36-3: Sello de acero 2: carga entre el arco delantero y el lado del conductor

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

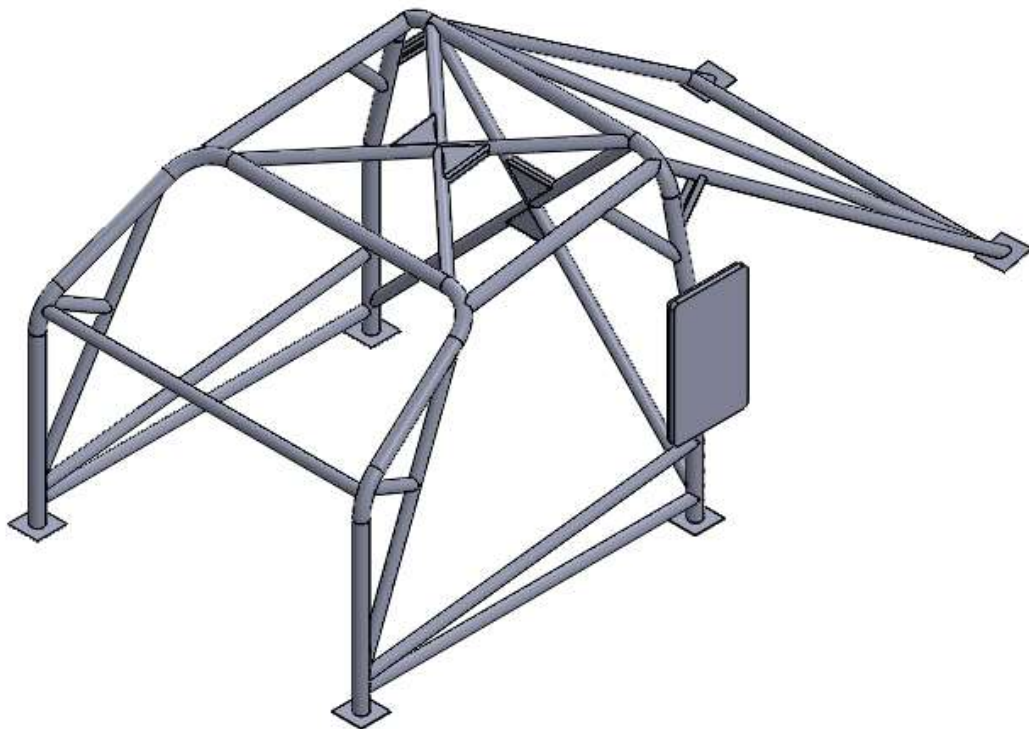


Ilustración 37-3: Sello de acero 3: carga horizontal en el arco principal

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

3.1.8.5. Determinación de soportes

Al hablar de soporte se hace referencia a los anclajes de las jaulas antivuelco, específicamente a los pies de montajes, ya que estos elementos estarán soldados a la parte inferior de los tubos y a la carrocería o chasis, tal y como indica la FEDAK, teniendo 6 puntos de anclaje o soportes en las Jaulas No. 1 y 2.

Se estableció que, para ambos diseños de jaulas antivuelco, el material de los tubos es acero al carbón. En función de los requerimientos de la FEDAK, se buscó material que contenga menos de 0.3% de carbón, como se indicó en el marco teórico. Por ello, para la simulación de ambas jaulas se eligió el Acero ASTM A500 Grado C y el Acero AISI 4130. Cabe recalcar que elementos como las cartelas y los pies de montajes no serían elaborados con estos materiales, sino que, en su lugar, se conformarían de acero estructural. Los sellos de acero en los cuales se aplicó la fuerza previamente calculada también serían de acero estructural.

3.1.8.6. Simulación de estructura estática

Para realizar la simulación, se dibujaron los tres sellos de acero necesarios para la aplicación de las cargas, en los diseños finales de las jaulas (ver ilustraciones 38-3 y 39-3) con el fin de agilizar el proceso de simulación.

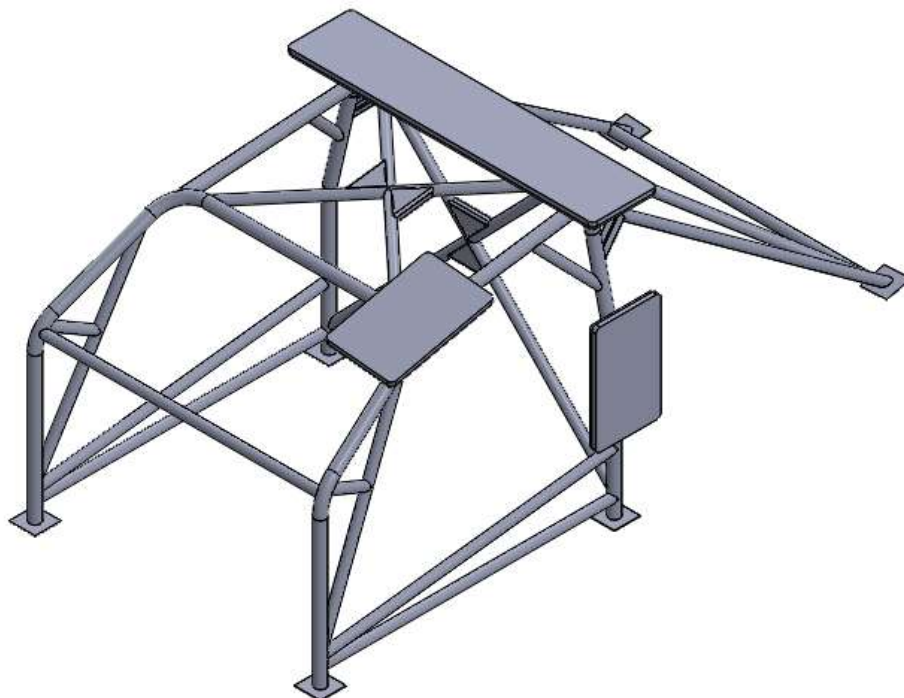


Ilustración 38-3: Sellos de acero en la jaula antivuelco No. 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

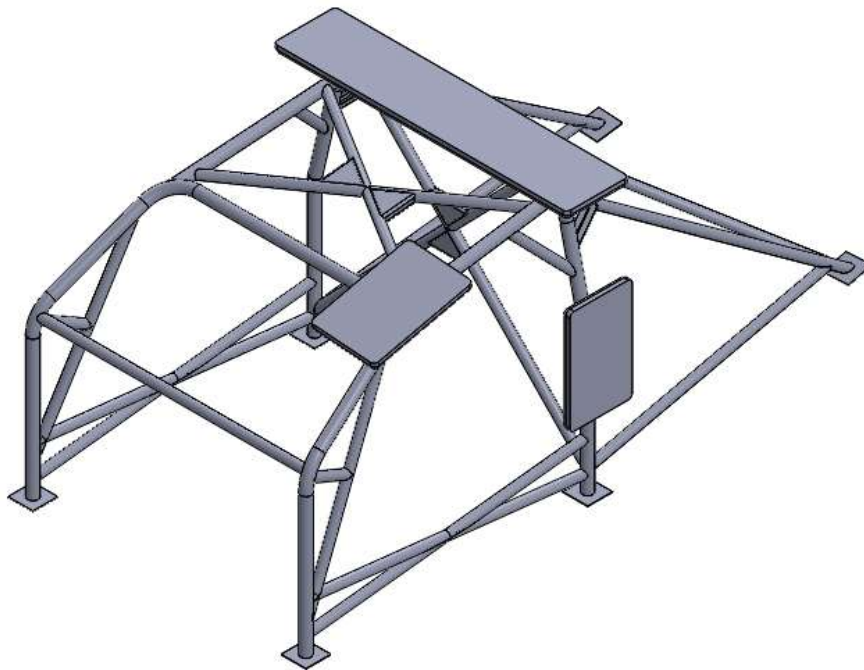


Ilustración 39-3: Sellos de acero en la jaula antivuelco No. 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Hecho esto, se importó desde el *software SolidWorks* el diseño al *software ANSYS Workbench*, con el fin de probar las deformaciones de la estructura con la aplicación de cargas, según lo establecido por la FIA. A continuación, se detallan los pasos para la simulación:

- Se ejecutó el software *ANSYS Workbench*, y, en la ventana de “*Toolbox*”, en el menú de “*Analysis Systems*” se dio doble clic en la opción “*Static Structural*”. Al hacer esto apareció un recuadro con todos los componentes o células del sistema de análisis estático estructural (ver ilustración 40-3).

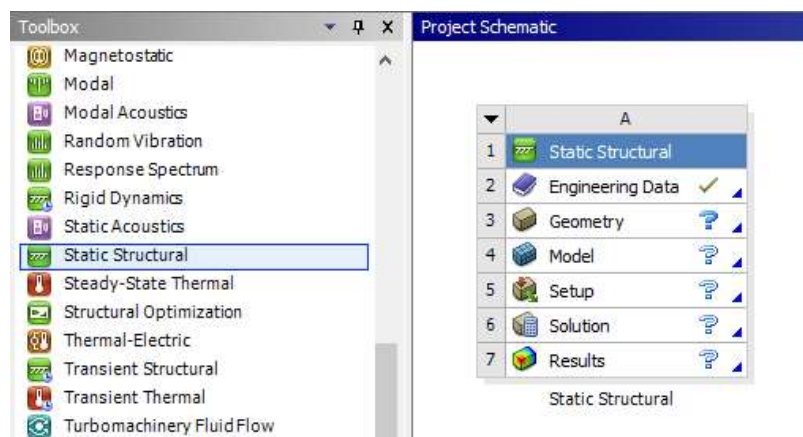


Ilustración 40-3: Entorno de ANSYS Workbench

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Cabe recalcar que en cada célula o componente se encuentra un signo de interrogación, el cual es un indicativo que de dicho componente no se encuentra definido o no contiene ningún dato, el visto indica que el componente se encuentra plenamente definido.

- El componente “*Engineering Data*” es el encargado de contener toda la información de los materiales de simulación. El *software* carga al acero estructural como material de simulación por defecto, motivo por el cual se deben escoger los materiales de simulación de la biblioteca de ANSYS si no se desea simular con el acero estructural o añadir uno nuevo si el *software* no dispone de este. Para hacer esto, se presiona con doble clic sobre el componente y se despliega una ventana con todas las opciones del componente (ver ilustración 41-3). Para escoger un material de la biblioteca de ANSYS se presionó la pestaña “*Engineering Data Sources*” y se busca el material requerido. Por otro lado, para añadir un nuevo material “*Engineering Data*” se ingresó materiales asignándoles una o más de las propiedades mostradas en la caja de herramientas (*Toolbox*). De esta forma, se añadieron los aceros ASTM A500 Grado C y AISI 4130 en el componente “*Engineering Data*”, ingresando las propiedades de dichos aceros, especificadas en las tablas 8-2 y 10-2. Cabe mencionar que, este componente permite asignar colores a los materiales para facilitar su diferenciación.

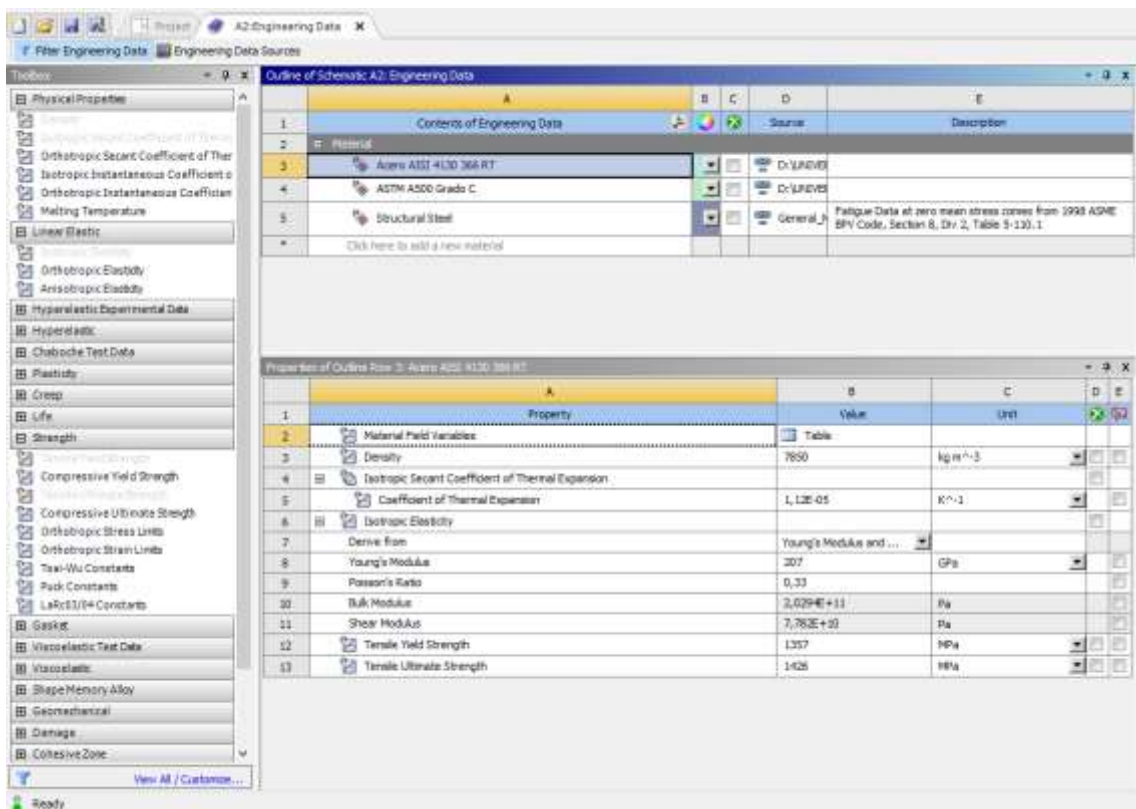


Ilustración 41-3: Entorno del componente Engineering Data

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Ya teniendo los materiales necesarios para la simulación, se cerró la ventana de “*Engineering Data*” y se importó el diseño (ver ilustración 42-3). Se dio clic derecho sobre el componente “*Geometry*”, se escogió la opción “*Import Geometry*” y se dio clic en “*Browse*”. Con esto se busca el archivo de diseño de la jaula que contiene los tres sellos de acero. Cabe recalcar que en la opción “*Analysis Type*” de las propiedades del esquema de trabajo debe seleccionarse un análisis tipo 3D, caso contrario ocurrirá un error, siempre y cuando el archivo que se importe sea un sólido 3D.

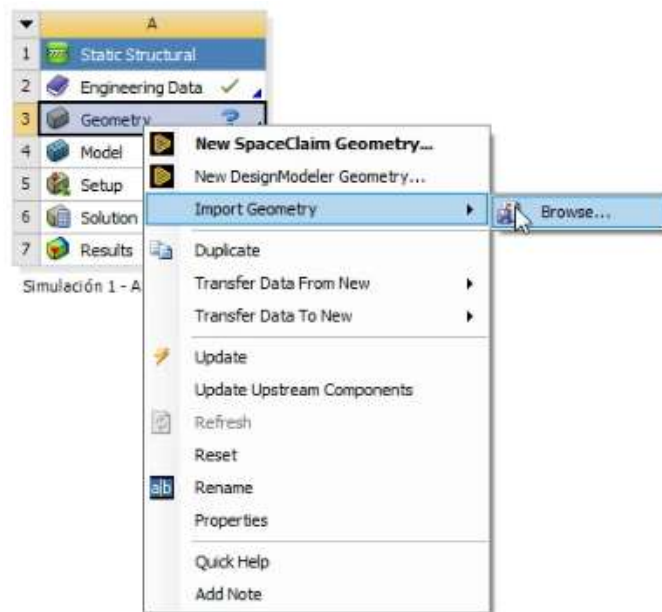


Ilustración 42-3: Importación del diseño de jaula antivuelco

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Cabe recalcar que una de las particularidades de importar archivos desde un *software* de diseño externo de ANSYS (como *SolidWorks*) es que los elementos se dividen en dos caras (ver ilustración 43-3). Para solucionar este inconveniente, se abrieron los archivos de los diseños de las jaulas creados en *SolidWorks* en el *software* de diseño de ANSYS, *SpaceClaim*, el cual puede soportar varias extensiones de archivos de diseño. Luego se guardó el archivo creado en *SolidWorks*, con la extensión “. scdoc” propia de *SpaceClaim*, al hacer esto, las particiones que tendrían los diseños al ser importados desde un software externo se eliminan, obteniendo una única cara por sólido.

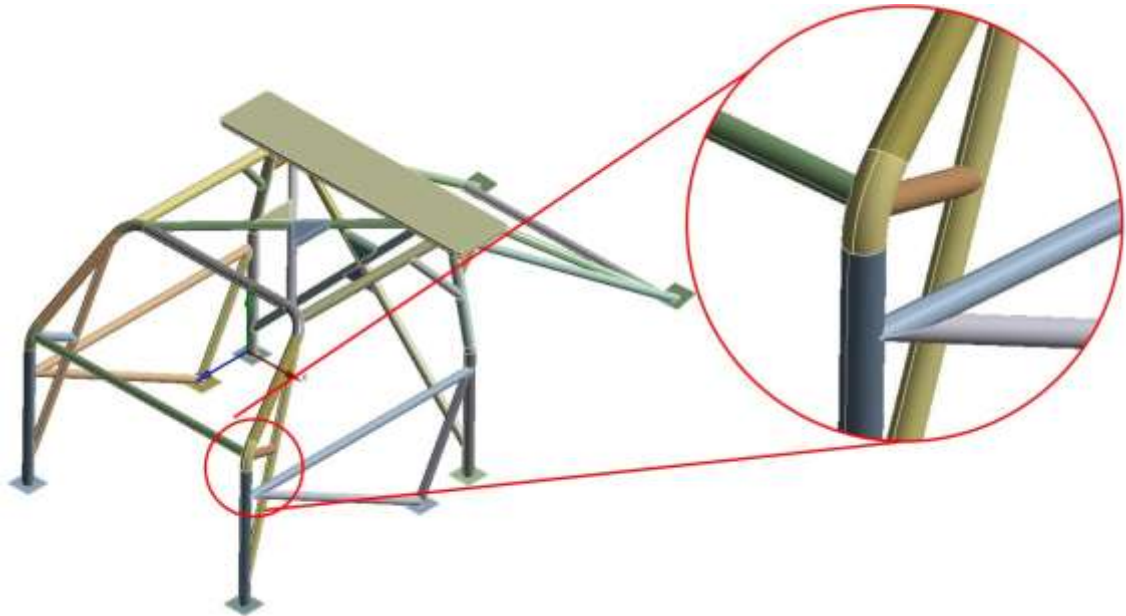


Ilustración 43-3: Particiones en la geometría importada de un software externo

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Una vez importado el diseño, se dio doble clic en el componente “*Model*” lo cual abre una aplicación en el cual se colocarán las condiciones de anclaje / soportes, se asignaron las cargas y se determinaron los desplazamientos y esfuerzos.
- El componente “*Model*” posee varias carpetas (ilustración 44-3) que permiten editar varios aspectos del proyecto en ejecución. Primero está la carpeta “*Geometry*”, en la cual se encuentran todas las piezas o elementos que conforman a la estructura. Esta opción permitió ocultar y suprimir cualquier elemento de la geometría importada, esta característica es de suma importancia, porque permitió suprimir los sellos que no estén bajo análisis, facilitando el proceso de simulación.

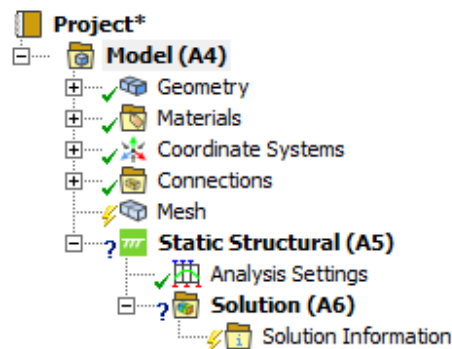


Ilustración 44-3: Opciones del componente Model

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Una vez terminado el proceso anterior, se asignó los materiales a los componentes de la jaula, teniendo en cuenta que únicamente las cartelas, los pies de montaje y los sellos de aplicación de carga son de acero estructural, los demás elementos fueron de acero ASTM A500 Grado C o de acero AISI 4130. Para asignar los materiales, se seleccionaron los elementos deseados y en la ventana de detalles de los elementos, se escogió un material de los que fueron previamente cargados en el componente “*Engineering Data*”.
- Mallado: Asignados los materiales, se generó la malla de la estructura, para este proceso se modificaron las opciones “*Smoothing*” (suavizado), “*Transition*” (transición) y “*Element Size*” (tamaño del elemento) (ilustración 45-3). La opción “*Smoothing*” es una herramienta de adaptación de malla ajusta la posición de los nodos de la malla para mejorar las formas de los elementos y la calidad global de la malla (Bern & Plassmann, 2000, pp. 312-313), es decir, esta herramienta se hace que los elementos finitos se adapten de mejor manera a la forma de los sólidos a mallar. Esta opción viene por defecto en un nivel medio, se cambia a un nivel alto, haciendo que la mayoría de los elementos de malla se adapten o “suavicen” eficazmente con respecto a los demás nodos y elementos circundantes. Por otro lado, la opción “*Transition*” es una opción que se encarga de la velocidad de crecimiento de los elementos adyacentes (ANSYS, Inc, 2013, p. 78), esta opción viene con velocidad rápida (*fast*) por defecto, se cambia a velocidad baja (*slow*) para obtener un crecimiento de elementos de malla más lento, haciendo que no ocurran crecimientos abruptos entre elementos adyacentes (Mechanicalland, 2020, párr. 3-4) provocando que el tamaño de los elementos no cambie de forma abrupta en lugares donde existen cambios de sección, posibilitando que la malla se estructura adecuadamente. En cuando a la opción “*Element Size*” permite especificar el tamaño de los elementos finitos usados en el mallado de todo el modelo (ANSYS, Inc, 2013, p. 77). Para este caso se escogió un tamaño de elementos de 20mm, este tamaño se eligió en base a la capacidad computacional disponible, ya que, tamaños de elementos menores a pesar de que brindaban calidades de malla muy buenas, excedían los límites de memoria del equipo disponible, provocando que la solución no se genere. Estos parámetros de mallado fueron los mismos para cada una de las simulaciones en los dos diseños de jaulas.

