

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



PROYECTO TÉCNICO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Tema: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS”

AUTOR: Andrés Marcelo López Montalvo

TUTOR: Ing. MSc Diego Núñez

AMBATO-ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del proyecto técnico “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS” elaborado por el Sr. Andrés Marcelo López Montalvo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, julio del 2018

.....
Ing. MSc Diego Núñez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Declaro que el contenido del trabajo investigativo bajo el tema: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS”, así como sus ideas, opiniones, resultados y conclusiones vertidas son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, julio del 2018

.....
Andrés Marcelo López Montalvo

C.I.: 180360161-4

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no ponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio del 2018

.....
Andrés Marcelo López Montalvo

C.I.: 180360161-4

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el egresado Andrés Marcelo López Montalvo, de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS”.

Ambato, julio del 2018

Para constancia firman.

.....

Ing. Mg. Mauricio Carrillo

.....

Ing. Mg. César Arroba

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado con todo mi cariño para mi familia en especial a mis padres, Marcelo y Mónica, por su amor, compañía y apoyo incondicional, es gracias a ellos que he podido cumplir con todas mis metas propuestas actualmente.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de esta prestigiosa Institución.

A los docentes de la Facultad de la Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos y sus valiosos consejos.

Al Ing. MSc. Diego Núñez, por su tiempo, guía y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
Resumen ejecutivo	XVI
Abstract (Summary)	XVII
CAPÍTULO I.....	0
ANTECEDENTES.....	0
1.2 Antecedentes.....	0
1.3 Justificación.....	1
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General:	2
1.4.2 Objetivos Específicos:	2
CAPÍTULO II	3
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. Investigaciones previas.....	4
2.2 Fundamentación Teórica	12
2.2.1 Generalidades:	12
2.2.2 Barra principal:.....	13
2.2.3 Arco frontal:	13
2.2.4 Arco lateral:	13
2.2.5 Tirantes y refuerzos:	13
2.2.6 Tirantes de los bastidores:	14
2.2.7 Tirantes refuerzos del techo:	15
2.2.8 Tirantes de puertas:.....	16
2.2.9 Pilar de refuerzo del parabrisas:	16
2.2.10 Extensiones permitidas:.....	17
2.2.11 Restricciones:	17
2.2.12 Puntos de anclaje de la estructura a la carrocería o al chasis:	18

2.2.13 Especificaciones de Tubo:	20
2.2.14 Restricciones del Tubo:	20
2.2.15 Indicaciones para la soldadura:	20
2.2.16 Revestimiento protector:	21
2.2.17 Pruebas de carga estática:	21
2.2.18 Pruebas con cargas dinámicas:	24
2.2.19 Método de elementos finitos	26
2.2.20 Ensayo de Tracción	33
CAPÍTULO III	35
DISEÑO DEL PROYECTO	35
3.1 Selección de alternativas:	35
3.2 Cálculos	35
3.2.1 Medición de vehículo	35
3.2.2 Modelado CAD	35
3.2.3 Asignación de cargas	35
3.2.4 Tiempo de análisis.....	35
3.2.5 Análisis de Elementos Finitos	35
3.2.6 Análisis por el Método de Elementos Finitos (FEA)	35
3.2.6.4 Análisis de resultados FEA	35
3.3 Presupuesto.....	35
3.4 Especificaciones técnicas	35
3.4.1 Anclajes:.....	35
3.4.2 Pintura:	35
3.4.3 Capacidad de carga.....	35
3.4.4 Tamaño:.....	35
CAPÍTULO IV	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
4.1. Conclusiones.....	35
4.2 Recomendaciones	35
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	40
ANEXO A. Fotos de construcción	40