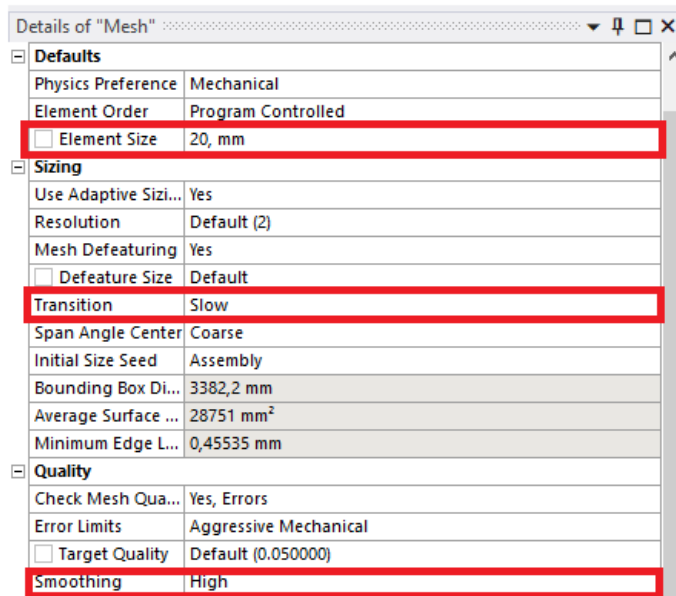


Ilustración 45-3: Control de malla en las simulaciones

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Para evaluar la calidad de malla, en la opción “*Mesh Metric*” se seleccionó “*Element Quality*” (calidad del elemento) y “*Warping Factor*” (factor de deformación) como criterios de calidad de malla, ya que estos permiten evaluar la calidad de elementos en dos y tres dimensiones (2D y 3D). La opción “*Element Quality*” se basa en la relación entre el volumen y la longitud del borde de un elemento determinado (ANSYS, Inc, 2015, p. 45), en sí, evalúa la calidad de los elementos de malla a través de la raíz cuadrada del cubo resultante de la suma del cuadrado de las longitudes de los bordes de un elemento 3D (ANSYS, Inc, 2013, p. 127), este criterio evalúa la calidad del elemento con valores entre cero y uno, en donde el valor de uno indica un cubo o cuadrado perfecto, en tanto que, un valor de cero es señal de que el elemento tiene un volumen cero o negativo (ver ilustración 46-3) (ANSYS, Inc, 2013, p. 127). Por otro lado, la opción “*Warping Factor*” evalúa la calidad del elemento en base a su grado de deformación o alabeo, es decir, la medida en que los elementos finitos se distorsionan (FEA Tips, 2022, párr. 15-16), este criterio también evalúa la calidad en un rango de cero a uno, sin embargo, a diferencia del “*Element Quality*”, el criterio “*Warping Factor*” indica que el valor cero indica un elemento perfecto (sin alabeo) y un valor de uno indica que el elemento se encuentra totalmente distorsionado (ver ilustración 47-3). El factor de deformación en elementos 3D evalúa el grado de deformación para cada una de las caras cuadriláteras del elemento (6 caras cuadriláteras en un hexaedro, 3 caras cuadriláteras en prisma o cuña, y 1 cara cuadrilátera en una pirámide) (ANSYS, Inc, 2013, p. 134), siendo el valor de deformación más alto en cualquiera de las caras, el seleccionado como factor de deformación.



Ilustración 46-3: Criterio de calidad de malla: *Element Quality*

Fuente: ANSYS, Inc., 2015.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

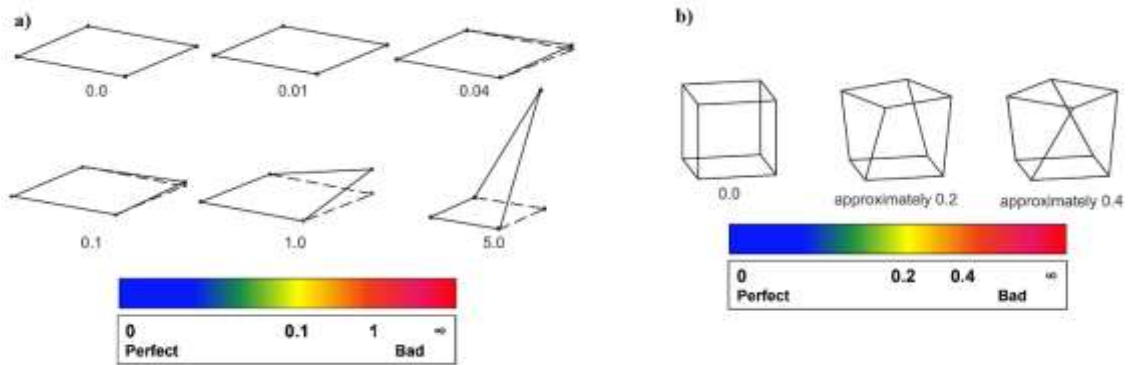


Ilustración 47-3: *Warping Factor* para a) elementos cuadriláteros y b) elementos hexaédricos

Fuente: ANSYS, Inc., 2015.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Terminada la configuración de la malla, se da clic derecho sobre “*Mesh*” y se escoge la opción “*Generate Mesh*”. Este proceso se repitió para cada una de las simulaciones. La configuración de malla realizada en este trabajo tiene como fin la creación de elementos del tipo hexaédrico en las áreas de interés para las simulaciones (arco principal y arco delantero), ya que estos elementos tienden a proporcionar resultados precisos (ANSYS, Inc, 2010, p. 7). Cabe mencionar que, al aplicar esta configuración de malla, si se mallaron elementos tipo hexaedros en el arco principal y delantero, sin embargo, en la curvatura superior del arco delantero (lado del conductor) se generó una malla con elementos tetraédricos, lo cual alteraba la continuidad del tipo de elemento de la malla en el arco, por lo cual se realizó un método de mallado “*MultiZone*” en dicha curvatura para obtener elementos hexaédricos. Este método de mallado únicamente se aplicó en la segunda simulación de ambas jaulas, ya que, en ella se evalúa el comportamiento del arco delantero. La totalidad del arco principal se malló con elementos hexaédricos usando la configuración previamente explicada.

Generada la malla, se evalúan las métricas de calidad, usando el criterio “*Element Quality*” para la calidad global de la malla, y el criterio “*Warping Factor*” para la calidad de los elementos hexaédricos. En la tabla 1-3 se muestran las métricas de malla para cada una de las simulaciones en los dos diseños de jaulas antivuelco.

Tabla 1-3: Criterios de calidad de malla en las simulaciones

			Jaula 1 - ASTM A500 y AISI 4130	Jaula 2 - ASTM A500 y AISI 4130
SIMULACIÓN 1	<i>Element Quality</i>	Mínimo	0,0093605	0,0053844
		Máximo	0,99981	0,99998
		Promedio	0,4271	0,41987
		Desviación Estándar	0,16885	0,17051
	<i>Warping Factor</i>	Mínimo	0	0
		Máximo	0,3185	0,3185
		Promedio	0,021944	0,01799
		Desviación Estándar	0,038367	0,033424
SIMULACIÓN 2	<i>Element Quality</i>	Mínimo	0,0093605	0,0053844
		Máximo	0,99965	0,99998
		Promedio	0,39881	0,39169
		Desviación Estándar	0,14303	0,14427
	<i>Warping Factor</i>	Mínimo	0	0
		Máximo	0,3185	0,3185
		Promedio	0,021715	0,017819
		Desviación Estándar	0,038091	0,033156
SIMULACIÓN 3	<i>Element Quality</i>	Mínimo	0,0093605	0,0053844
		Máximo	0,99997	0,99972
		Promedio	0,40851	0,40115
		Desviación Estándar	0,1464	0,14786
	<i>Warping Factor</i>	Mínimo	0	0
		Máximo	0,3185	0,3185
		Promedio	0,021944	0,01799
		Desviación Estándar	0,038367	0,033424

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Como se puede observar en la tabla 1-3, en el criterio “*Element Quality*” las mallas de todas las simulaciones tuvieron un promedio de alrededor 0.4, lo cual indica una calidad de malla buena o aceptable, sin embargo, hay que tener en cuenta que la calidad de malla en las áreas de interés (arcos delantero y principal), las cuales tienen elementos de malla hexaédricos, y, el criterio de calidad para estos elementos (*Warping Factor*) tiene un promedio de alrededor de 0.02 en todas las simulaciones, lo cual demuestran que estos elementos tienen una calidad de malla muy buena. Cabe recalcar que, con la configuración de malla se generaron elementos tetraédricos de 10 nodos (Tet10), hexaédricos de 20 nodos (Hex20) y prismáticos de 15 nodos (Wed15).

- Ya generada la malla, en la carpeta “*Static Structural*”, se seleccionó los pies de anclajes y la opción “*Fixed Support*” o “*Remote Displacement*”. La primera opción es exclusiva para

soportes o anclajes que no permiten ningún tipo de movimiento o rotación, en tanto que, con la segunda opción se puede configurar desplazamientos y rotaciones permitidas en todos los ejes. Se seleccionó “*Fixed Support*” en cada uno de los anclajes. En la subcarpeta “*Analysis Settings*”, en la opción “*Step End Time*” se coloca que el tiempo de aplicación de la carga y, por ende, el tiempo de análisis sea de 15 segundos, tal y como establece la FIA.

- Con las condiciones de anclaje ya establecidas, se seleccionó la cara superior del sello y con la opción “*Force*” se ingresaron las magnitudes de las fuerzas correspondientes a cada simulación/ensayo (ilustraciones 45-3, 46-3 y 47-3). Se escogió la unidad de carga en Newtons (N).

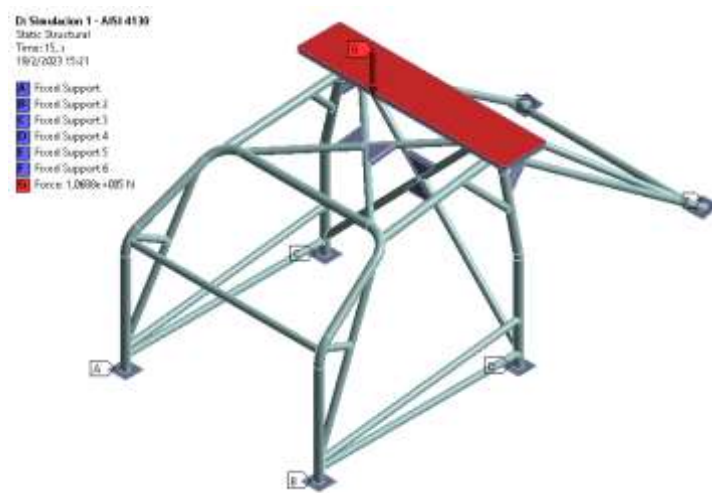


Ilustración 48-3: Asignación de carga para la simulación 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

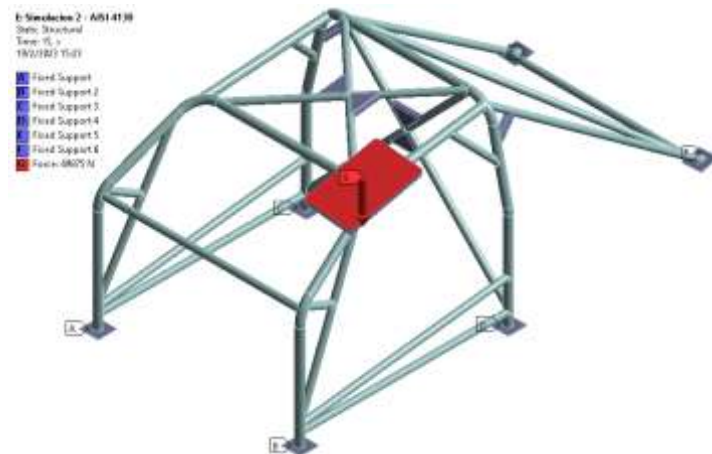


Ilustración 49-3: Asignación de carga para la simulación 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

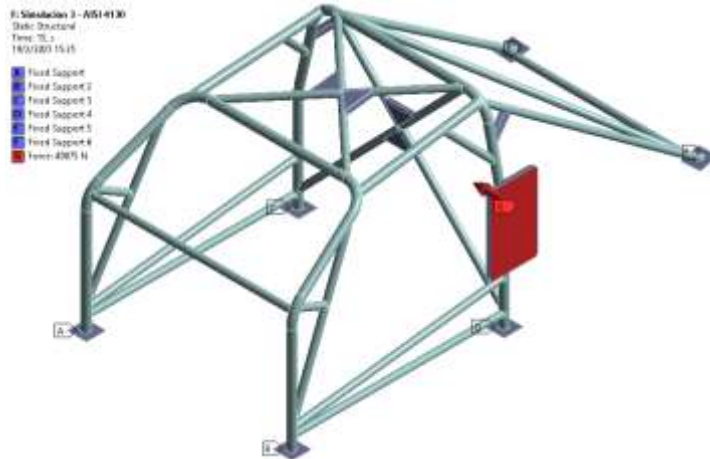


Ilustración 50-3: Asignación de carga para la simulación 3

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

- Ya establecidas tanto las condiciones de anclaje como la carga a aplicar, se seleccionó el tipo de respuestas esperadas del análisis (ilustración 51-3). Se dio clic derecho sobre la carpeta “*Solution*”, y se insertó la información de las siguientes propiedades: esfuerzo o tensión equivalente (*equivalent stress*) para comprobar que los esfuerzos generados no sobrepasen los valores de resistencia a la tracción de los materiales de estudio; deformación elástica equivalente (*equivalent elastic strain*) para evaluar si el estudio sobrepasa en campo de la elasticidad a la plasticidad; deformación direccional (*directional deformation*) en los ejes X, Y & Z para constatar el grado de deformación en el eje de aplicación de la carga y en los demás ejes; y el factor de seguridad (*safety factor*) para evaluar la integridad estructural y el grado de seguridad que tendrán las jaulas cuando se aplican las cargas calculas.

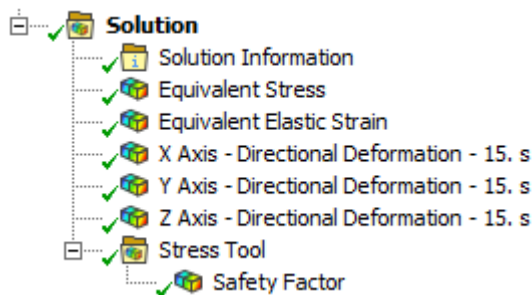


Ilustración 51-3: Opciones escogidas de la carpeta *Solution*

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Medidas para la creación de las jaulas antivuelco

Una vez realizada la observación de campo en el vehículo, en la ciudad de Ambato, con el vehículo Hyundai Grand I10, se realizó la medición de cada elemento requerido, cuyas dimensiones se observan en la tabla 1-4.

Tabla 1 - 4: Medidas de bocetos

Cota	Elemento	Medida (mm)
A	Altura del arco principal	1200
B	Ancho del arco principal	1315
C	Ancho de los tirantes posteriores	1200
D	Parte vertical del arco principal	650
E	Longitud de los tirantes posteriores	1600
F	Altura del arco delantero	1100
G	Ancho del arco delantero	1130
H	Parte superior del arco delantero	670
I	Parte vertical del arco delantero	760
Distancia Lateral entre Arcos		1356.31
Ángulos		Grados °
A	Ángulo de inclinación del marco del arco principal	167
B	Ángulo de tirantes posteriores	55

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Cabe indicar que, al tratarse de un vehículo que no se iba a adecuar inmediatamente para la colocación de la jaula antivuelco, se tomó en cuenta un centímetro adicional a cada lado, por la existencia de los tapizados.

4.2. Diseño de los bocetos

4.2.1. Elaboración de croquis

Como se indicó en el capítulo anterior, se realizó el dibujo del diseño, para una previsualización del proyecto. Con ello, se trasladó la idea mediante el uso del *software SolidWorks*. Se realizó el

boceto virtual y luego los croquis de diferentes elementos, hasta obtener el croquis final, tanto de la jaula 1, como de la jaula 2, como se observa en las ilustraciones 1-4 y 2-4.

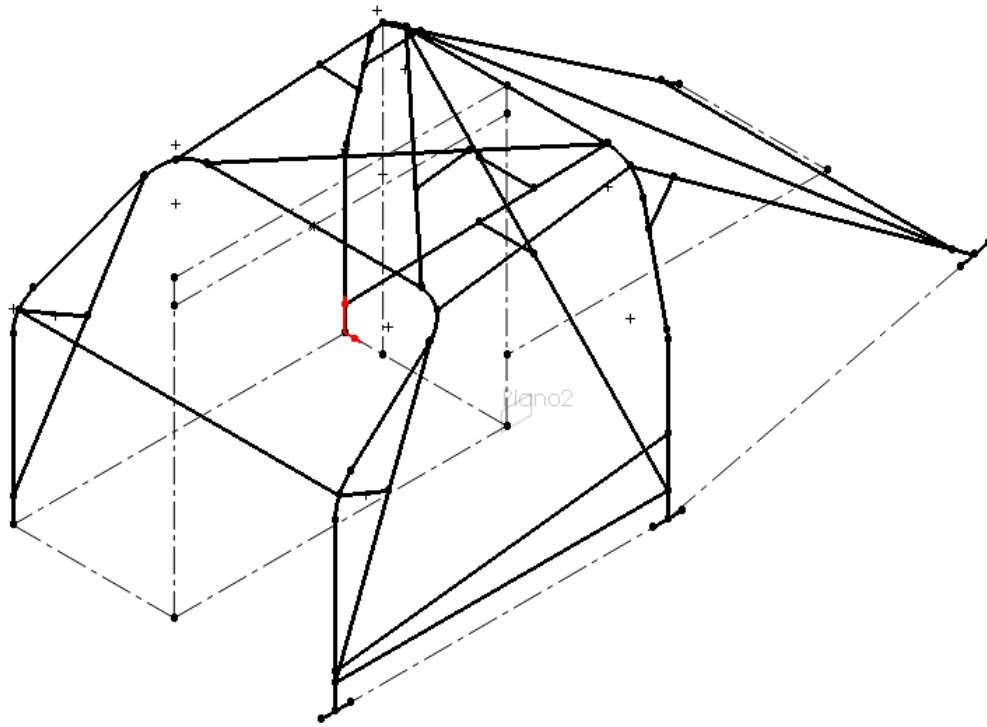


Ilustración 1-4: Croquis final de la jaula antivuelco No. 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

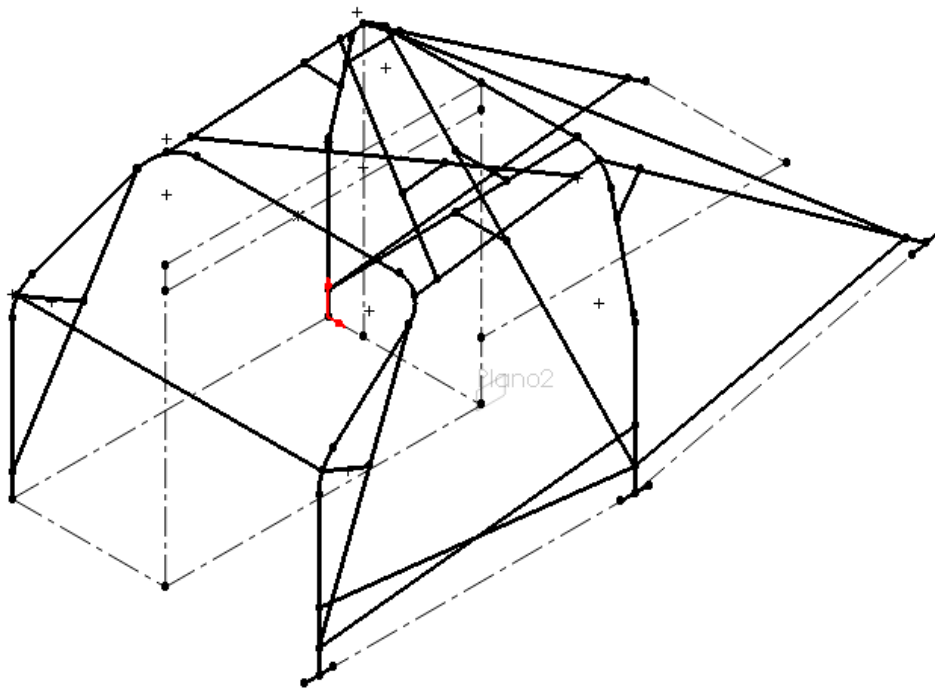


Ilustración 2-4: Croquis final de la jaula antivuelco No. 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.2.2. *Diseño final*

Una vez colocados los datos en el *software SolidWorks*, y con el uso de las diferentes herramientas indicadas en el capítulo anterior, se obtuvo el diseño final de las jaulas antivuelco 1 y 2, como se observa en las ilustraciones 3-4 y 3-5. De estas dos jaulas, se consideró que la jaula 2 sería la más adecuada para su instalación, debido a que cuenta con un diseño geométrico, con mayor número de uniones, que resistirían las cargas externas con menor deformación.