ANEXO B. Pruebas de campo	48
ANEXO C. Proformas.....	50
ANEXO D. Planos.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 A. J. Foyt cuatro veces campeón de las 500 millas de Indianápolis.....	1
Figura 2 Arco frontal de Roll bar artesanal.....	7
Figura 3 Roll bar artesanal Honda Civic modalidad circuito.....	8
Figura 4 Roll bar artesanal Suzuki Forsa 2 modalidad trepada de montaña.....	8
Figura 5 Roll bar artesanal Suzuki Forsa 2 modalidad trepada de montaña.....	9
Figura 6 Arco frontal de Roll bar artesanal.....	9
Figura 7 Arco principal Roll bar artesanal.....	9
Figura 8 Arco frontal de Roll bar homologado MM.....	10
Figura 9 Arco posterior Roll bar homologado MM.....	10
Figura 10 Arco frontal de Roll bar MM.....	11
Figura 11 Roll bar homologado Sparco Peugeot 206 modalidad rally.....	11
Figura 12 Roll bar homologado Sparco Peugeot 206 modalidad rally.....	12
Figura 13 Arcos principales.....	13
Figura 14 Tirantes del arco principal.....	14
Figura 15 Tirantes de bastidores.....	15
Figura 16 Tirantes de bastidores.....	15
Figura 17 Tirantes de bastidores.....	16
Figura 18 refuerzos parabrisas.....	17
Figura 19 restricción de refuerzos frontales.....	17
Figura 20 restricción de refuerzos transversales.....	18
Figura 21 Anclaje en superficie plana.....	19
Figura 22 Anclaje en curvas de carrocería.....	19
Figura 23 Anclaje en superficies curvas.....	19
Figura 24 Carga vertical sobre arco principal.....	22
Figura 25 carga sobre el arco frontal.....	23
Figura 26 Carga lateral sobre arco principal.....	24
Figura 27 Prueba de choque frontal.....	25
Figura 28 Prueba de choque lateral.....	25
Figura 29 Prueba de vuelco.....	26

Figura 30 Restricciones de malla skewness	31
Figura 31 Distorsión en la geometría de un elemento por hourglassing.....	32
Figura 32 Convergencia de mallado	33
Figura 33 Máquina universal y probeta normalizada.....	33
Figura 34 Diagrama esfuerzo – deformación ingenieril	35
Figura 35 Diagrama esfuerzo – deformación real.....	35
Figura 36 Modelos de tirantes para distintos arcos por normativa FIA.....	35
Figura 37 Condiciones de geometría.....	35
Figura 38 Condiciones de mallado con calidad de malla aceptable.....	35
Figura 39 Soportes colocados donde el roll bar será soldado a la carrocería	35
Figura 40 Fuerza colocada sobre el arco principal.....	35
Figura 41 Limpieza de estructura 1 – A en SpaceClaim de ANSYS.....	35
Figura 42 Resultados estructura 1 - A.....	35
Figura 43 Limpieza de estructura 1 – B en SpaceClaim de ANSYS.....	35
Figura 44 Resultados combinación 1 - B	35
Figura 45 Limpieza de estructura 2 – A en SpaceClaim de ANSYS.....	35
Figura 46 Resultados combinación 2 – A	35
Figura 47 Limpieza de estructura 2 – B en SpaceClaim de ANSYS	35
Figura 48 Resultados combinación 2 - B	35
Figura 49 Medición tren trasero y ancho total del vehículo.....	35
Figura 50 Medición de distancia entre ejes y largo total del vehículo.....	35
Figura 51 Medición de tren delantero y altura del vehículo	35
Figura 52 Peso en báscula de empresa Molinos Miraflores S. A.....	35
Figura 53 Ubicación de plantillas para modelado.....	35
Figura 54 Proceso de modelado	35
Figura 55 Proceso de modelado	35
Figura 56 Proceso de modelado	35
Figura 57 Vehículo modelado a medidas originales	35
Figura 58 Roll bar base para distintas estructuras.....	35
Figura 59 Arco principal bajo condiciones de normativa FIA.....	35

Figura 60 Informe de fallo de material	35
Figura 61 Arco principal en post procesador LS-DYNA.....	35
Figura 62 Gráfica de cruces entre la energía cinética y energía interna	35
Figura 63 Análisis modal de la estructura.....	35
Figura 64 Placa para pruebas de cargas sobre el arco principal.....	35
Figura 65 Placa para pruebas de cargas sobre el arco frontal	35
Figura 66 Condiciones de mallado.....	35
Figura 67 Condiciones de mallado para la estructura	35
Figura 68 Condiciones de mallado para las placas	35
Figura 69 Condiciones de grados de libertad para placa superior	35
Figura 70 Condiciones de grados de libertad para placa frontal.....	35
Figura 71 Ubicación de Fixed supports en el roll bar	35
Figura 72 Carga para pruebas en la placa superior	35
Figura 73 Carga para pruebas en la placa frontal.....	35
Figura 74 Ajustes para análisis FEA.....	35
Figura 75 Gráfica de deformación de en ensayo con placa superior	35
Figura 76 Gráfica de deformación de en ensayo con placa superior	35
Figura 77 Gráfica Effective Plastic Starain placa superior estructura 1 – B.....	35
Figura 78 Gráfica Effective Plastic Starain placa frontal estructura 1 – B.....	35
Figura 79 Esquema de choque frontal en LS-PrePost.....	35
Figura 80 Máximo esfuerzo Von Mises.....	35
Figura 81 Desplazamiento y deformación en el punto más crítico	35
Figura 82 Anclaje en curva tipo grada de la carrocería	35
Figura 83 Refuerzo en superficie curva de carrocería	35
Figura 84 Pintura del roll bar	35
Figura 85 :Gráfico de cómo se emplea las cargas sobre la estructura	35
Figura 86 Medidas del largo, altura y ancho del roll bar para Corsa Wind	35
Figura 87 Modelo de vehículo	40
Figura 88 Remoción del interior del vehículo.....	40
Figura 89 Limpieza y remoción de cableado y protecciones de carrocería	41

Figura 90 Eliminación de elementos inservibles	41
Figura 91 Refuerzos en zonas débiles de carrocería	42
Figura 92 Instalación de placas bases y refuerzos para anclaje	42
Figura 93 Corte y doblaje de tubería.....	42
Figura 94 Corte doblaje e instalación del arco principal	43
Figura 95 Biselado de tuberías.....	43
Figura 96 Instalación del arco trasero	43
Figura 97 Instalación de tirantes en V en arco trasero	44
Figura 98 Instalación de tirantes en X en arco principal.....	44
Figura 99 Instalación del arco delantero	45
Figura 100 Tirantes en X para las puertas y soporte del arco delantero	45
Figura 101 Placas perforadas para eliminar tensión y mejorar la estética	46
Figura 102 Pintura y acabados estéticos	46
Figura 103 Resultado final.....	47
Figura 104 Pruebas en espacios cerrados.....	48
Figura 105 Pruebas Trepada de Montaña Tungurahua	48
Figura 106 Pruebas Trepada de Montaña Cotopaxi.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Restricciones de tubería	20
Tabla 2 Tabla de comparación de resultados	35
Tabla 3 Tabla de medidas del vehículo para diseño CAD	35
Tabla 4 Esfuerzo del tubo de acero de espesor de 2mm (Probeta 1)	35
Tabla 5 Esfuerzo del tubo de acero de espesor de 2mm (Probeta 2)	35
Tabla 6 esfuerzo de tubo de acero de 2mm (Probeta 3).....	35
Tabla 7 Esfuerzo de tubo de acero de 2mm (Probeta 3)	35
Tabla 8 Esfuerzo de tubo de acero de 2mm (Probeta 5)	35
Tabla 9 Deformación en cada estructura.....	35
Tabla 10 Resultados deformación en los arcos de cada modelo de Roll Bar	35
Tabla 11 Presupuesto de Gastos.....	35

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS”

Autor: Andrés Marcelo López Montalvo

Tutor: Ing. Mg. Diego Núñez

Resumen ejecutivo

El desarrollo del presente proyecto técnico realizado en la ciudad de Ambato se enfoca en el diseño, análisis y construcción de una estructura de un roll bar (jaula anti vuelcos) modelado para un vehículo Chevrolet Corsa que será puesto en competición en la modalidad de rally y trepadas de montaña en los varios campeonatos a realizarse en el país con la finalidad de brindar la mayor seguridad a la tripulación del auto cumpliendo con la normativa impuesta por la Federación Internacional de Automovilismo.