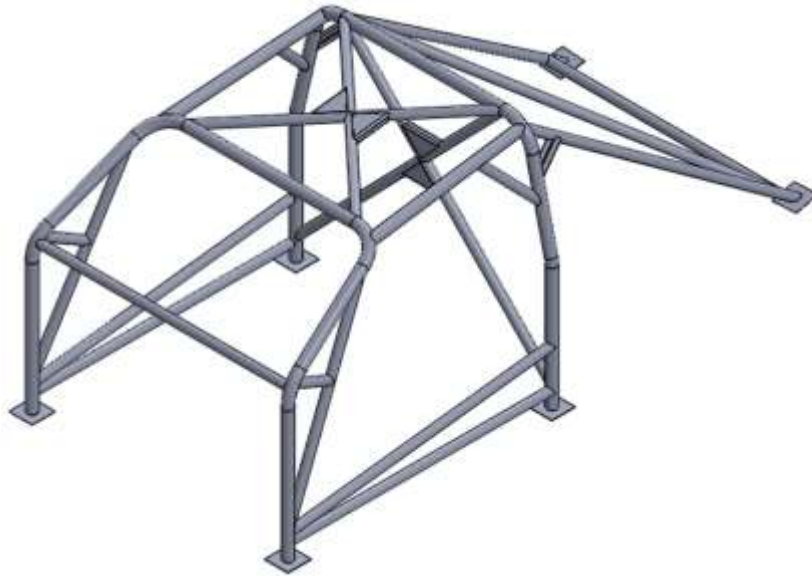


Ilustración 3-4: Perfiles tubulares en toda la estructura de la jaula 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

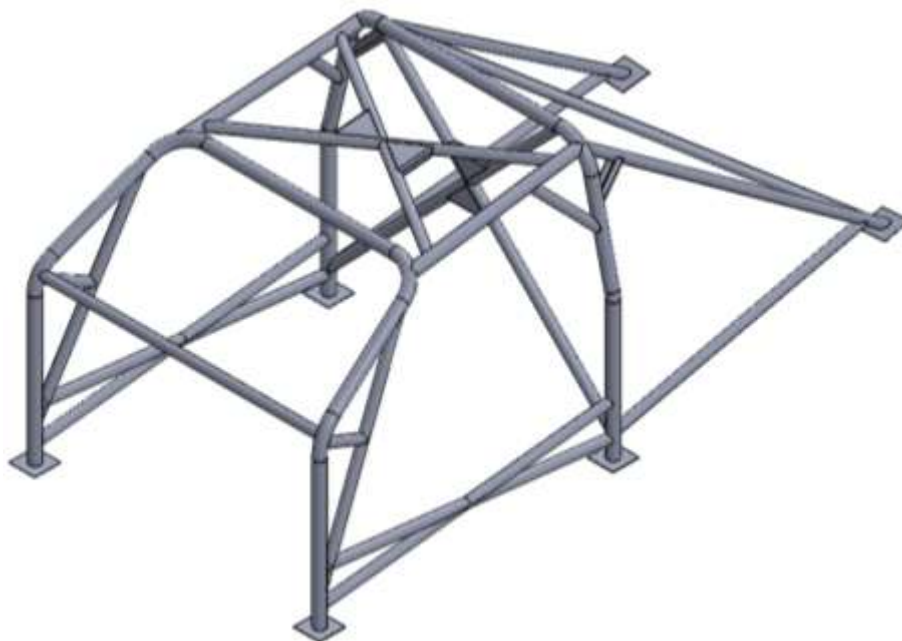


Ilustración 4-4: Perfiles tubulares en toda la estructura de la jaula 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.3. Simulaciones

Se realizaron seis simulaciones por cada jaula, puesto que, para cada una se utilizó dos tipos diferentes de materiales, con las siguientes pruebas: de carga vertical al arco principal, de carga lateral al arco principal y de carga inclinada entre el arco delantero y lateral del conductor. Los resultados se encuentran en la tabla 2-4 a continuación.

Tabla 2 - 4: Resultados de las simulaciones

	Jaula 1		Jaula 2		Unidad es		
	ASTM A500	AISI 4130	ASTM A500	AISI 4130			
SIMULACIÓN 1	Deformación Eje X - Máx.	5,7832	5,7434	6,0393	5,996	mm	
	Deformación Eje Y - Máx.	5,1565	5,1215	4,535	4,5009	mm	
	Deformación Eje Z - Máx.	2,4306	2,4086	1,8854	1,8741	mm	
	Tensión Equivalente - Máx.	2956,3	2983,4	3411,4	3527,1	MPa	
	Tensión Equivalente (Promedio)	776,515	788,31488 89	904,16933 33	914,83911 11	MPa	
	Deformación Elástica Equivalente - Máx.	0,014738	0,015025	0,017594	0,017942	mm/mm	
	Factor de Seguridad de la Jaula	Mínimo (Global)	0,10655	0,45485	0,092338	0,38473	-
		Mínimo (Local)	0,4799643 33	2,1215406 67	0,4216588 67	1,8055825 56	-
		Máximo	15	15	15	15	-
		Promedio	10,933	13,844	10,385	13,769	-
SIMULACIÓN 2	Deformación Eje X - Máx.	2,6551	2,6394	2,5973	2,5816	mm	
	Deformación Eje Y - Máx.	7,3131	7,2839	7,0447	7,0206	mm	
	Deformación Eje Z - Máx.	3,73	3,708	3,3982	3,3808	mm	
	Tensión Equivalente - Máx.	2351	2408,8	2375,7	2431	MPa	
	Tensión Equivalente (Promedio)	816,08446 15	820,72123 08	829,32184 62	834,21046 15	MPa	
	Deformación Elástica Equivalente - Máx.	0,011908	0,012101	0,012087	0,012264	mm/mm	
	Factor de Seguridad de la Jaula	Mínimo (Global)	0,13398	0,56335	0,13259	0,55821	-
		Mínimo (Local)	0,4299964 62	1,8535176 92	0,4221813 85	1,815068	-
		Máximo	15	15	15	15	-
		Promedio	10,094	13,951	10,021	14,126	-
SIMULACIÓN 3	Deformación Eje X - Máx.	27,189	27,036	24,013	23,837	mm	
	Deformación Eje Y - Máx.	5,5531	5,5176	5,0456	5,0112	mm	
	Deformación Eje Z - Máx.	4,4951	4,4719	4,3911	4,3759	mm	
	Tensión Equivalente - Máx.	5343,3	5513,8	10060	10055	MPa	
	Tensión Equivalente (Promedio)	1428,9090 6	1428,4550 43	1429,2204 02	1447,7343 59	MPa	

Deformación Elástica Equivalente - Máx.		0,026446	0,027047	0,050003	0,049696	mm/mm
Factor de Seguridad de la Jaula	Mínimo (Global)	0,058952	0,24611	0,031313	0,13496	-
	Mínimo (Local)	0,2326607 25	1,0306221 25	0,2940309	1,2795116 25	-
	Máximo	15	15	15	15	-
	Promedio	8,5854	13,252	8,3973	13,269	-

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Al observar la tabla 2-4, es evidente que existen dos valores de tensión, uno máximo y otro promedio, esta situación tiene lugar debido a que al momento de realizar las simulaciones se produjeron singularidades de esfuerzo o tensión durante el proceso de simulación. Se llegó a esta deducción, ya que existe un alto gradiente de tensión (esfuerzo) en un único punto del modelo (Bi, 2018, p. 484), tal y como se puede observar en las ilustraciones 5-4, 6-4 y 7-4. Se determina que esta eventualidad es una singularidad, puesto que el pico máximo tensión (esfuerzo) se concentra en un solo punto, y no en una zona amplia del modelo.

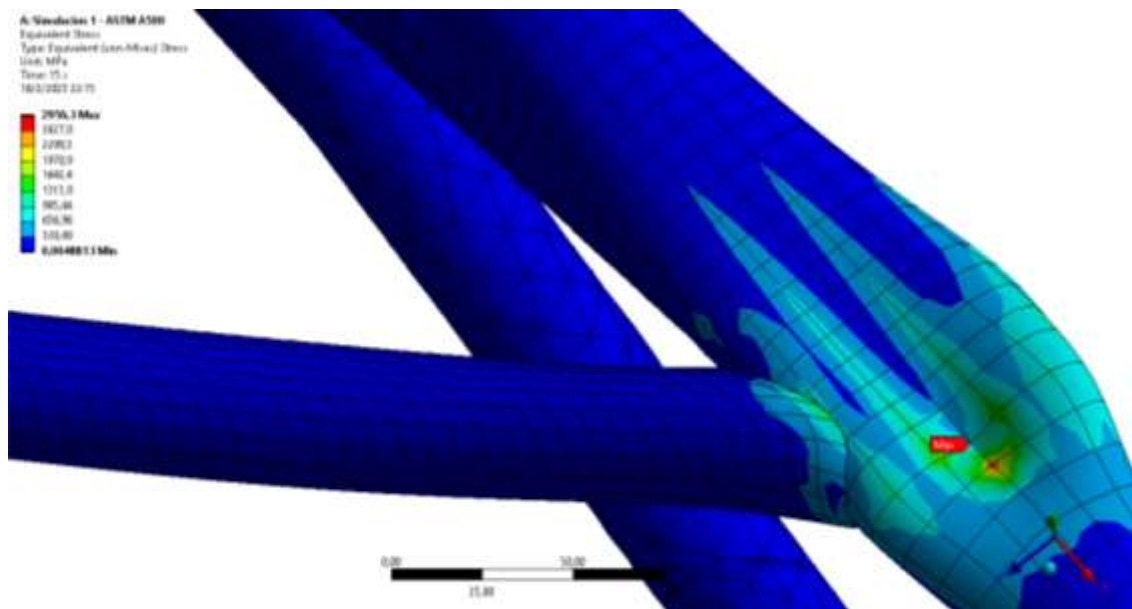


Ilustración 5-4: Gradiente de tensión en la simulación No. 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

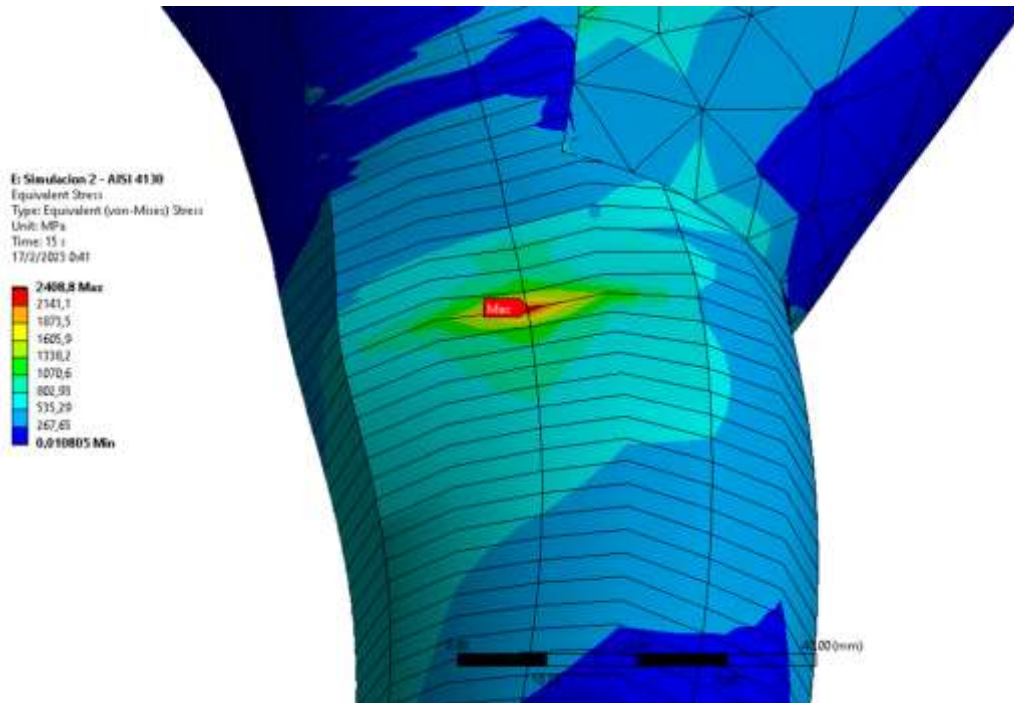


Ilustración 6-4: Gradiente de tensión en la simulación No. 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

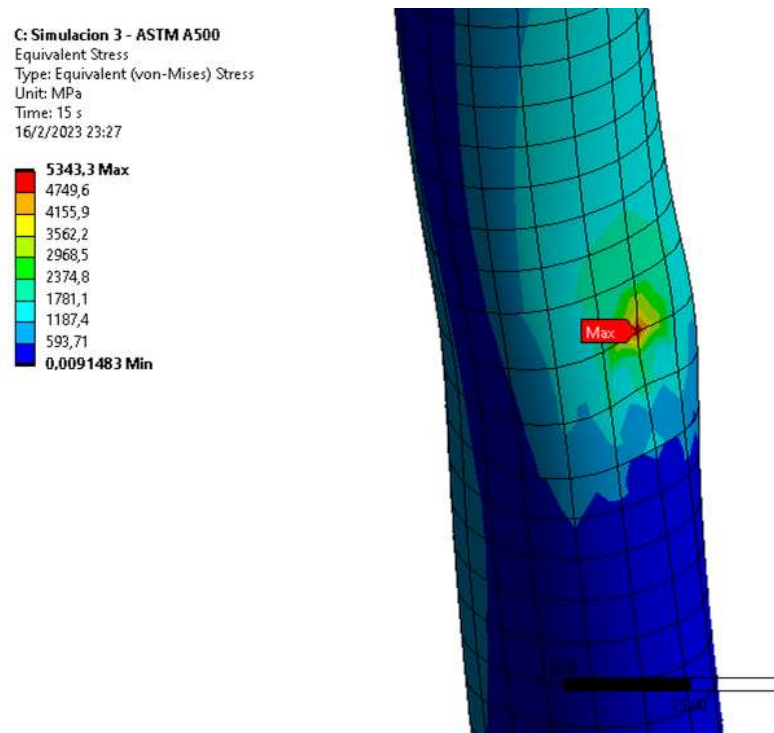


Ilustración 7-4: Gradiente de tensión en la simulación No. 3

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

No obstante, observar este pico anormal de concentración de tensión no es suficiente para determinar que este valor es una singularidad, por lo cual se realizó un análisis de convergencia

de malla, el cual consisten en aumentar la calidad y número de nodos de la malla en la zona donde se produce la singularidad, para esto, se realizó un “*Body Sizing*” en el arco principal para las simulaciones uno y tres, y se modificó el método de mallado “*MultiZone*” en la simulación dos. Para el análisis de convergencia, se parametrizo el tamaño del elemento de malla, el número de nodos y la tensión máxima equivalente. Los resultados de este proceso se muestran en las ilustraciones 8-4, 9-4 y 10-4.

Singularidad - Simulación 1

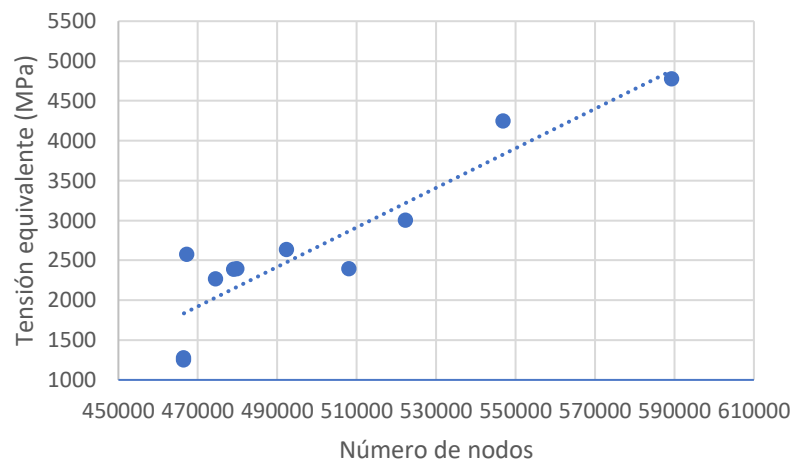


Ilustración 8-4: Singularidad en la simulación No. 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Singularidad - Simulación 2

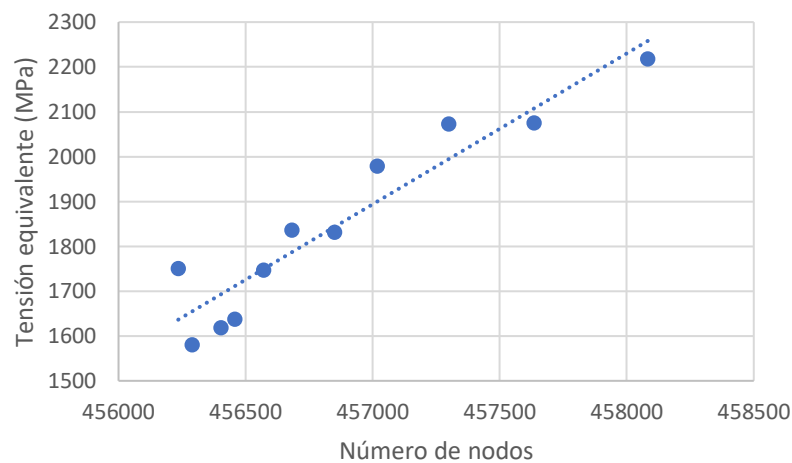


Ilustración 9-4: Singularidad en la simulación No. 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Singularidad - Simulación 3

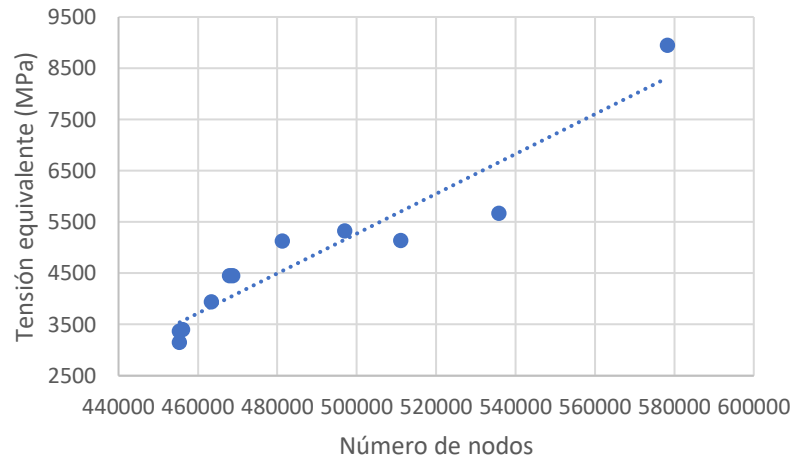


Ilustración 10-4: Singularidad en la simulación No. 3

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Como se observa en las ilustraciones 8-4, 9-4 y 10-4, la tensión máxima equivalente tiende a aumentar a medida que se incrementa el número de nodos y la calidad de la malla, lo cual es un claro indicativo de que se producen singularidades (Bi, 2018, p. 484). Es importante destacar que, a pesar de que la tensión en estas singularidades tiende a infinito, esto no significa que los demás resultados de la estructura o modelo sean incorrectos u obsoletos. Autores como (Acin, 2015, párr. 3-5) indican que, los resultados de deformación en las zonas de singularidades son correctos, en tanto que, la tensión en la singularidad afecta únicamente a los resultados de tensión que están cerca de la singularidad, sin embargo, a cierta distancia de la singularidad los resultados de tensión no son afectados por dicha singularidad y se consideran correctos.

Además de las comprobaciones efectuadas para detectar la singularidad, es recomendable realizar un análisis de deformación plástica en la estructura, puesto que, si el pico de tensión analizado no es una singularidad, la estructura experimentará una deformación plástica en dicha zona. Este análisis se realiza con la opción deformación elástica equivalente (*Equivalent Elastic Strain*) de la carpeta de soluciones, los resultados de este análisis se observan en la tabla 2-4, en donde se observa que el valor de este análisis oscile entre 0,01 y 0,05 mm/mm. Al ser valores muy cercanos a cero, se deduce que en las jaulas antivuelco no existe deformación plástica, es decir que, las estructuras no se deformaran permanentemente, y que los picos de tensión que se generan en los análisis corresponden a singularidades de tensión.

Con respecto a los resultados de tensión equivalente, puesto que existe una singularidad, se calcula un valor promedio de la tensión equivalente y factor de seguridad (debido a los valores

elevados de tensión, el factor de seguridad se ve afectado), para esto, se efectúa un barrido en la zona donde se produce la singularidad (ilustración 11-4) con la opción “Probe”. El barrido muestra los datos de tensión y factor de seguridad alrededor de la zona donde se produce la singularidad, con dichos datos se calculó un promedio, mismo que se observa en la tabla 2-4.

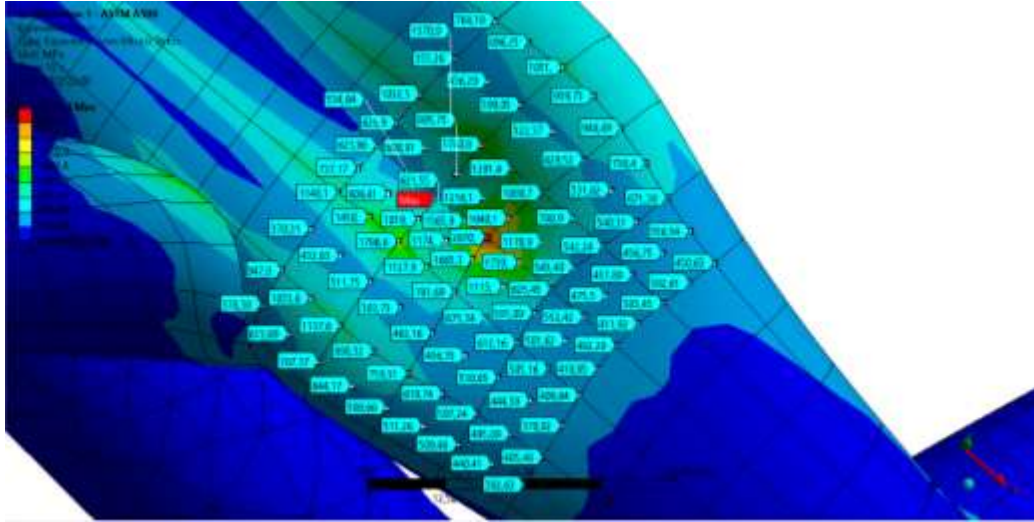


Ilustración 11-4: Barrido para comprobar la singularidad

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

4.3.1. Resultados de la simulación 1

En este ensayo, la FIA establece un nivel de deformación máxima de 50 mm a lo largo del eje de aplicación de la carga (eje Y). En esta simulación, como se puede observar en la ilustración 14-4, ninguna de las jaulas sufrió una deformación mayor a la estipulada por la FIA, siendo la jaula No. 1 de acero ASTM A500 la que mayor deformación tuvo (5,1565 mm). Por lo tanto, ambos diseños son considerados óptimos según los criterios de esta simulación.