La estructura está construida con acero estructural fabricado en Ecuador modelada y analizada bajo normativas oficiales FIA donde se obtuvo los resultados deseados para tener la confiabilidad para la instalación en el vehículo y ya someterlo a prueba en varias competencias realizadas por la FEDAK (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo) donde se ha observado que el Roll Bar tiene un buen comportamiento como estructura dentro del auto sin deformaciones ni rupturas en ninguna parte de la estructura.

Todos los análisis y modelados fueron realizados en softwares con licencias otorgadas a la Universidad Técnica de Ambato y la recolección de algunos datos de los materiales empleados fueron obtenidos de fuentes confiables de documentos realizados por docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Palabras claves: Roll Bar, automovilismo, seguridad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CAREERS

TOPIC: "DESIGN, SIMULATION AND CONSTRUCTION OF A ROLL BAR STRUCTURE FOR COMPETITION VEHICLE MODALITY RALLY, ACCORDING TO FIA RULE ARTICLE 253-2014, BY COMPUTATIONAL ANALYSIS BY THE FINITE ELEMENTS METHOD"

Author: Andrés Marcelo López Montalvo

Tutor: Ing. Diego Núñez Mg.

Abstract (Summary)

The development of the present technical project carried out in the city of Ambato focuses on the design, analysis and construction of a structure of a roll bar (anti roll cage) modeled for a Chevrolet Corsa vehicle that will be put into competition in the rally mode and mountain climbs in the various championships to be held in the country in order to provide the greatest safety to the crew of the car in compliance with the regulations imposed by the International Automobile Federation.

The structure is built with structural steel manufactured in Ecuador modeled and analyzed under official FIA regulations where the desired results were obtained to have the reliability for installation in the vehicle and to test it in several competitions carried out by FEDAK (Ecuadorian Federation of Motorsports and Kartismo) where it has been observed that the Roll Bar has a good behavior as a structure inside the car without deformations or ruptures in any part of the structure.

All the analyzes and modeling were carried out in softwares with licenses granted to the Technical University of Ambato and the collection of some data of the materials used were obtained from reliable sources of documents made by teachers of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering.

Keywords: Roll Bar, racingcar, safety.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1 Tema

“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE ROLL BAR PARA VEHÍCULO DE COMPETICIÓN MODALIDAD RALLY, SEGÚN NORMATIVA FIA ARTÍCULO 253-2014, MEDIANTE ANÁLISIS COMPUTACIONAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS”

1.2 Antecedentes

Hoy en día en competencias automovilísticas de modalidad rally es necesario y obligatorio la implementación de una jaula anti vuelco o roll bar puesto que están propensos a accidentes debido a las altas velocidades y maniobras que se emplea en este tipo de disciplina.

Los primeros roll bar fueron colocados en Europa en el año 1959, por primera vez en las quinientas Millas de Indianápolis sobre algunos monoplazas de fórmula junior, y sobre los vehículos deportivos de Maserati, debido al éxito en el plano de seguridad la Federación Americana de automovilismo presenta una normativa obligatoria de la implementación de un arco protector en 1961, sus principales características fueron el de tener una tubería que rebase los 3 cm la cabeza del piloto y que el ancho sea mayor que el de la espalda, esta debía ser de tubería redonda y doblada en forma de U como se observa en la figura 1 permitiendo darle una zona de seguridad al piloto en caso de una colisión.

[1]



Figura 1 A. J. Foyt cuatro veces campeón de las 500 millas de Indianápolis [2]

En el año de 1964 las federaciones automovilísticas implementan en el Turismo y Gran Turismo la implementación de una jaula protectora para el tripulante sin que refuerce la rigidez estructural original del vehículo; posterior a esto en 1970 la jaula es exigida para todo tipo de vehículo que participe en carreras automovilísticas. [3]

El rally es una disciplina de competición de automóviles que se dan en carreteras de uso público al tráfico, estas son cerradas para este tipo de eventos. Cada trazado rodado es denominado tramo de velocidad donde cada una de las tripulaciones debe cumplirlo en el menor tiempo en su debida categoría por cilindraje del motor de sus vehículos. [4]

Los aspectos tomados en cuenta para la participación de las tripulaciones en una carrera de rally son fijados bajo normativa dictada por la Federación Internacional de Automovilismo las cuales pueden ser modificadas a criterio de cada país, dependiendo del nivel de competencia que se tenga ya sea campeonatos mundiales, nacionales o provinciales. Esta normativa siempre exige la mayor seguridad en las modificaciones para los vehículos de serie manteniendo integra la vida de la tripulación. [5]

1.3 Justificación

De acuerdo a la normativa FIA artículo 253-2014, se desarrolló un diseño de roll bar o jaula anti vuelco. En el proceso se realizó una modelación y finalmente una vez que se coloque todas las condiciones necesarias y obligatorias se procedió a medir mediante una

simulación la resistencia de la estructura.

El proyecto se desarrolló en un taller particular, para lo cual se seleccionó un modelo de jaula específica para el tipo de vehículo que se adquirió de clase m1 (automóvil compacto) para las modificaciones respectivas para participación en carreras modalidad rally, cubriendo todas las exigencias de seguridad hacia la tripulación y poder adquirir una certificación internacional para construir este tipo de roll bar que se diseñará debido a que muy pocas empresas tienen este tipo de certificado oficial y a nivel nacional no existe la seguridad debida para pilotaje en autos de carrera.

El impacto deseado del proyecto es llegar a construir posteriormente en la empresa jaulas de seguridad con una homologación oficial donde sea conocida por los pilotos por su nivel de seguridad a nivel nacional e internacional debido a que estamos en un país centralizado en el ámbito de carreras automovilísticas.

Una de las principales razones para realizar este proyecto es que al estar inmiscuido en este deporte se observa el abuso por parte de fabricantes de jaulas donde en su mayoría son pequeños talleres dedicados a realizar trabajos en tuberías de escape y otros talleres que elevan excesivamente sus precios estafando a los clientes vendiéndoles un producto con materiales de mala calidad o en peores casos modelos de jaulas ineficientes atentando a la seguridad de la tripulación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Diseñar, simular y construir una estructura de roll bar para un vehículo de competición modalidad rally, según normativa FIA artículo 253-2014, mediante análisis computacional por el método de elementos finitos.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Investigar los tipos de roll bars, en la disciplina automovilística de rally bajo normativa FIA para la WRC (World Rally Championship), para evaluar sus ventajas y desventajas en distintos modelos de estructuras.
- Adquirir las propiedades mecánicas del material obtenidos de la bibliografía especializada, para determinar sus resistencias reales para el uso de datos en las simulaciones bajo software.
- Diseñar bajo normativas oficiales FIA (Federación Internacional Automovilística) y realizar pruebas de distintos tipos de colisión y deformación mediante el análisis computacional por el método de elementos finitos y determinar el mejor modelo para su construcción.
- Construir e instalar la jaula de protección en el vehículo mediante juntas con soldadura de acuerdo al modelo optimizado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Investigaciones previas

Actualmente el automovilismo en Ecuador ha crecido gracias a las diferentes disciplinas de competencias donde la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo ha exigido medidas de seguridad principalmente roll bar [6], debido a esto como soportes investigativos se ha podido destacar proyectos universitarios, papers y proyectos empresariales a nivel nacional e internacional específicamente sobre esta medida de seguridad.

Desde varios años atrás se ha empleado el uso de softwares en CAD y para análisis con un módulo de elementos finitos donde se ha facilitado enormemente los cálculos de estructuras en un formato en tercera dimensión ya que este tipo de análisis son muy complejos de realizar correctamente y también se logra ahorrar mucho tiempo de pruebas y fabricación. Una de las cosas esenciales para un diseño de un roll bar es la aplicación de la normativa impuesta por la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) para garantizar la seguridad de la tripulación. Siempre es necesario diseñar bajo normativa varias opciones para someterlas a simulaciones tanto de tensión como de desplazamiento para afirmar que se obtiene un diseño óptimo que haya superado las pruebas. Para el diseño se inicia con un arco de seguridad muy básico que no es lo suficientemente fuerte para aguantar las cargas a las que es sometida y se rediseña con más elementos donde utilizando el criterio de aumentar la rigidez de los distintos elementos que conforman el diseño para encontrar una configuración de la geometría que soporte las cargas con un amplio margen de seguridad como es requerido en la normativa [7].