En cuanto a la tensión que experimentan las jaulas (ilustración 12-4), es notable que la jaula No. 1 de acero ASTM A500 es la que menor tensión experimenta en su estructura, a pesar de ser la que tiene una mayor deformación en el eje de aplicación de la carga, sin embargo, si se observan las propiedades mecánicas del acero ASTM A500 (ver tabla 8-2) es evidente que la tensión equivalente que experimenta la estructura sobrepasa por mucho al valor de resistencia a la tracción del material, lo cual ocasiona que los factores de seguridad en las jaulas de acero ASTM A500 sean inferiores a uno (ilustración 13-4), lo cual indica que la estructura posiblemente se deforme plásticamente o sufra alguna rotura, mientras que, en las jaulas antivuelco de acero AISI 4130 se tienen factores de seguridad mayores a uno a pesar de experimentan altos valores de tensión equivalente, esto se puede explicar observando la resistencia a la tracción del acero AISI 4130, la

cual es superior a la del acero ASTM A500 (ver tabla 10-2). En esta simulación, la jaula No. 1 de acero AISI 4130 fue la que obtuvo el factor de seguridad más alto (2.1215), lo cual indica que esta jaula resistirá satisfactoriamente en caso de accidentes que involucren cargas en la parte superior del arco principal.

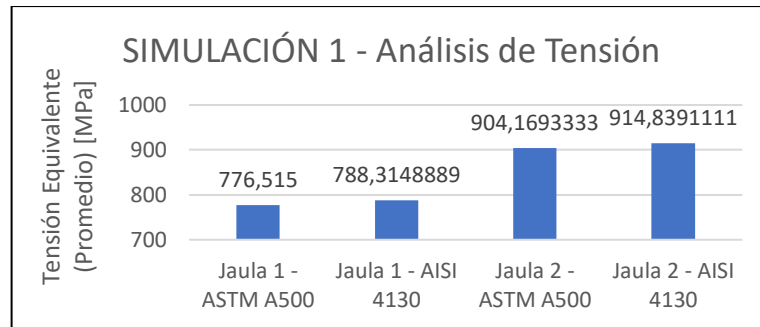


Ilustración 12-4: Resultados Tensión equivalente (Promedio) Simulación 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

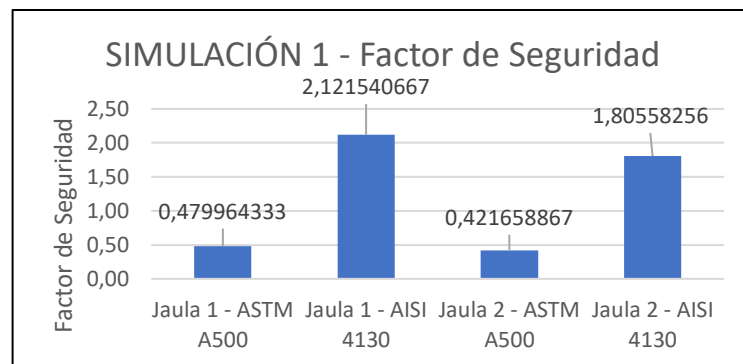


Ilustración 13-4: Resultados Factor de Seguridad Simulación 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

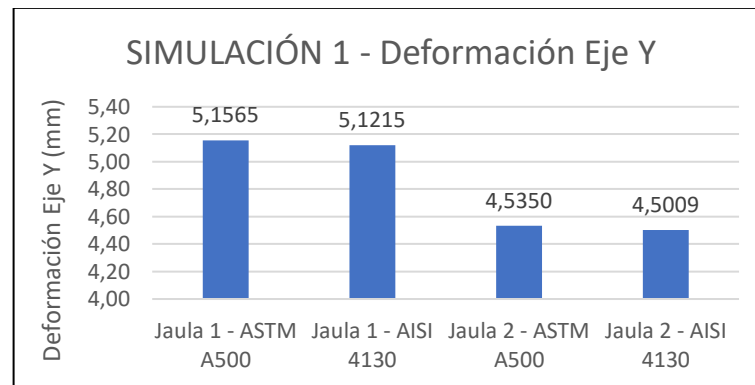


Ilustración 14-4: Resultados Deformación Eje Y Simulación 1

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.3.2. Resultados de la simulación 2

En este caso, la deformación permitida en el eje de aplicación de la carga es de 100 mm, sin embargo, al tener una consideración singular respecto a la ubicación del sello rígido donde se aplica la carga, es complicado determinar en cual eje se aplica la carga, por tal razón, en este ensayo se debe tener en cuenta la deformación en todos los ejes (X, Y & Z). Al aplicar la fuerza establecida para esta simulación, las deformaciones en los ejes X, Y & Z no superaron los límites establecidos, sin embargo, en el eje Y es donde se encuentran las deformaciones más elevadas en cada una de las jaulas, siendo la jaula No. 1 de acero ASTM A500, la que mayor deformación tuvo en este eje (7,3131 mm).

Los resultados de tensión en esta simulación indican que en la jaula No. 2 es donde se produce una mayor tensión equivalente independientemente del tipo de material de la jaula (ilustración 15-4), teniendo un valor máximo de tensión de 834,21 MPa. En cuanto a los factores de seguridad (ilustración 16-4), las tensiones equivalentes siguen sobrepasando el valor de resistencia a la tracción del acero ASTM A500, provocando que las jaulas de este acero obtengan factores de seguridad menores a uno, indicando una posible falla estructural en las jaulas, en tanto que, las jaulas de acero AISI 4130 poseen factores de seguridad mayores a uno, dando a entender que dichas jaulas no sufrirán deformación plástica o falla estructural (rotura). De estas jaulas, el diseño de jaula antivuelco No.1 de acero AISI 4130 es la que posee el factor de seguridad más elevado (1.8535).

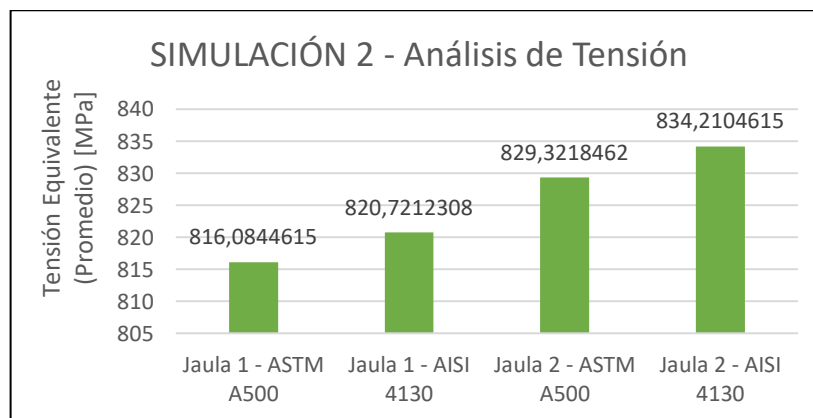


Ilustración 15-4: Resultados Tensión equivalente (Promedio) Simulación 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

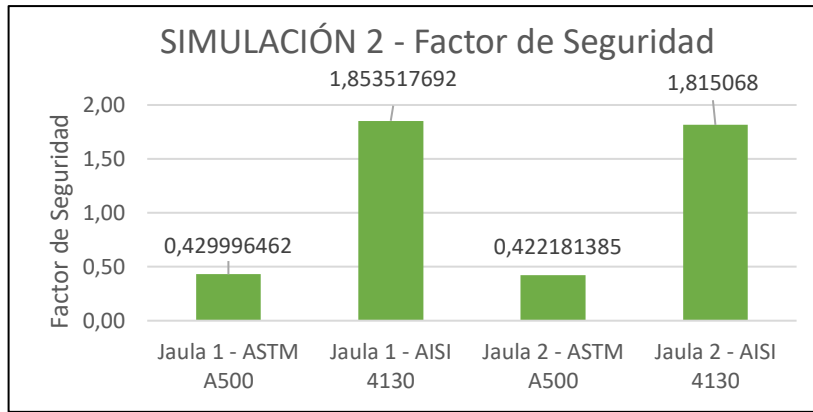


Ilustración 16-4: Resultados Factor de Seguridad Simulación 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

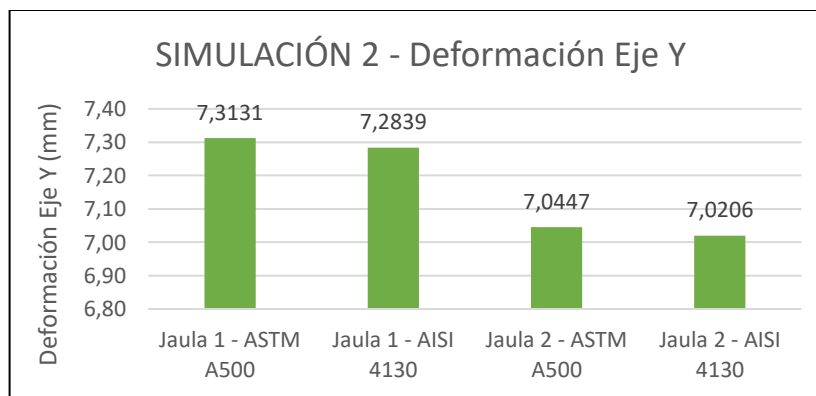


Ilustración 17-4: Resultados de Deformación Eje Y Simulación 2

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.3.3. Resultados de la simulación 3

Los resultados de la simulación 3, al igual que en las simulaciones anteriores no supero el límite de deformación establecido por la FIA, que en este caso es de 50 mm en el eje de aplicación de la carga (eje X). Al realizar esta simulación, se obtuvo una deformación máxima en X de 27,189 mm en el diseño de la jaula antivuelco No. 1 de acero ASTM A500 (ilustración 20-4).

En lo referente a las tensiones, en esta simulación todas las jaulas experimentaron tensiones equivalentes muy similares, a excepción de la jaula No. 2 de acero AISI 4130 la cual obtuvo aproximadamente 20 MPa más de tensión que las otras jaulas (ilustración 18-4). Por otro lado, al hablar de factores de seguridad, al igual que en los casos anteriores, las jaulas de acero AISI 4130 tiene factores de seguridad mayores a uno mientras que las jaulas de acero ASTM A500 tienen factores inferiores a uno (posible falla estructural), sin embargo, en este caso, es la jaula No. 2 de AISI 4130 la que posee el factor de seguridad más alto (ilustración 19-4), a diferencia de las dos simulaciones anteriores, en donde la jaula No. 1 es la que posee factores de seguridad más altos.

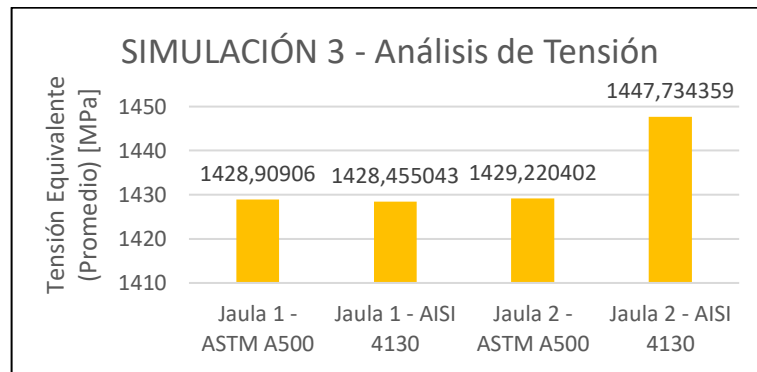


Ilustración 18-4: Resultados Tensión Equivalente (Promedio) Simulación 3

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

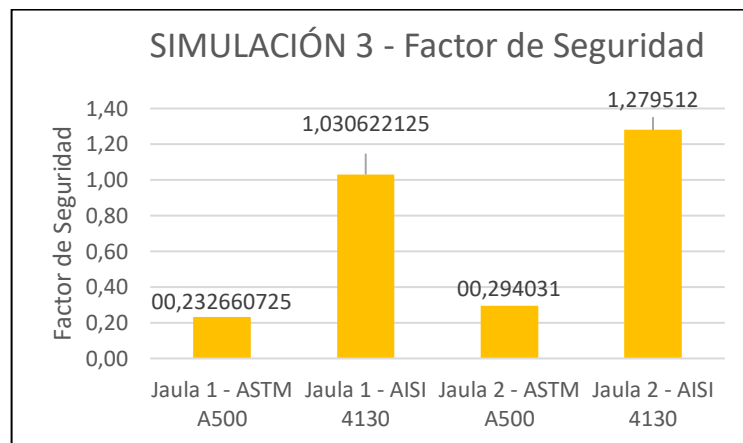


Ilustración 19-4: Resultados Factor de Seguridad Simulación 3

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

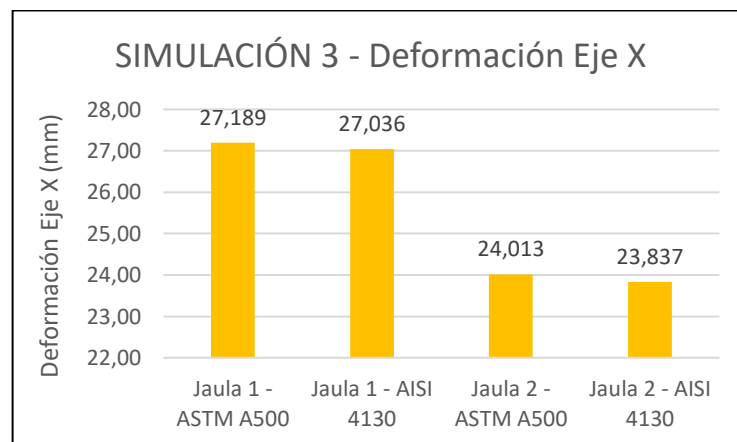


Ilustración 20-4: Resultados Deformación Eje X Simulación 3

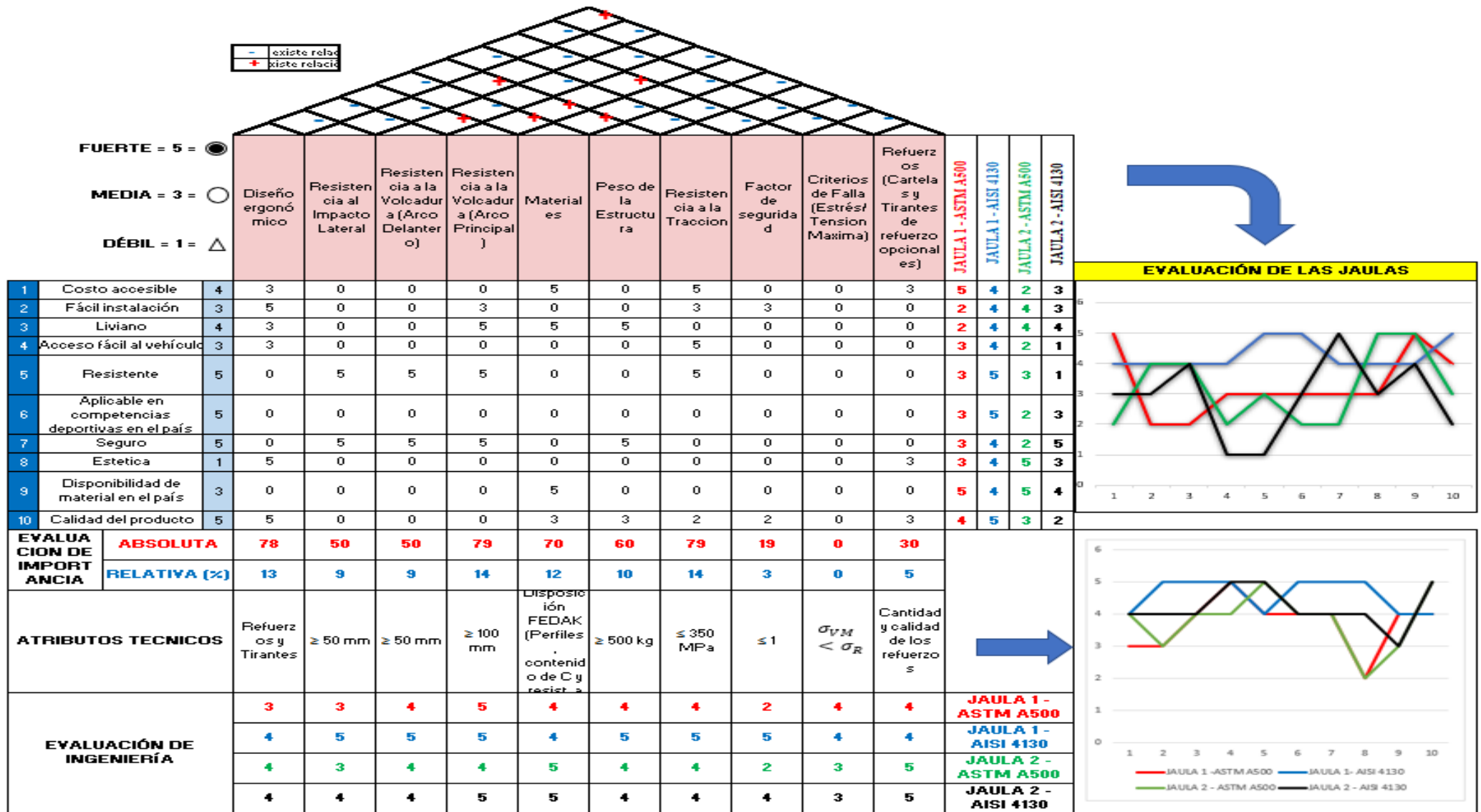
Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

En suma, como se observa en la tabla 2-4 y en las ilustraciones 12-4 a 20-4, la jaula antivuelco No. 1 es la que arroja resultados más favorables en cuanto a la tensión y el factor de seguridad. Sin embargo, ambas jaulas cumplen con los niveles de deformación normados por la FIA.

4.4. Selección de un modelo de Jaula

De lo observado en la tabla 2-4 se determina que ambos diseños originales de las jaulas son seguros, en cuanto a deformación. Pero, para cumplir también, con mayor seguridad, se tomó en cuenta la tensión admisible de los materiales. Por esta razón y sobre la base de las cifras que se encuentran en la tabla 2-4, se realizó un análisis más profundo del comportamiento y la calidad de las jaulas a través una matriz QFD, que se muestra en la tabla 3-4, para así seleccionar cuál de las dos jaulas es la más adecuada para su implementación.

Tabla 3 - 4: Matriz QFD para selección de jaula



Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2023.

Con estos datos, se encontró que el modelo más propicio de dicha implementación es de la jaula No. 1 de acero AISI 4130 y satisface los requerimientos de seguridad con mayor solvencia.

4.5. Soldadura requerida

Según normativa de la FEDAK todas las soldaduras realizadas para ensamblar la jaula antivuelco deberán ser de penetración total y de preferencia debe ser soldadura con arco protegido con gas, pero también puede ser realizada por electrodo recubierto. Cada una de las soldaduras mencionadas tienen diferentes procesos y resultados los cuales son:

4.5.1. Soldadura SMAW

De acuerdo con información de (Marín, A., 2016, párr. 1-6) la soldadura por arco con electrodo metálico revestido SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) o también conocida como soldadura por varilla, es uno de los métodos de soldadura más utilizados en actividades relacionadas a la metalmecánica, debido a que, necesita de un bajo costo en adquisición de las herramientas necesarias, pero a la vez es muy necesario que lo realice personal especializado, ya que requiere de un cierto grado de experiencia en soldadura para poder realizar trabajos confiables.

Su funcionamiento se basa en crear un cortocircuito entre el objeto que se quiere soldar con el electrodo para así con la ayuda del arco eléctrico generar calor suficiente para fundir y unir entre sí ambos materiales. El electrodo tiene un recubrimiento de materiales químicos llamado fundente que ayuda a proteger el cordón de soldadura que se está formando además que, se forma un tipo de costra sobre el cordón para protegerlo hasta que se enfría y luego es removido por medio de golpes o con la ayuda de un cepillo especial para ese trabajo.

Como se mencionó anteriormente, este tipo de soldadura cuenta con varias técnicas necesarias para realizar la soldadura que sea necesaria, en donde depende de ciertas variables como lo son: el tipo de corriente usada (sea corriente alterna AC o corriente continua CC), el amperaje usado, el tipo de cordón realizado, la velocidad de paso, el tipo de electrodo utilizado, condiciones ambientales, entre otras. Por lo que, es sumamente necesario que lo haga una persona capacitada que sepa todos estos aspectos para tener en cuenta y que además cuente con toda la protección necesaria, debido a que es una actividad que puede resultar peligrosa si no se la realiza de manera correcta.

Existen varios tipos de electrodos y cada uno tiene un propósito, uso y resistencia, en el caso de la jaula antivuelco seleccionada, como recomendación es necesario utilizar este tipo de electrodos

que forman parte del grupo de electrodos para soldar acero al carbono, a continuación, se menciona sus características.

Tabla 4 - 4: Características de los electrodos de soldadura SMAW

Clasificación	Penetración	Tipo de revestimiento	Resistencia mín. a la tracción (Mpa)	Punto de fluencia mínimo (Mpa)	Aplicación básica
E-6010	Profunda	Celulósico sódico	4350	3500	Buenas propiedades mecánicas, usado en puentes, edificios, etc.
E-6011	Profunda	Celulósico potásico	4350	3500	Buenas propiedades mecánicas, usado en edificios, puentes, etc.

Fuente: Estructplan, 2012.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.5.2. Soldadura GMAW

Según información de (Marín, A., 2016, párr. 1-6) la soldadura GMAW por su nombre en inglés (*Gas Metal Arc Welding*) básicamente es un tipo de soldadura semiautomática, su principal característica es que la suelda se realiza con la protección de un gas ya sea inerte o activo. Por lo que, encontramos dos tipos de suelda en este proceso uno que utiliza gas inerte (MIG) y otro que utiliza gases activos (MAG).

El gas utilizado en ambos casos tiene como principal propósito proteger la soldadura que se está formando, el gas actúa como una capa que aísla al medio ambiente de la fusión para evitar que se contamine y sea producto de futuros defectos en la soldadura. Ambos procedimientos utilizan el mismo principio de funcionamiento, el gas protege el arco que se forma, además, un alambre de suelda que es el material de aporte es alimentado automáticamente a la punta de la tobera con forme se va gastando.

Este es un procedimiento que poco a poco ha ido ganando territorio en la industria debido a que es más rápido de realizar, al ser un proceso semiautomático, no es necesario que sea un humano el que deba realizar el proceso, ya que, se puede también utilizar la ayuda de

brazos robóticos, motivo por cual las grandes empresas ensambladoras optaron por utilizar este método de soldadura, que ayuda reducir tiempos de trabajo.