Posteriormente en el 2014 se realizó pruebas en softwares más avanzados para el cálculo de elementos finitos obteniéndose resultados confiables en el análisis de los artículos científicos para diseño de un roll bar bajo la normativa FIA vigente en dicho año para la construcción de un auto Corsa de rally. Debido a este avance de análisis ha sido posible evaluar la funcionalidad, factibilidad y seguridad de una estructura. En estos estudios

realizados en Ecuador ha sido utilizado materiales de manufactura nacional, y se ha diseñado modelos que no llegan a sus límites elásticos dentro de las propiedades mecánicas lo cual da la seguridad de diseñar un modelo sin la necesidad de adquirir material importado para cumplir las resistencias exigidas [8].

En estudios efectuados en la Escuela Politécnica del Ejército realizados en el 2015 se ha mejorado los diseños anteriores de roll bars propuestos, para la fabricación de una de estas estructuras bajo normativa FIA e incluso se ha desarrollado el diseño de más elementos para un auto de rally con material nacional donde se ha cumplido con los factores de seguridad validándose de esa manera la resistencia de un roll bar como especifica la normativa usada. [9]

En este mismo año en la Universidad Politécnica Salesiana surge una nueva investigación como proyecto técnico de pregrado utilizando la normativa FIA que establecen los requisitos para la fabricación de un roll bar para un Suzuki de rally utilizando el análisis por el método de elementos finitos con un tiempo de 0,05 segundos de análisis, la misma que debe ser cumplida a cabalidad para obtener la mejor seguridad pasiva para el vehículo. La normativa de la FIA exige que el roll bar debe ser diseñado bajo ensayos mecánicos mediante la aplicación de cargas que esta debe soportar en una situación crítica de un impacto frontal, un vuelco o un impacto lateral, estas son pruebas que se basan en las deformaciones máximas permitidas dentro del espacio de supervivencia de la tripulación en caso de un accidente. El estudiante que realizo el proyecto para el diseño y construcción de un roll bar para el Suzuki asegura que la investigación en el diseño y la construcción de roll bars es mínima en nuestro país, por este motivo los roll bars en carros de competencia presentan varios defectos de construcción o son fabricados con materiales que no cumplen con la seguridad del vehículo de rally, y a nivel nacional se observa altos costos en talleres que no tienen homologación otorgada por la entidad internacional. A través de estudios realizados con material comercializados a nivel nacional se ha concluido que dan malos resultados presentando deformaciones mayores a las permitidas por normativa para lo cual es necesario implementar un mayor número de refuerzos para cumplir con la expectativa de la investigación realizada en el proyecto

mencionado anteriormente. [10]

Actualmente empresas internacionales dedicadas a la investigación y producción de roll bars tienen muy en claro que el objetivo básico de un roll bar es evitar la deformación de la carrocería, por lo tanto reducir el riesgo de daños a los ocupantes en casos de colisión o de volcamiento del auto. Los tubos de las puertas del roll bar no deben impedir indebidamente la entrada o salida del piloto y copiloto. El roll bar es un armazón estructural compuesta por una barra antivuelco principal una o dos barras antivuelco frontales (depende del diseño), sus miembros de conexión, miembros diagonales, soportes y puntos de montaje. Longitudinalmente el roll bar debe estar completamente contenido entre los puntos de montaje superiores de la suspensión delantera y los puntos de montaje superiores de la suspensión trasera o la línea central del eje trasero [11].

El roll bar es el recurso indispensable para la protección de los ocupantes durante una carrera de rally proporcionando una fuerza adicional a la carrocería. Para el diseño es obligatorio pruebas de las resistencias mecánicas pero ya con el uso de las simulaciones de elementos finitos se puede evitar el despilfarro de recursos en pruebas físicas reales y se puede aumentar la velocidad de obtención de resultados reduciendo el costo y el tiempo hasta llegar a la fabricación. En una investigación Italiana del 2016 el análisis confirmó que las características del material tienen la principal influencia en la rigidez del diseño. En particular el material bajo en carbono no es capaz de satisfacer las condiciones de seguridad regidas por la norma (<50 mm de deformación) y en este paper italiano se está refiriendo a material Europeo, lo cual también obliga a realizar modificaciones a la geometría hasta lograr los refuerzos para evitar una deformación no permitida [12].