El procedimiento de suelda MIG era el más utilizado ya que solo se usaba gases como el argón (Ar) y helio (He), pero debido al aumento en la demanda del acero y a que el precio de los gases inertes es muy alto, se empezó a utilizar dióxido de carbono (CO₂) que es un gas activo dando paso al uso del proceso de suelda MAG debido a que aumentaba el trabajo con aceros.

Del mismo modo que en el caso anterior para este tipo de soldadura existe varios tipos de electrodos que son usados en diferentes aplicaciones, pero se escogió los más adecuados para la construcción de la jaula antivuelco seleccionada y se describen sus características a continuación:

Tabla 5 - 4: Características electrodos de soldadura GMAW

Clasificación	Gas protector	Resistencia a la tracción (psi)	Corriente y polaridad
E 60S-2	Argón-Ia 5% O ₂ o CO ₂	62000	C.C. Polaridad Inversa
E 70S-4	CO ₂	72000	C.C. Polaridad inversa

Fuente: Rodríguez, H., sf.

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

4.6. Costos de construcción

La jaula antivuelco seleccionada cuenta con un material que necesita ser importando, motivo por el cual en los precios de construcción explicados a continuación no se encuentra contemplados los valores de envío y aduanas, debido a que esos valores varían en torno al sitio donde se comprará el material y los aranceles que se encuentren vigentes en ese momento para el ingreso al país. Sin embargo, se tomó en cuenta el precio base de compra del material y un aproximado de mano de obra especializada, los cuales están explicados en la siguiente tabla:

Tabla 6 - 4: Precios aproximados de construcción

Producto	Precio unidad	Cantidad	Subtotal
Tubo AISI 4130 Ø50mm	\$538.00	2	\$1076.00
Tubo AISI 4130 Ø40mm	\$190.00	4	\$760.00
Mano de obra	-	-	\$2000.00
TOTAL			\$3836.00

Realizado por: Alencastro, J. y Guamancuri, F., 2022.

Hay que tener en cuenta que, para realizar este cálculo, se realizó la medida total del material que se necesitará según cada diámetro, para saber la cantidad de tubos que se va a requerir, también que, la empresa donde se consultó el precio es de Estados Unidos no utilizan el sistema métrico por lo que los tubos serían de 20 ft (pies) que al transformarlo nos da 6 m que es la medida regular de venta de ese tipo de tubos de acero en el país. Tomando en cuenta que no se agregó precios de importación. Además, que el valor de la mano de obra se tomó en cuenta la regla general de cobró de mano de obra en este tipo de trabajos, y teniendo en cuenta que la persona contratada para el trabajo será quien se encargue de los materiales y herramientas necesarias para la construcción se cobrará un valor similar o mayor al obtenido en la materia prima que en este caso serían los tubos de acero AISI 4130. Es muy importante señalar que, estos precios pueden variar debido a factores como: el mercado internacional, conflictos entre países productores de este tipo de materias primas, etc.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se investigó las especificaciones técnicas y dimensiones que se requieren para la jaula antivuelco del Hyundai I10, a través de revisión bibliográfica e investigación de campo, encontrando que este vehículo tiene mayores dimensiones que otros que compiten en la misma categoría. El trabajo de campo se vio limitado por no contar con un vehículo disponible para competencia, por lo cual, no se pudo desmontar. Sin embargo, se estableció las dimensiones reales del tapizado en las tomas de medidas.
- Los materiales seleccionados a través de la utilización de la base de datos *MatWeb* y la bibliografía estudiada fueron: el Acero ASTM A 500 y AISI 4130, ambos debido al porcentaje de carbón menor al 0,3% y la resistencia a la tracción última mayor a 350 MPa que se establece en el Reglamento de la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo.
- Se utilizó el *software SolidWorks* para la elaboración, tanto de los bocetos, como de los croquis y del diseño final, de las jaulas 1 y 2. Se concluye que, ambos diseños cuentan con una resistencia adecuada en cuanto al nivel de deformación, que resultó menor a lo establecido por la norma de la FIA. Sin embargo, únicamente las jaulas de acero AISI 4130 cumplieron con la tensión en función de los materiales, es decir, la tensión resultante de las pruebas no sobrepasa a la tensión (esfuerzo) que puede soportar dicho material.
- Del análisis efectuado se concluye que el acero AISI 4130 es el que posee un mayor margen de seguridad, debido a su elevado valor de resistencia a la tracción, siendo la jaula antivuelco No. 1 de este material, la escogida como más propicia para su implementación en el vehículo Hyundai i10.
- Para el proceso de manufactura, es completamente necesario que la fabricación de la jaula antivuelco sea realizada por mano de obra calificada, debido a que, si se realiza mal una sola soldadura, se pone en riesgo toda la integridad de la estructura. Y con respecto a los costos aproximados, estos pueden variar, debido a que el mercado internacional y nacional depende de la situación sociopolítica en la que se encuentren los países proveedores de los distintos materiales.

5.2. Recomendaciones

- En la toma de medidas para la jaula antivuelco, es importante tomar en consideración las medidas que tendrán los tubos, para aumentar o disminuir las dimensiones, tanto en el boceto, como en los diseños posteriores.
- Cuando se vaya a realizar una medición para la instalación de la jaula antivuelco, es necesario, desmontar el tapizado del habitáculo, con el fin de obtener las dimensiones correctas.
- Para nuevas investigaciones de este tipo, es necesario considerar, en las simulaciones la aparición de singularidades, por lo tanto, se recomienda analizar cómo evitar este tipo de eventualidades y diseñar la geometría de la estructura teniendo en cuenta dichas consideraciones.
- Para este proyecto técnico, se simuló la estructura con elementos tipo 3D (sólidos), lo cual tiene una gran repercusión en la generación de malla y el tiempo de análisis, por lo cual, para nuevas investigaciones de este tipo se recomienda realizar el análisis de la estructura con elementos tipo *Shell*, o realizar una comparativa de la simulación de jaulas antivuelco con elementos sólidos 3D y elementos tipo *Shell* para constatar que tipo de simulación otorga mejores resultados y consume menos recursos computacionales.
- Se recomienda a los competidores, tomar en consideración estudios técnicos, como el caso de este proyecto, para la fabricación de la jaula antivuelco, con la mano obra calificada, que es la única manera de contar con calidad en el producto final y la mayor seguridad en el caso de accidentes.
- Para realizar todos los procesos correspondientes a una investigación de esta naturaleza, se debe contar con un computador que cuente con memoria interna mayor a 16 GB y tarjeta gráfica de alta gama, a fin de optimizar el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

180SX CLUB. *Ultimate S13 Rollcage Guide* [blog]. 2021. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.180sx.club/s13-rollcage/>.

ACIN, Marcos. Stress singularities and concentrations - Mesh convergence in FEA [en línea], 2015. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/stress-singularities-concentrations-mesh-fea-marcos-ac%C3%ADn-gonz%C3%A1lez>

ALTOS HORNOS DE MÉXICO (AHMSA). *Manual de diseño para la construcción con acero* [en línea]. México: Grupo AZERO, 2017. [Consulta: 20-12-2022]. Disponible en: https://www.ahmsa.com/assets/files/manuales/MANUAL_AHMSA_2.pdf

ANSYS, Inc. *19.1.1 Hanging Node Adaption* [en línea], 2009. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node392.htm#sec-adapt-hanging>

ANSYS, Inc. *27.13 Improving the Mesh by Smoothing and Swapping* [en línea], 2009. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node870.htm>

ANSYS, Inc. *6.1 Mesh Topologies* [en línea], 2009. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node161.htm>

ANSYS, Inc. *ANSYS Mechanical APDL Modeling and Meshing Guide* [en línea], 2010. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/view/3737209/mechanical-apdl-modeling-and-meshing-guide-ansys>

ANSYS, Inc. *ANSYS Meshing User's Guide* [en línea], 2013. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/27974461/ANSYS_Meshing_Users_Guide

ANSYS, Inc. *Introduction to ANSYS Mechanical – Lecture 4 Meshing Techniques* [en línea], 2015. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: https://www.clear.rice.edu/mech517/WB16/lectures_trainee/Mechanical_Intro_16.0_L04_Meshing.pdf

ARISTIZÁBAL CASTRILLÓN, Adriana; & MANRIQUE TORRES, Martha Ruth. *Ensayos y propiedades de los materiales*. 1ra ed. Colombia-Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2017. ISBN: 978-958-781-127-8, p. 10

AUTODESK Inc. *Acero AISI 4130 366RT – Autodesk Fusion 360 – Biblioteca de materiales de Fusion 360* [Software], 2023. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview>

AutoTALKZ. *Hyundai i10 – revisión de coche*. [blog]. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <https://autotalkz.com/lang-es/cat-hyundai/hyundai-i10/>

BAYONA, Antonio. *Origen del Rally* [blog]. 2011. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/antoniobayona18/origen-del-rally>

BEER, Ferdinand; et al. *Mecánica de materiales*. 7ma ed. México-México D.F.: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2020. ISBN-10: 1456260863, pp. 29-103

BERN, Marshall; & PLASSMANN, Paul. Chapter 6 - Mesh Generation. En: *Handbook of Computational Geometry* [en línea]. The Netherlands: North Holland, 2000, pp. 291–332. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444825377500073>. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-044482537-7/50007-3>

BI, Zhuming. Chapter 12 - Validation and Verification. En: *Finite Element Analysis Applications: A Systematic and Practical Approach* [en línea]. Indiana: Academic Press, 2018, pp. 455-494. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128099520000121>. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809952-0.00012-1>

BUDYNAS, Richard; & NISBETT, J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 9na ed. México-México D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2012. ISBN 978-607-15-0771-6, pp. 1-186

CALLISTER, William; & RETHWISCH, David. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 10ma ed. Estados Unidos-Hoboken, NJ: The University of Iowa, 2017. ISBN-13: 9781119321590, pp. 142-178

CÁRDENAS GÁRATE, Luis Alberto. *Diseño de un Roll Bar para un vehículo Suzuki Forza 1 de competición.* 2015. Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana.

CNRM - Comisión Nacional de Rallies México, 2022. *¿Qué es un Rally?* [en línea]. [Consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://cnrm.com.mx/que-es-un-rally/>

ESTRUCPLAN. *Uniones Soldadas y Roblonadas* [en línea], 2012. [Consulta: 14 febrero de 2023]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/uniones-soldadas-y-roblonadas-parte-2/>

FEA Tips, 2022. *ANSYS Mesh Metrics Explained* [en línea]. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://featips.com/2022/11/21/ansys-mesh-metrics-explained/>

FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO & COMISIÓN NACIONAL DE RALLY. *Reglamento Nacional De Seguridad Para Rallies 2022* [en línea], 25 de febrero de 2022. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1wHh0s7fVyII_GE1pXfCW5MvXAVYi4lAM/view?fbclid=IwAR0jwKRGFQFS_TUIhf8tFahzxHE8TuTyIn8it8QVndOhozwlTC_bN53gZNg

FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO & COMISIÓN NACIONAL DE RALLY. *Reglamento Nacional Deportivo de Rally 2022* [en línea], 25 de febrero de 2022. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1wHh0s7fVyII_GE1pXfCW5MvXAVYi4lAM/view?fbclid=IwAR0jwKRGFQFS_TUIhf8tFahzxHE8TuTyIn8it8QVndOhozwlTC_bN53gZNg

FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO & COMISIÓN NACIONAL DE RALLY. *Reglamento Nacional Técnico de Rally 2022* [en línea], 25 de febrero de 2022. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1wHh0s7fVyII_GE1pXfCW5MvXAVYi4lAM/view?fbclid=IwAR0jwKRGFQFS_TUIhf8tFahzxHE8TuTyIn8it8QVndOhozwlTC_bN53gZNg

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE (FIA). *Directrices FIA de Seguridad para Rallies, 4.ª edición – enero de 2022.* Departamento de Publicaciones de la FIA, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://www.fia.com/es/node/10046>

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE (FIA). *Reglement d'Homologation 2021 pour Armatures de Securite, Homologation Regulations – Safety Cages.*

[En línea]. Disponible en: https://storage-aso.lequipe.fr/ASO/motorSports_ccr/reglement-d-homologation.pdf

FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE. Organización [en línea], 2015. [Consulta: 8 enero 2023]. Disponible en: <https://www.fia.com/es/organizacion>.

FIA SPORT DEPARTAMENTO TÉCNICO. “Equipamiento de Seguridad (Grupos N, A, R-GT)”. Fédération Internationale de l'Automobile, Artículo 253 – Anexo J. 2018.

FLORES CÓRDOVA, Alberto. *Definición de Los Métodos de Diseño Elástico y Plástico* [en línea]. [Consulta: 8 de enero 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/314717847/Definicion-de-Los-Metodos-de-Diseno-Elastico-y-Plastico>

G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *Mecánica y diseño mecánico* [en línea]. Hanskampring-Alemania: GUNT, 2019. [Consulta: 27 octubre 2022]. Disponible en: https://www.gunt.de/images/download/Cat1_spanish.pdf

GARCÍA DE LA FIGAL, Javier. “Cálculo de la Barra Antivuelco de un Vehículo Automotor”. Ingeniería Mecánica [en línea]. 2005, (Cuba) 8(3), pp. 1-10 [Consulta 8 noviembre 2022]. ISSN: 1815-5944. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225118188002>

GARCÍA-CUEVAS GONZÁLEZ, Luis Miguel; GIL MEGÍAS, Antonio; NAVARRO GARCÍA, Roberto; & QUINTERO IGEÑO, Pedro Manuel. *Mecánica de fluidos computacional: tipos de mallas y calidad del mallado* [en línea]. Universidad Politécnica de Valencia, 2020. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/146219>

HIBBELER, Russell. *Mecánica de materiales*. 8va ed. México- Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2011. ISBN 978-607-32-0559-7, pp. 81-107

HURTADO ABRIL, María. *Qué tipos de bocetos se utilizan en diseño gráfico.* [en línea], 2019. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://foroalfa.org/articulos/que-tipos-de-bocetos-se-utilizan-en-diseno-grafico>.

IMPORT ACEROS. *Tubo Redondo Estructural* [en línea], 2021. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-redondo-estructural/>

INGEMECANICA. *Clasificación de los electrodos para Soldadura* [en línea]. [Consulta: 14 febrero de 2023]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>

IONOS. *QFD: ¿Qué significa Quality Function Deployment?* [blog]. 2021. [Consulta: 27 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/qfd-quality-function-deployment/>

LOGAN, Daryl. *A First Course in the Finite Element Method*. 4th ed. Estados Unidos: University of Wisconsin–Platteville, 2007. ISBN: 0-534-55298-6, pp. 1-15

MAKEITFROM. *SAE-AISI 4012 (G40120) Molybdenum Steel* [en línea], 2020. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/SAE-AISI-4012-G40120-Molybdenum-Steel>

MARIN, Andrés. *Proceso GMAW* [en línea]. [Consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>

MARIN, Andrés. *Proceso SMAW* [en línea]. [Consulta: 14 febrero de 2023]. Disponible en: http://soldadurayestructuras.com/2184409_Procesos-de-soldadura-y-corte.html

MATHWORKS. *Software de simulación* [en línea], 2022. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/discovery/simulation-software.html>.

MATWEB.COM. *Advanced Materials Search* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/AdvancedSearch.aspx>.

MATWEB.COM. *AISI 1015 Steel, cold drawn* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=6cd3ff8c19bb42bda1fa848e6d12bb9>

MATWEB.COM. *AISI 4012 Steel* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ec717da06df74148a8d866a11a771668>

MATWEB.COM. *AISI 4130 Steel, water quenched 855°C (1570°F), 480°C (900°F) temper, 13 mm (0.5 in.) round* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=284aa856470341acbf3c16bc90849ea1&ckck=1>

MATWEB.COM. *ASTM A500 Steel, grade A, Round Structural Tubing* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cc4067d556d246eb80b9daf6c28ebef8>

MATWEB.COM. *ASTM A500 Steel, grade B, Round Structural Tubing* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=f95dd344761d40b48d19bc009c936b27>

MATWEB.COM. *ASTM A500 Steel, grade C, Round Structural Tubing* [en línea], 2022. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c5b4adbcee774d7e8be46783bf8eb79>

MECHANICALLAND, 2020. *Mesh Transition In ANSYS® Meshing (Illustrated Expression)* [en línea]. [Consulta: 17-02-2023]. Disponible en: <https://mechanicalland.com/mesh-transition-in-ansys-meshing/>

PANTING, Julie, 2017. *The Development of Roll Cage Technology – From Tractors To Racing Cars* [en línea]. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.metrosteel.com.au/the-development-of-roll-cage-technology-from-tractors-to-racing-cars/>.

PARDO RUEDA, Francis Daniel. *Diseño y análisis de una jaula antivuelco para un vehículo de rally.* 2006. Proyecto de Grado. Universidad de los Andes.

PASPUEL POZO, Danny Stiven; & TONATO CHICAIZA, Franklin Patricio. *Implementación de los equipos de seguridad normados por la FEDAK en la categoría TC 2000 para el prototipo de pista Austin 1973.* 2022. Monografía. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

PERPETUAL STEEL MANUFACTURING CO. LTD. *ASTM A500 para tubería estructural de acero al carbono soldada y sin costura conformada en frío* [en línea], 2017. [Consulta 20-12-2022]. Disponible en: <https://www.permanentsteel.com/es/m/newsshow/astm-a500.html>

RIBADENEIRA TOVAR, Esteban Andrés; & TOVAR JURADO, Mario Alejandro. *Diseño e implementación de los sistemas de seguridad de un vehículo Volkswagen Gol 2000cc para rally según el Reglamento 2014 de la FEDAK delegada de la FIA en el Ecuador.* 2015. Proyecto de Titulación. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

RODIAUTOSPORT. *Todo sobre jaulas antivuelco.* [blog]. 16 de julio de 2022. [Consulta: 3 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.rodiautosport.es/blog/todo-sobre-las-jaulas-antivuelco/>

SAFETY DEVICES Technology of Protection. *History - Take a visual tour through Safety Devices' history* [en línea], 2012. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.safetydevices.com/about-us/history/>.

SAFIUDDEEN, T; BALAJI, P; DINESH, S; SHABEERHUSSAIN, B.Md; GIRIDHARAN, M.R. “Comparative design and analysis of roll cage for automobiles”. *Materials Today: Proceedings.* 2021, vol. 39, part 1, p. 183-200. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.489>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320349701>.

SIEMENS DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE. *CAD / Diseño asistido por ordenador* [en línea], 2022. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>.

TORRES LÓPEZ, Javier. *Diseño de una estructura de seguridad para turismo de competición.* 2019. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza

UNITED STEEL INDUSTRY. *Tubo ASTM A500, Tubo estructural ASTM A500* [en línea], 2018. [Consulta: 17 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.united-steel.com/es/newsshow/363.html>

WILKINSON, Brian. *Rollover bars THE FACTS* [en línea]. Safety Devices Limited, 1970. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en:

[http://www.safetydevices.com/uploads/ckfinder/Rollover_bars-
The_Facts_Safety_Devices_1970s_brochure_by_Brian_Wilkinson.pdf](http://www.safetydevices.com/uploads/ckfinder/Rollover_bars-The_Facts_Safety_Devices_1970s_brochure_by_Brian_Wilkinson.pdf)

ANEXOS

ANEXO A: VISTA ISOMÉTRICA HYUNDAI GRAND I10



ANEXO B: VISTA TRASERA HYUNDAI GRAND I10



ANEXO C: VISTA LATERAL HYUNDAI GRAND I10



ANEXO C: TOMA MEDIDAS ANCHO PISO



ANEXO D: TOMA MEDIDAS ANCHO TECHO



ANEXO E: TOMA MEDIDAS ALTURA PARA ARCO PRINCIPAL



ANEXO F: TOMA MEDIDAS ALTURA PARA ARCO PRINCIPAL



ANEXO G: TOMA MEDIDAS ALTURA GENERAL PARA ARCO PRINCIPAL



ANEXO H: TOMA MEDIDAS PARTE PARA TIRANTES TRASEROS



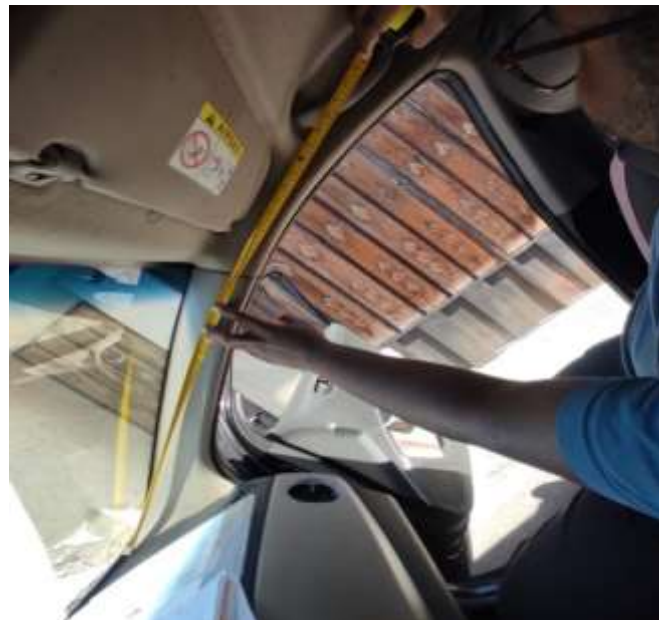
ANEXO I: TOMA MEDIDAS ANCHO DE CAJUELA



**ANEXO J: TOMA MEDIDAS ÁNGULOS ENTRE LOS PARANTES Y EL
TECHO**



ANEXO K: TOMA MEDIDAS PARTE SUPERIOR ARCO DELANTERO



ANEXO L: TOMA MEDIDAS DISTANCIA ENTRE ARCO CENTRAL Y DELANTERO



ANEXO M: TOMA MEDIDAS ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE PUERTA PARA REFERENCIA



ANEXO N: TOMA MEDIDAS ÁNGULO INCLINACIÓN PARTE SUPERIOR ARCO DELANTERO



ANEXO O: TOMA MEDIDAS ANCHO PARTE SUPERIOR DELANTERA



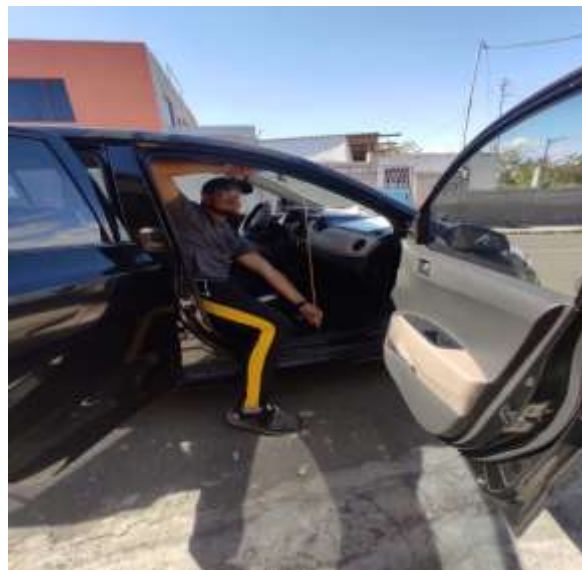
ANEXO P: TOMA MEDIDAS ALTURA DESDE EL PISO AL PARABRISAS



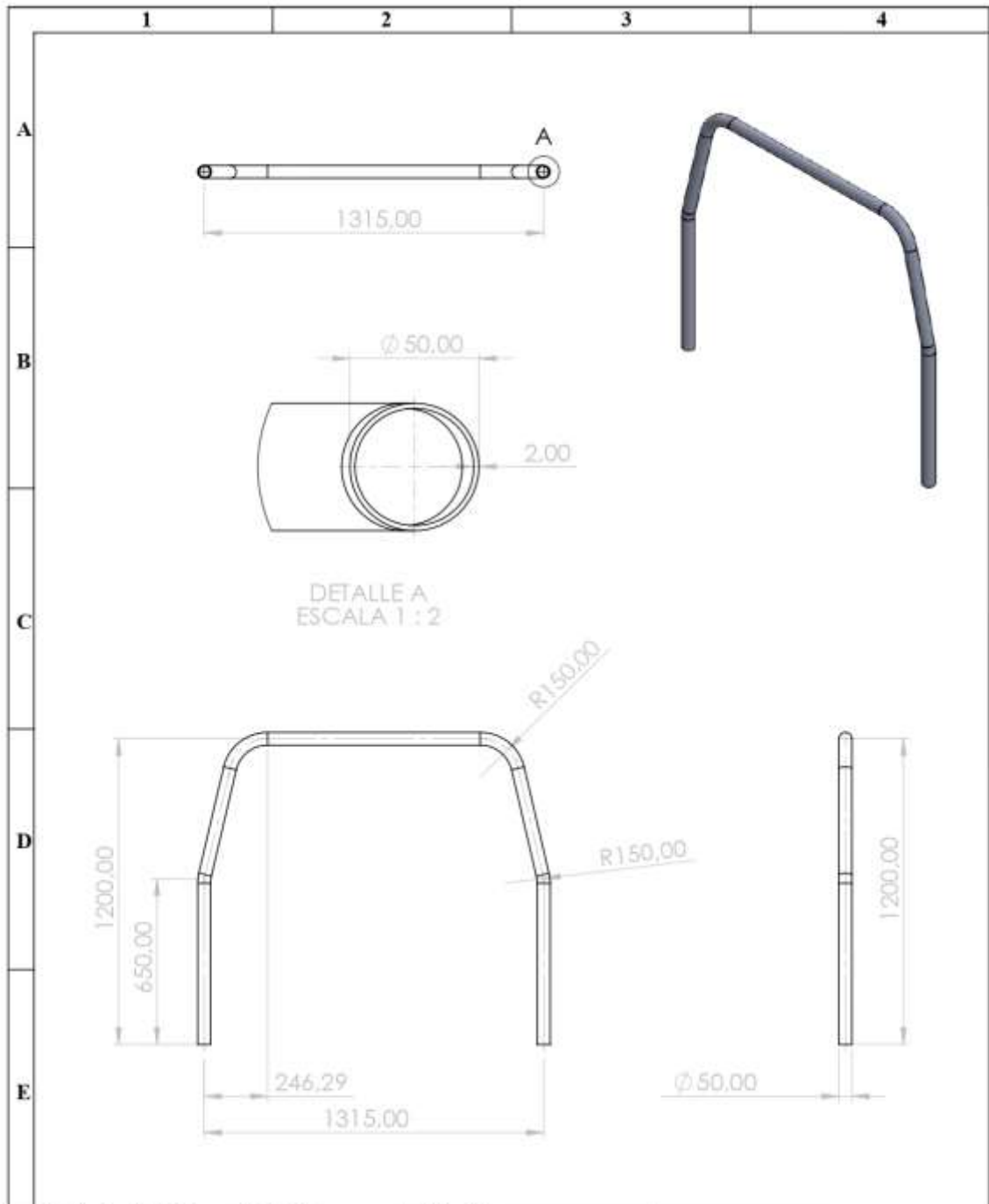
ANEXO Q: TOMA MEDIDAS ANCHO PARTE MEDIA DELANTERA



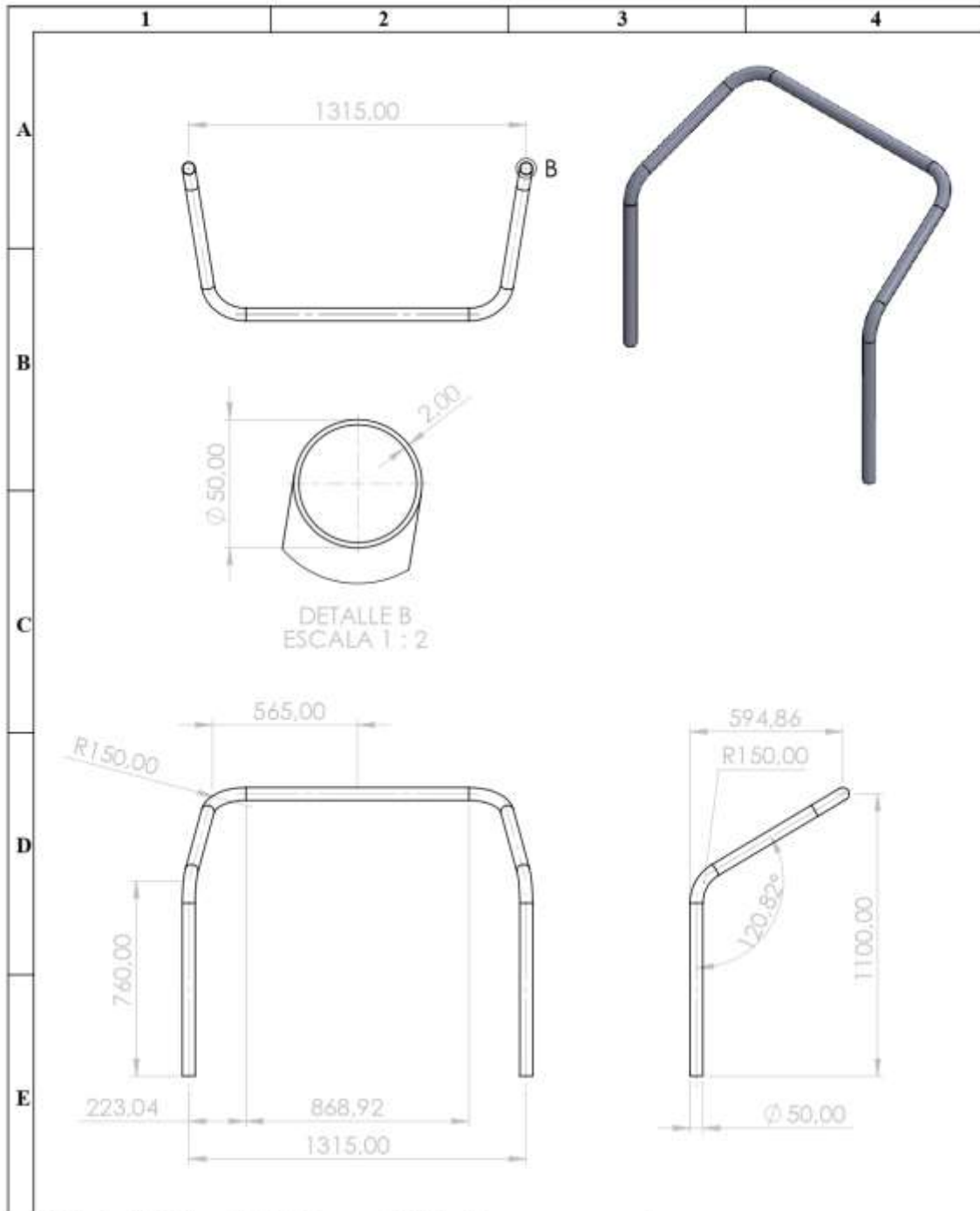
ANEXO R: TOMA MEDIDAS ALTURA PARTE DELANTERA



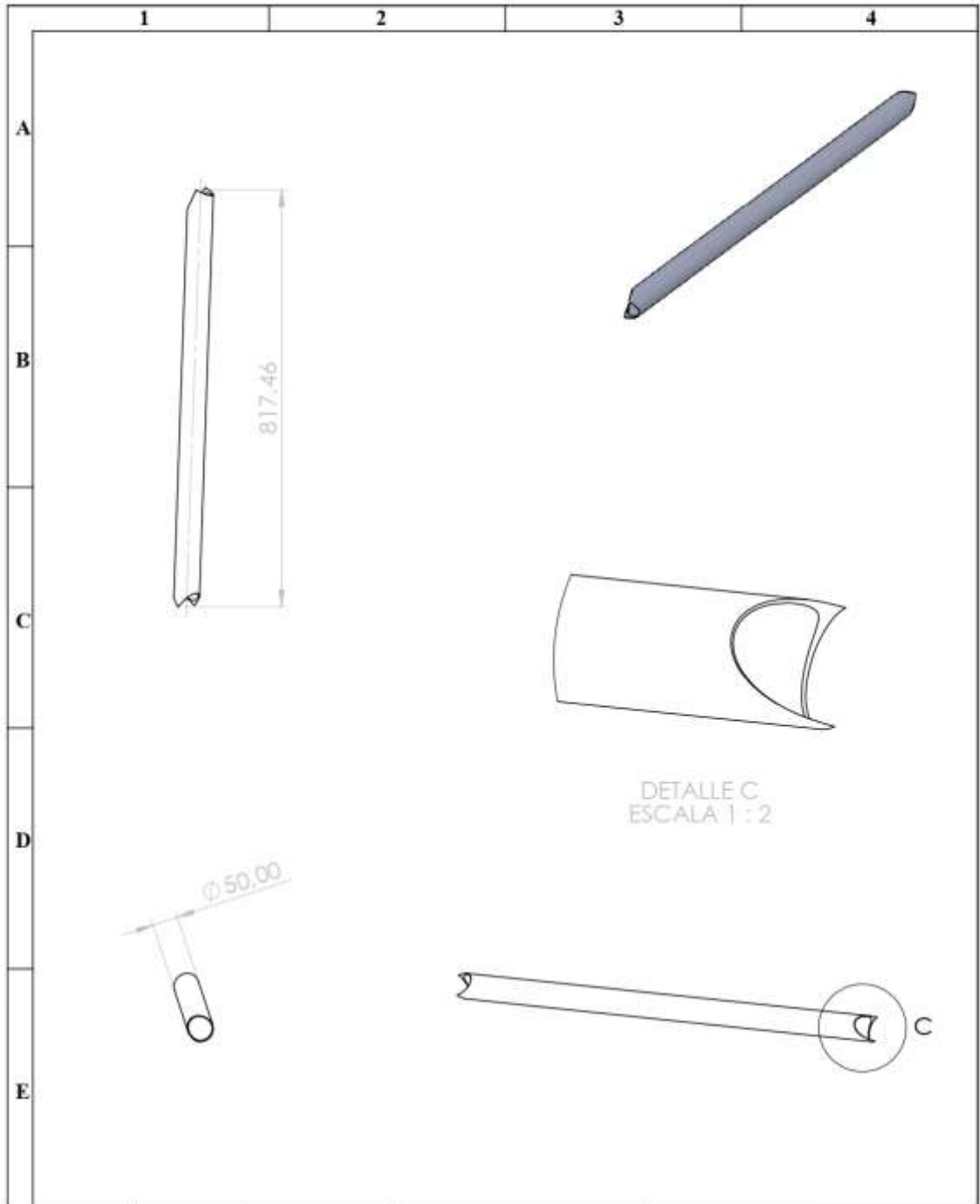
ANEXO S: PLANOS DE LA JAULA SELECCIONADA, JAULA N°1



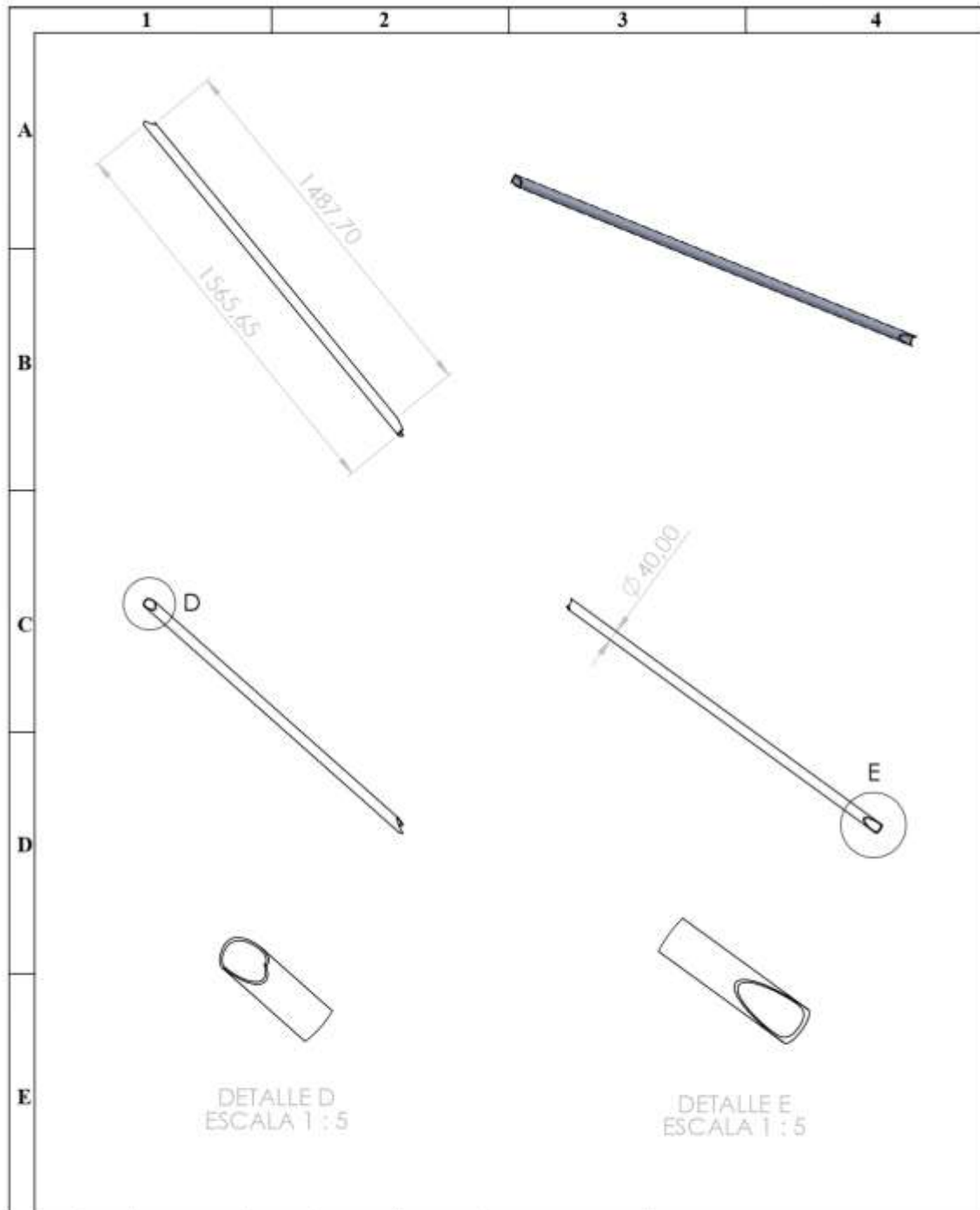
N°. Lámina: 1 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-IC-01-1A-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Arco Principal		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		± 0.3 [mm]		1:20			
Proyectó		Sr. Freddy Guamancauri				19/12/2022		Materiales: Acero AISI 4130		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.A. Y F.O. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023		Nombre de archivo: 1_Arco Principal.SLDDRW							
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023									



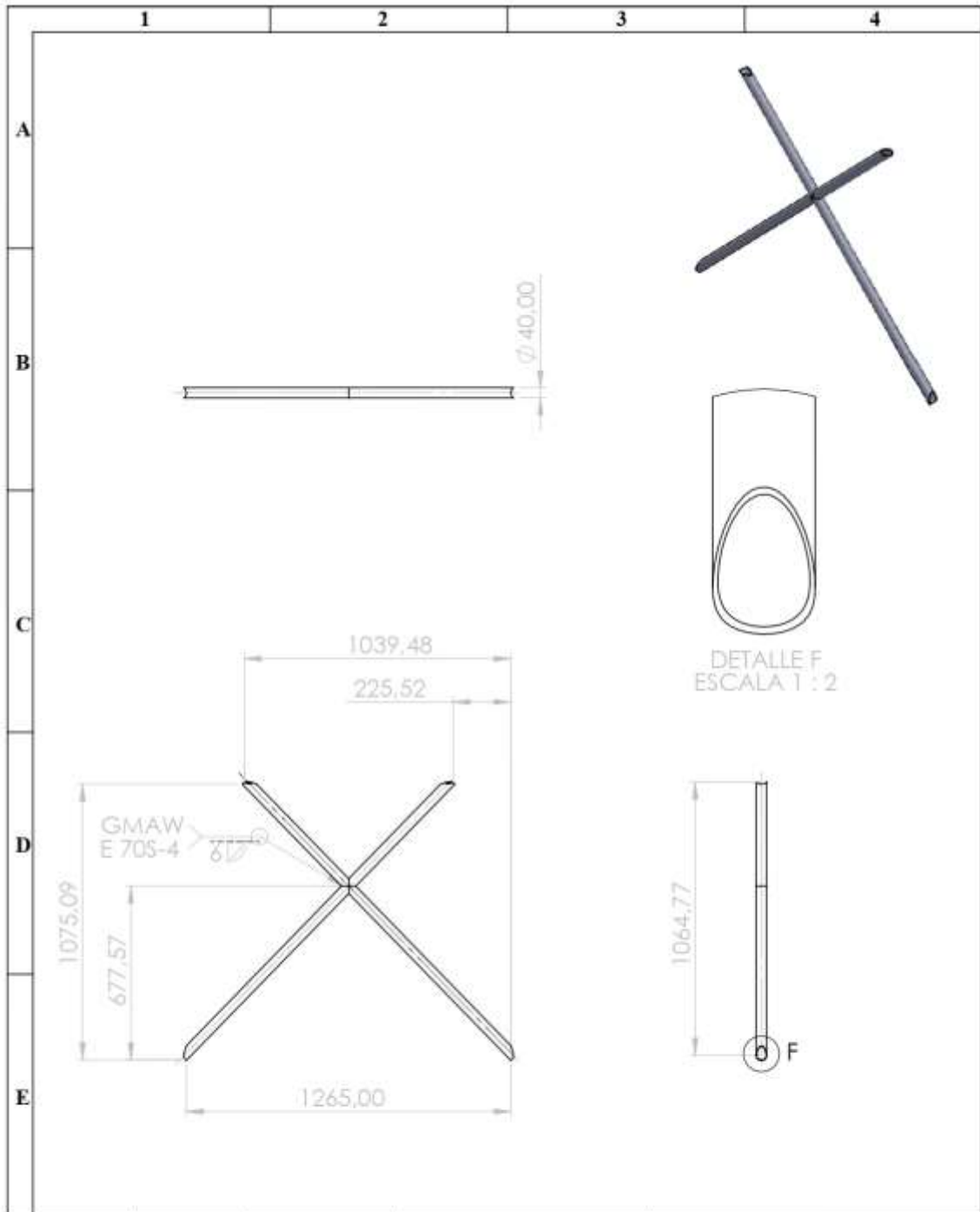
N°. Lámina: 2 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-3C-02-1A-2023		ESPOCH			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Arco Delantero		FACULTAD DE MECÁNICA			
								CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia			Escala	Registro		
Proyectó	Sr. Freddy Guamanauri		19/12/2022		±0.3 [mm]			1:20			
Dibujó	Sr. Javier Alencastro		28/01/2023								
Revisó	Ing. Edwin Pozo		24/02/2023								
Aprobó	Ing. Cristian Redroban		28/02/2023	Materiales: Acero AISI 4130		Nombre de archivo: 2. Arco Delantero.SLDDRW		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.A. Y.F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR.PENADA POR LA LEY</small>			



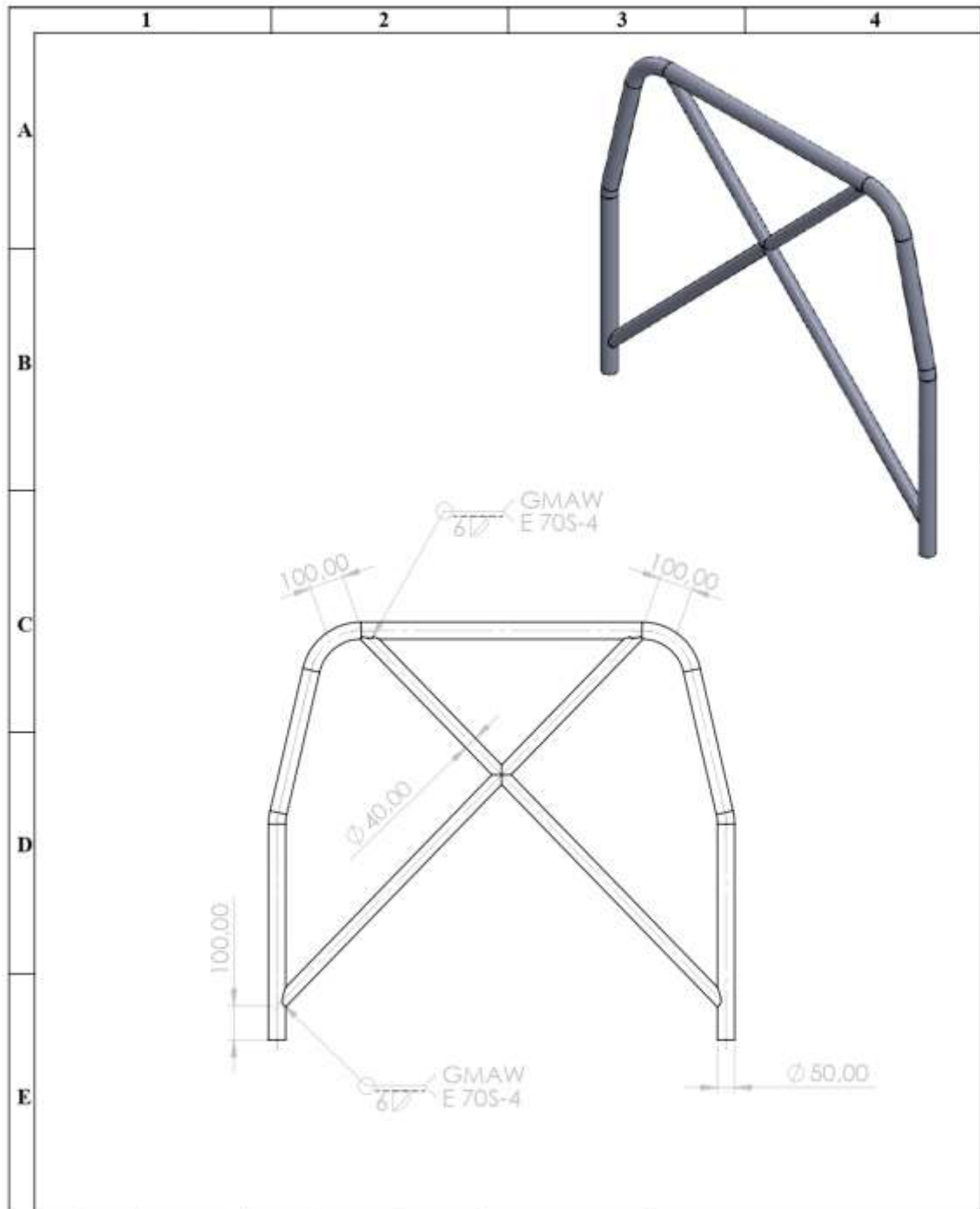
N°. Lámina: 3 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-03-2A-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación: Tirantes Longitudinales					
Datos	Nombre	Firma	Fecha						±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr. Freddy Guamanianun		19/12/2022					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J.A. Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY 			
Dibujó	Sr. Javier Alencastro		28/01/2023								
Revisó	Ing. Edwin Pozo		24/02/2023								
Aprobó	Ing. Cristian Redroban		28/02/2023			Nombre de archivo: 3. Tirantes Longitudinales.SLDDRW					



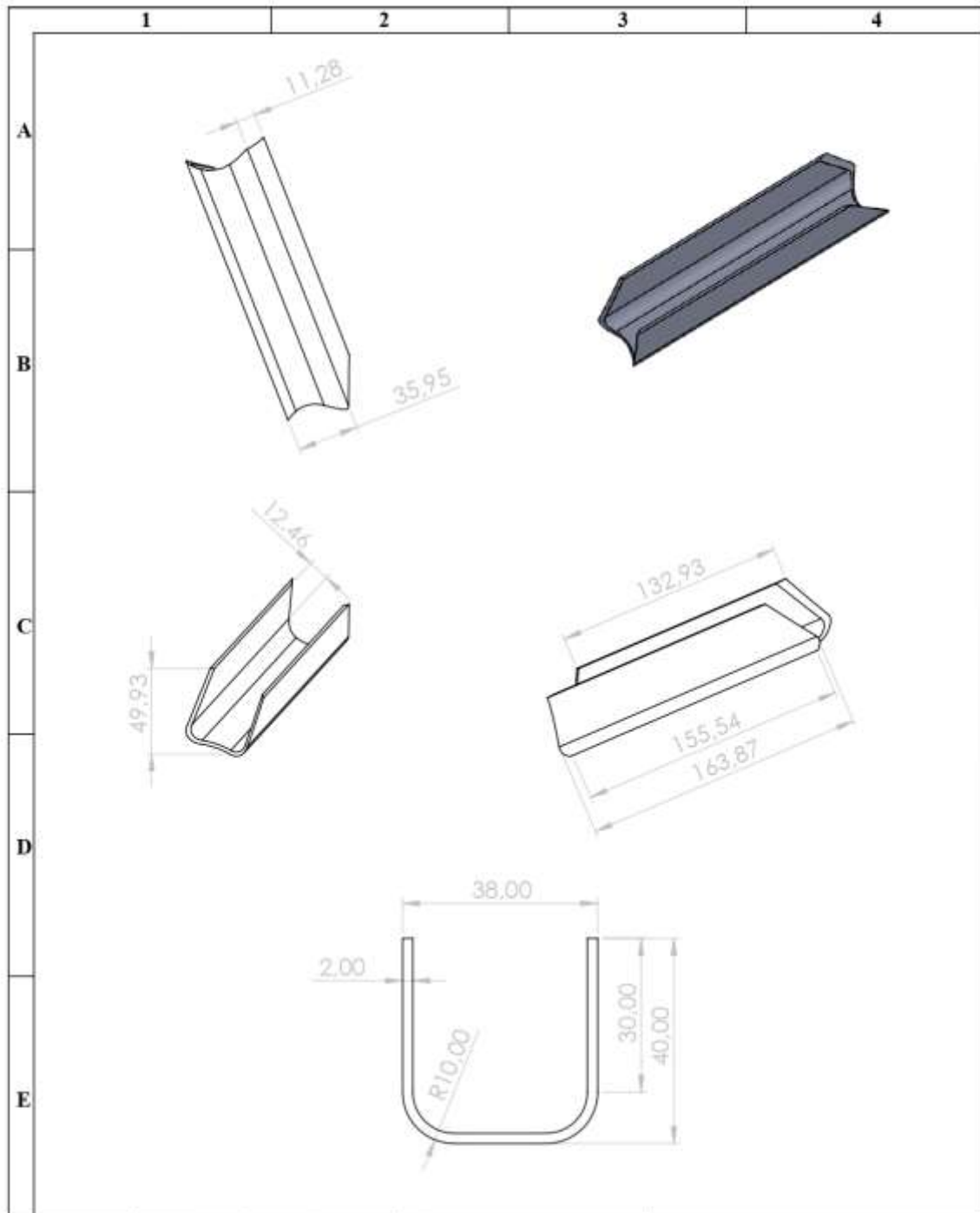
N°. Lámina: 4 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-IC-04-1A-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Tirante Diagonal de Refuerzo (Tirantes P.)		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:20			
Proyectó		Sr. Freddy Guamanccun				19/12/2022		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J.A. Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR.PENADA POR LA LEY							
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023									
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023		Materiales: Acero AISI 4130		Nombre de archivo: 4_Tirante Diagonal de Refuerzo (Tirantes P.)_SLDDR.W					



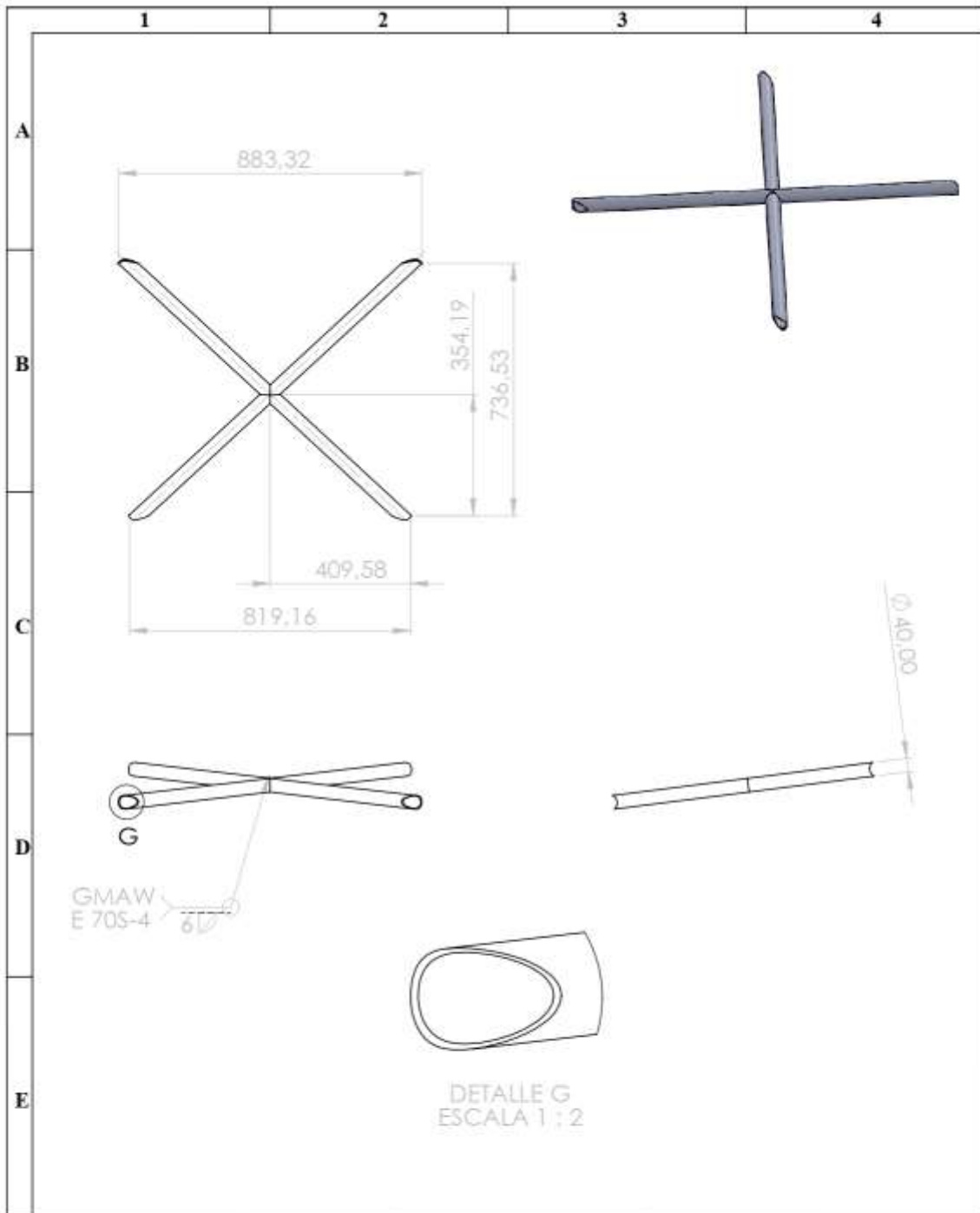
N°. Lámina: 5 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-05-1B-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Tirantes Diagonales de Refuerzo (Arco Principal)		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:20			
Proyectó		Sr. Freddy Guzmancuri				19/12/2022		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE JA Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023									
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023		Nombre de archivo: 5 Tirantes Diagonales de Refuerzo (Arco P).SLDDRW							



N°. Lámina: 6 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-IC-06-2C-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Tirantes Diagonales de Refuerzo (Arco Principal) - Ensamblado		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:15			
Proyectó		Sr. Freddy Guamanqui				19/12/2022		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J.A. Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.							
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023									
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023		Nombre de archivo: 6 Tirantes Diagonales de Refuerzo (Arco P) - Ensamblado SLDDRW							

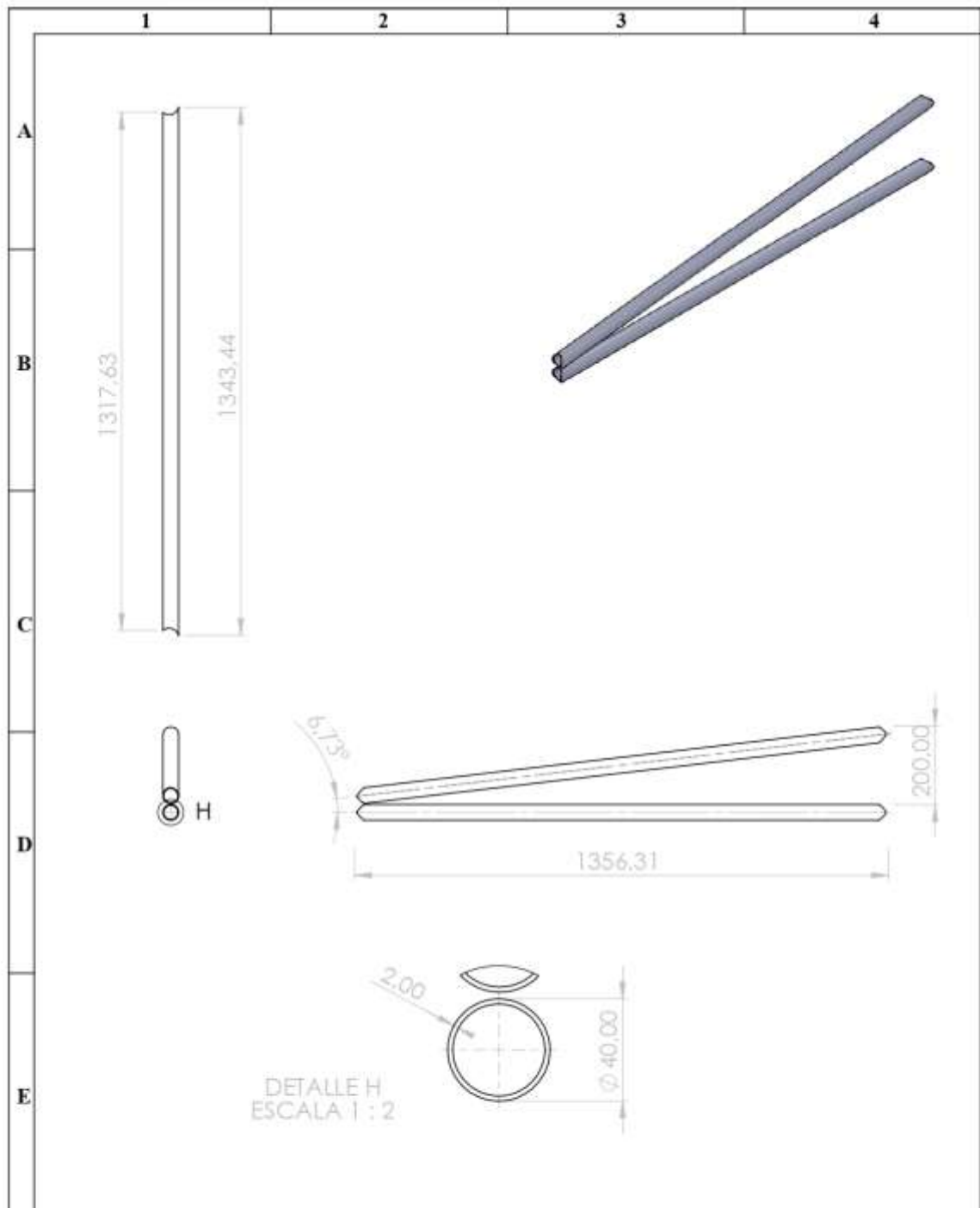


N°. Lámina: 7 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-07-1A-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Cartelas de Reforzo de Ángulos o Uniones		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:3			
Proyectó		Sr. Freddy Guamanacuri				19/12/2022		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE IA Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY 							
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023									
Aprobó		Ing. Cristian Redoban				28/02/2023		Materiales: Acero ASTM A36 Nombre de archivo: 7_Cartelas de Reforzos de Ángulos o Uniones.SLDDRW							

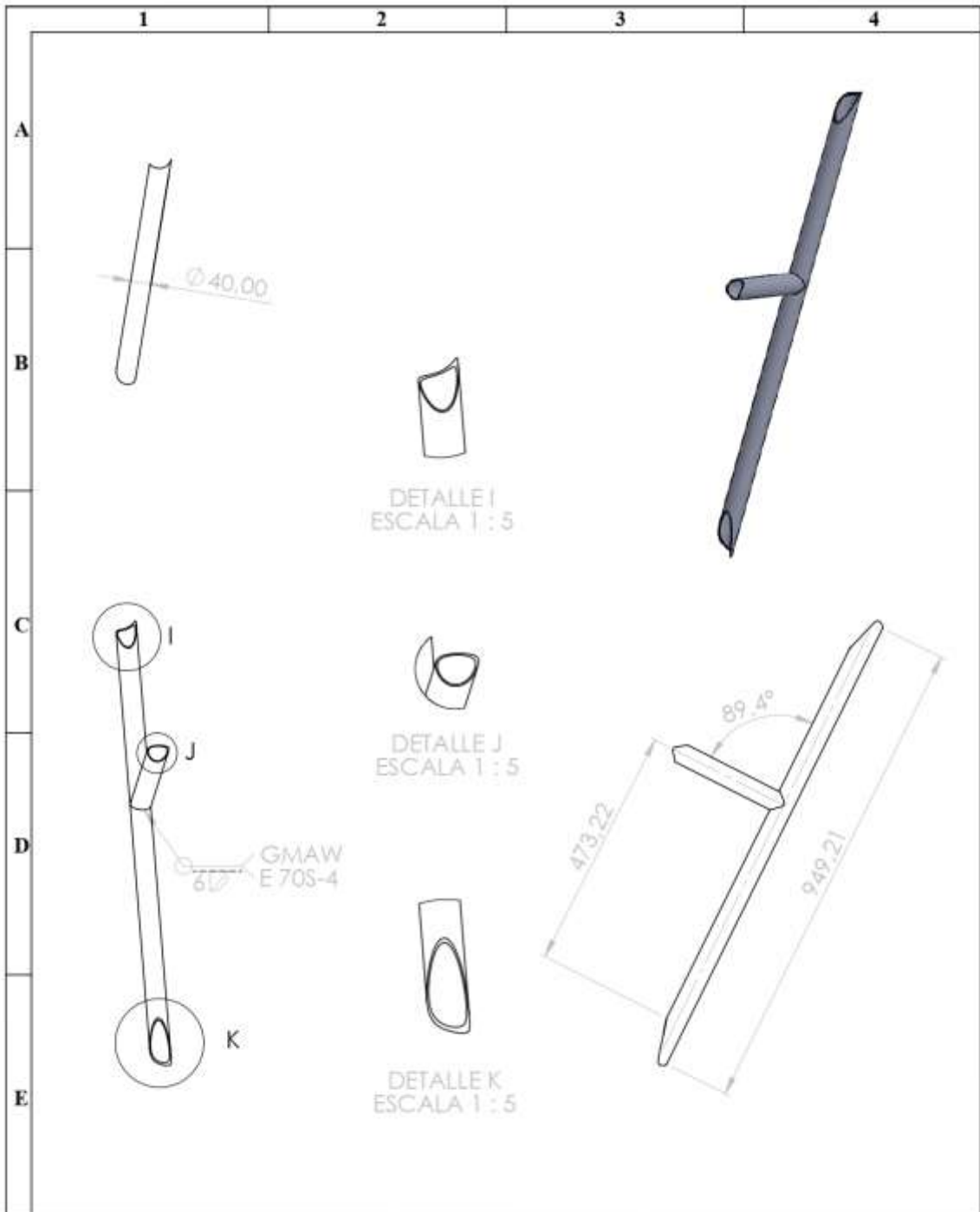


DETALLE G
ESCALA 1 : 2

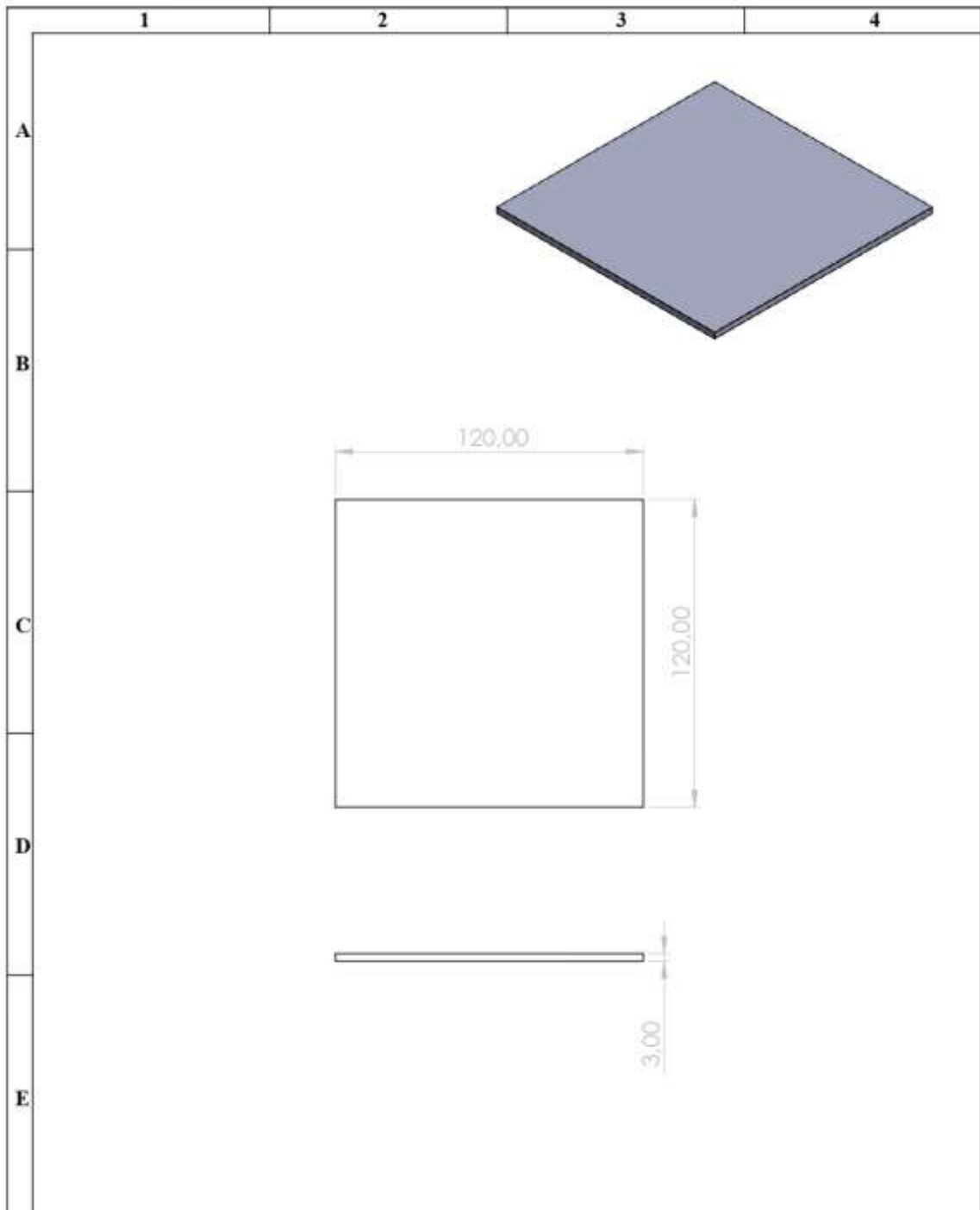
N°. Lámina: 8 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-08-1B-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación: Tirantes Diagonales de Refuerzo (Techo)					
Datos	Nombre	Firma	Fecha						±0.3 [mm]	1:15	
Proyectó	Sr. Freddy Gumáncun		19/12/2022								
Dibujó	Sr. Javier Alencastro		28/01/2023								
Revisó	Ing. Edwm Pozo		24/02/2023					Materiales: Acero AISI 4130		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE F.A. Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR. PENADA POR LA LEY	
Aprobó	Ing. Cristian Redroban		28/02/2023					Nombre de archivo: 8_Tirantes Diagonales de Refuerzo (Techo).SLDDRW			



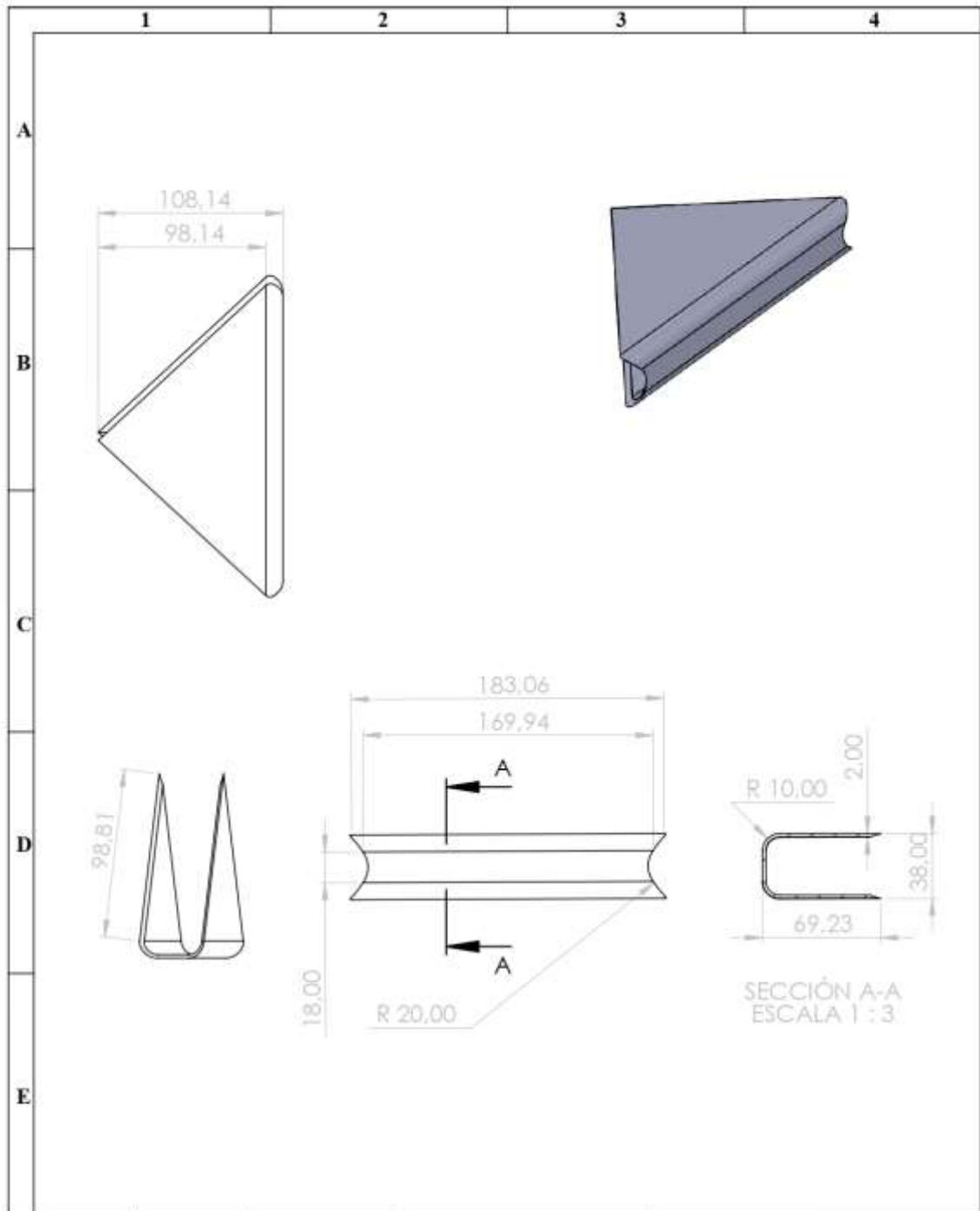
N°. Lámina: 9 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-09-1A-2023		ESPOCH			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación:		FACULTAD DE MECÁNICA			
						Tirantes Longitudinales (Refuerzo Puertas)		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [Kg]	Tolerancia
Proyectó		Sr. Freddy Guzmancun				19/12/2022			±0.3 [mm]	1:13	
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023					
Revisó		Ing. Edwm Pozo				24/02/2023					
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023		Materiales: Acero AISI 4130		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE IA, Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
						Nombre de archivo: 9 Tirantes Longitudinales (Refuerzo Puertas).SLDDRW					



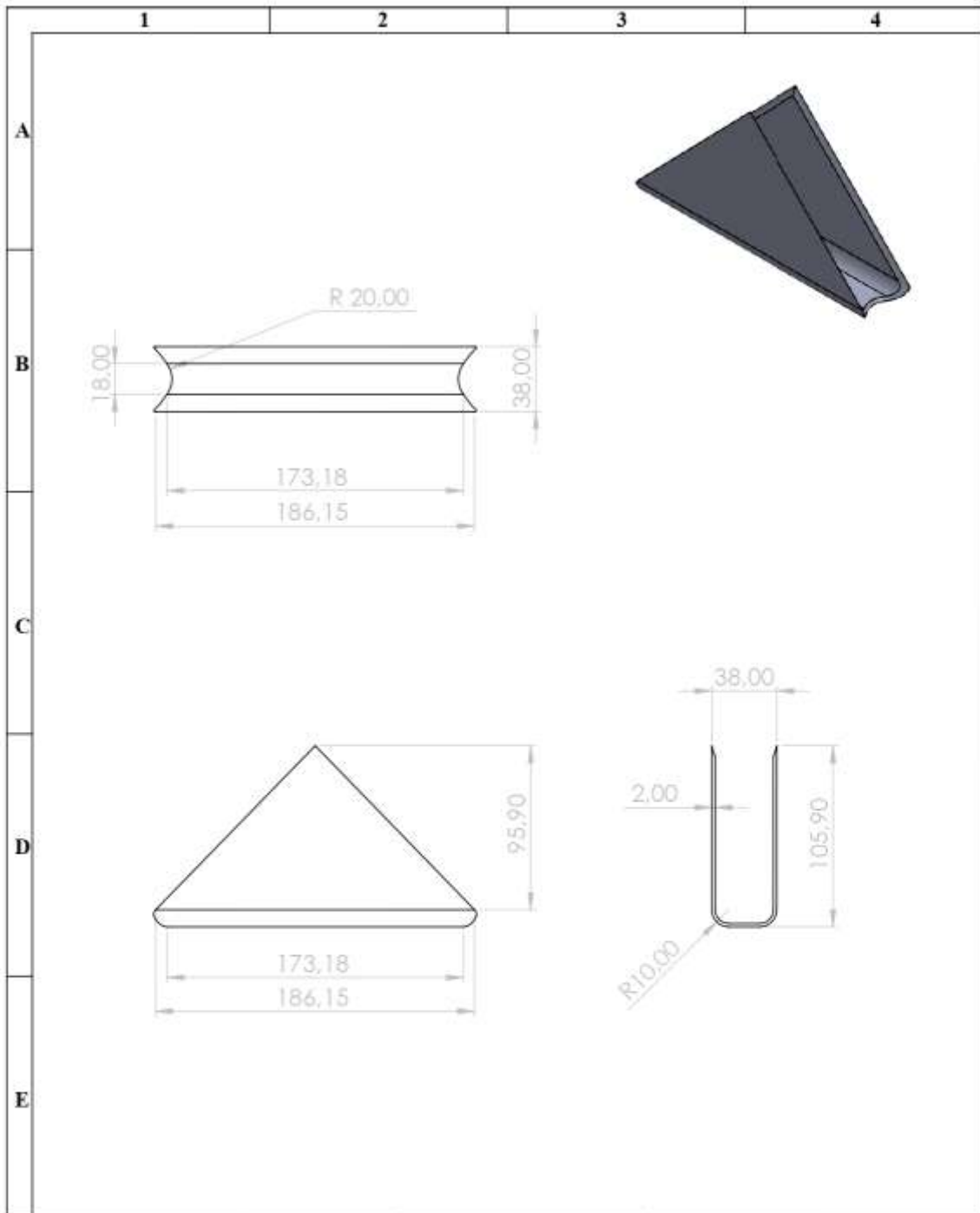
N°. Lámina: 10 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-10-1A-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación: Tirantes de Refuerzo (Laterales Arco D.)									
Datos		Nombre		Firma								Fecha		Peso [Kg]	
Proyectó		Sr. Freddy Gammaceni				19/12/2022				±0.3 [mm]		1:10			
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023		Materiales: Acero AISI 4130							
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023		Nombre de archivo: 10_Tirantes de Refuerzo (Laterales Arco D.)_SLDDRW							
						ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE IA Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR, PENADA POR LA LEY									



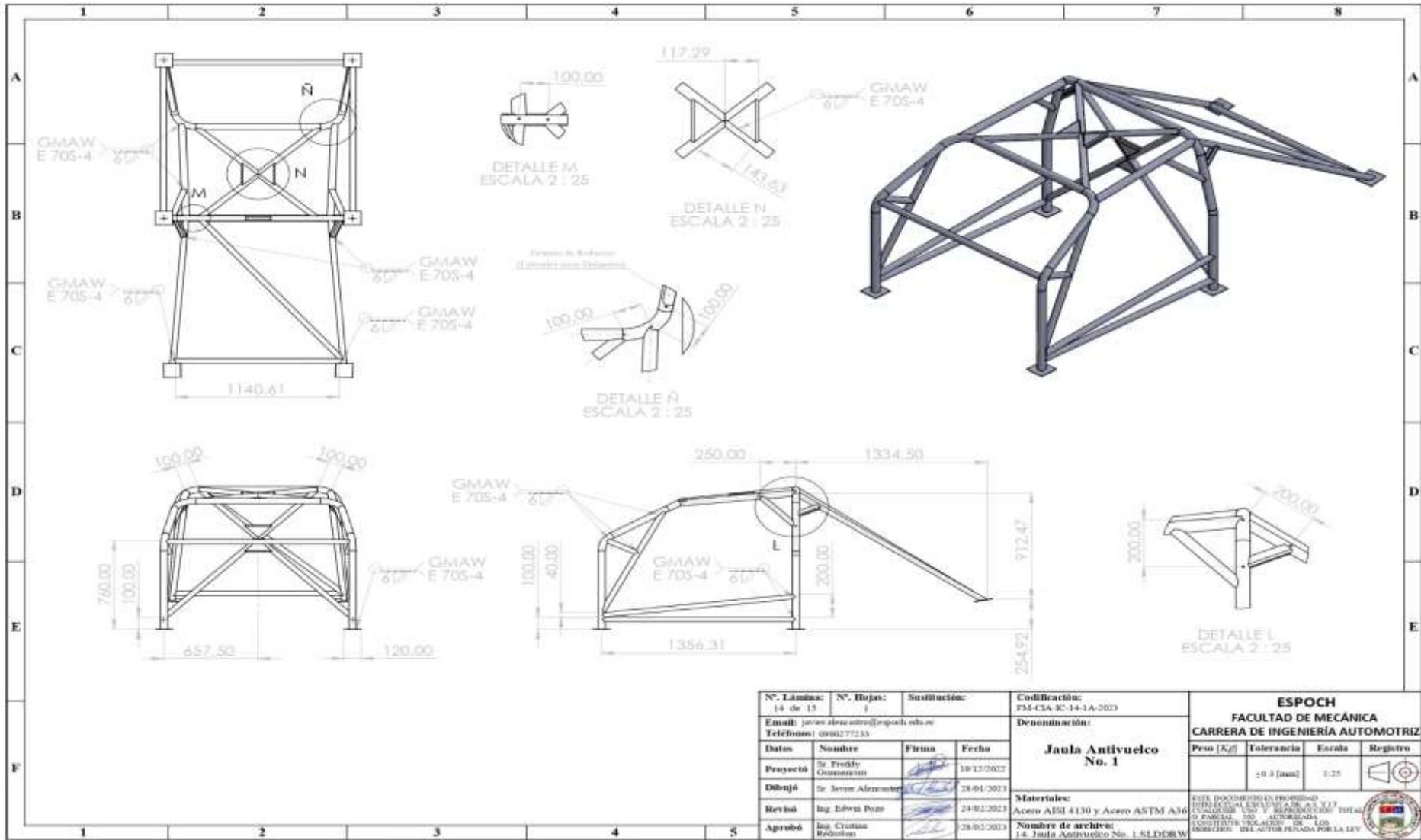
N°. Lámina: 11 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-IC-11-2C-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ									
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Pies de Anclaje		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:5					
Proyectó		Sr. Freddy Guamancaun				19/12/2022		Materiales: Acero ASTM A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J.A. Y F.O. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR, PENADA POR LA LEY							
Dibujó		Sr. Javier Alencastro				28/01/2023		Nombre de archivo: 11. Pies de Anclaje SLDDRW									
Revisó		Ing. Edwin Pozo				24/02/2023											
Aprobó		Ing. Cristian Redroban				28/02/2023											



N°. Lámina: 12 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-12-1B-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación: Cartelas de Refuerzo (Techo)					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					±0.3 [mm]	1:3		
Proyectó	Sr. Freddy Guamanacuri		19/12/2022					Materiales: Acero ASTM A36		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.A. Y.F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>	
Dibujó	Sr. Javier Alencastro		28/01/2023					Nombre de archivo: 12. Cartelas de Refuerzo (Techo).SLDDRW			
Revisó	Ing. Edwin Pozo		24/02/2023								
Aprobó	Ing. Cristian Redroban		28/02/2023								



N°. Lámina: 13 de 15		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-IC-13-1B-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: javier.alencastro@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0980277233						Denominación: Cartelas de Refuerzo (Arco Principal)					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					±0.3 [mm]	1:3		
Proyectó	Sr. Freddy Guzmancun		19/12/2022								
Dibujó	Sr. Javier Alencastro		28/01/2023								
Revisó	Ing. Edwin Pozo		24/02/2023								
Aprobó	Ing. Cristian Redroban		28/02/2023								
						Materiales: Acero ASTM A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J.A. Y F.G. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
						Nombre de archivo: 13. Cartelas de Refuerzo (Arco Principal).SLDDRW					



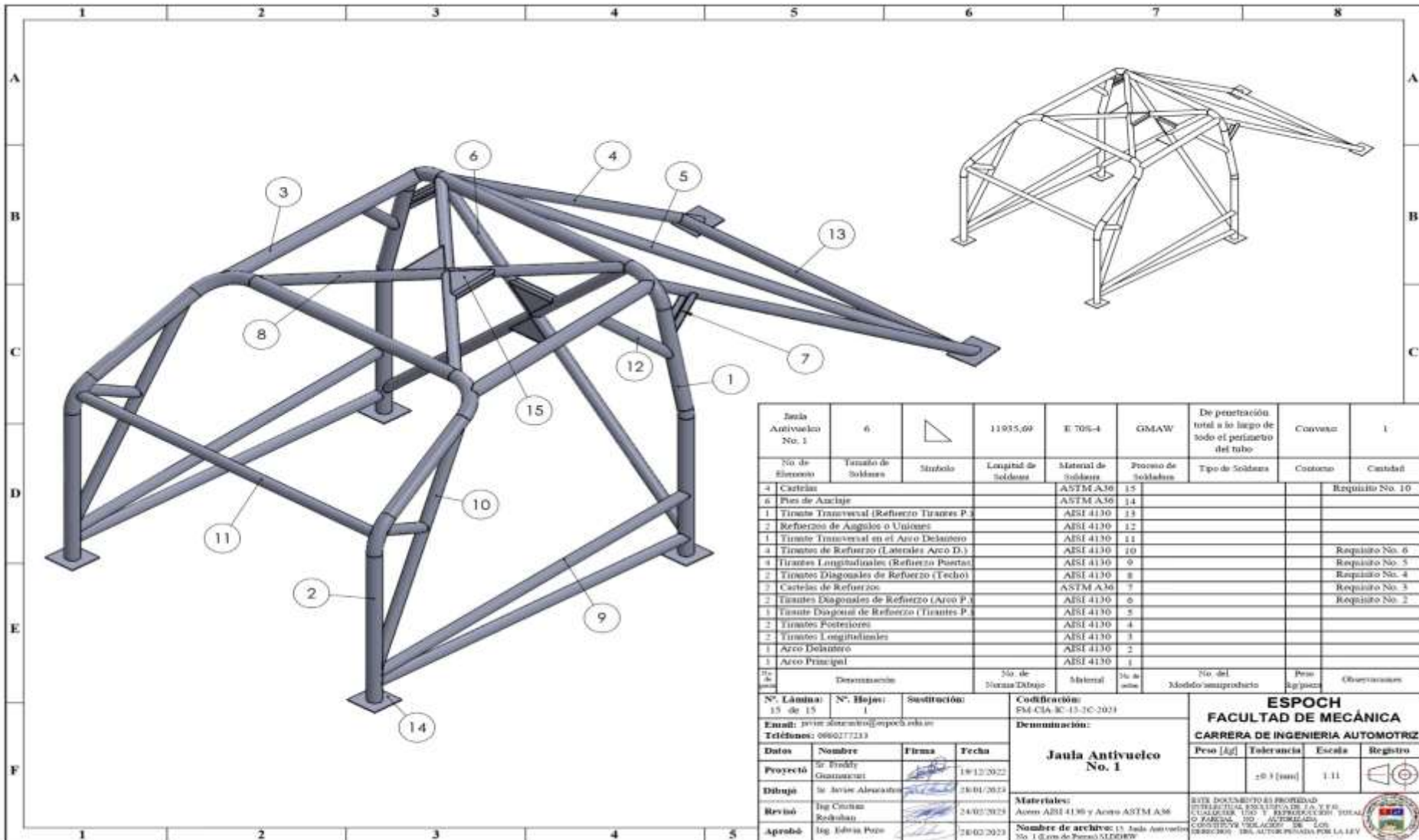
N° Lámina: 14 de 15	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CA-IC-14-1A-2023
Email: javac@esPOCH.edu.ec	Telefono: 0990277233		Denominación: Jaula Antivuelco No. 1
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyecto	Dr. Freddy Guamanán		19/12/2023
Dibujó	Dr. Javier Alejandro		28/01/2024
Revisó	Ing. Edwin Pizarro		24/02/2023
Aprobó	Ing. Cristian Rodríguez		28/02/2023
Materiales: Acero AISI 4130 y Acero ASTM A36			Nombre de archivo: 14_Jaula Antivuelco No. 1.SLDRAW

ESPOCH
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
	±0.3 [mm]	1:25	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD
INTELLECTUAL DE ESPOCH S.A.S. Y LEY
CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL
O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN
CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS
DERECHOS DEL AUTOR PERSEGUIDA POR LA LEY





No. de Elemento	Tamaño de Soldadura	Simbolo	Longitud de Soldadura	Material de Soldadura	Proceso de Soldadura	Tipo de Soldadura	Costos	Control
4				ASTM A30	15			Requisito No. 10
6				ASTM A30	14			
1				AISI 4130	13			
2				AISI 4130	12			
1				AISI 4130	11			
4				AISI 4130	10			Requisito No. 6
4				AISI 4130	9			Requisito No. 5
2				AISI 4130	8			Requisito No. 4
2				ASTM A30	7			Requisito No. 3
2				AISI 4130	6			Requisito No. 2
1				AISI 4130	5			
2				AISI 4130	4			
2				AISI 4130	3			
1				AISI 4130	2			
1				AISI 4130	1			

N° Lámina: 15 de 15		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: EM-CLA-IC-13-TC-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: sevier.alvarez@esPOCH.edu.ec		Teléfono: 0960277233		Denominación:		Jaula Antivuelco No. 1					
Dato		Nombre	Firma	Fecha		Peso [kg]		Tolerancia	Escala	Registro	
Proyectó		Dr. Freddy Guzmán	[Firma]	18/12/2022		±0.1 (mm)		1:11	[Logo]		
Dibujó		Dr. Javier Alvarado	[Firma]	20/01/2023		Materiales:		Este documento es propiedad INTELECTUAL POSITIVA DE S.A. S.P.A. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACION CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PROTEGIDA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Cristian Rodríguez	[Firma]	24/02/2023		Acero AISI 4130 y Acero ASTM A36					
Aprobó		Ing. Edwin Pizarro	[Firma]	20/02/2023		Número de archivo: 15_Jaula Antivuelco No. 1 (E. de Pizarro)		[Logo]			