Para cumplir con el objetivo principal de esta investigación para lograr un diseño apropiado se ha tomado en cuenta una recopilación de autos de carreras con roll bars artesanales y otros con homologación; a nivel nacional se corre varias disciplinas como rally, trepadas de montaña y circuitos en los cuales los pilotos usan el mismo vehículo para cualquiera de estas tres modalidades.

Un Honda Civic utilizado en circuitos y varias veces campeón provincial en trepadas de montaña ocupa un roll bar artesanal fabricado con tubería de acero inoxidable, este roll bar no tiene un estudio previo de resistencia ni un diseño que este permitido por la normativa FIA, es fabricado totalmente de manera artesanal, se puede observar en la figura 2 que el arco delantero tiene dobleces al rededor del tablero con ángulos demasiado cerrados y soportes insuficientes como para aguantar un fuerte impacto poniendo en riesgo a la tripulación del vehículo.



Figura 2 Arco frontal de Roll bar artesanal

Fuente (Autor)

En la figura 3, imagen del mismo auto es notorio que los tirantes del arco posterior tienen dobleces en los puntos de unión con el arco principal, de esta manera pierden su funcionalidad como soportes de los arcos principales.

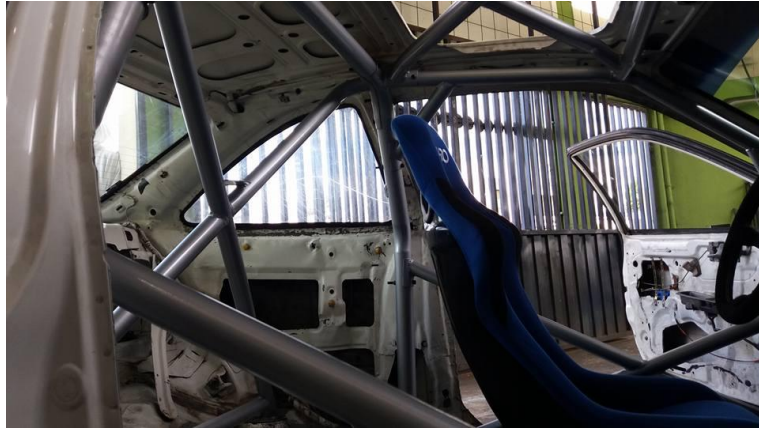


Figura 3 Roll bar artesanal Honda Civic modalidad circuito

Fuente (Autor)

La modalidad de rally “trepada de montaña” es una disciplina automovilística que consiste en una carrera en caminos de asfalto en zonas rurales que la mayoría del trazado es cuesta arriba, debido a varios accidentes la FEDAK (Federación Ecuatoriana de automovilismo y kartismo) implemento en su reglamento el uso obligatorio de roll bar o medio roll bar. En la figura 4 y figura 5 se puede observar las partes traseras de dos Suzuki Forsa 2 con un medio roll bar el cual consiste únicamente en el arco principal y el arco posterior sin ningún tirante, de igual manera debido a que la mayoría de autos de trepada de montaña también son autos normales que se usan en el diario se puede diseñar un roll bar desmontable que no tenga soldaduras, simplemente unidos a los soportes con pernos.



Figura 4 Roll bar artesanal Suzuki Forsa 2 modalidad trepada de montaña

Fuente (Autor)



Figura 5 Roll bar artesanal Suzuki Forsa 2 modalidad trepada de montaña

Fuente (Autor)

En las trepadas de montaña la seguridad con la que se desee correr es decisión de la tripulación si desean implementar un medio roll bar o roll bar completo, en las figuras 6 y 7 se ve como un Honda Civic posee un roll bar completo con tirantes en sus arcos, pero igual es un diseño artesanal sin ningún estudio previo, es decir no se conoce su resistencia ni la manera que se deformará en algún impacto que reciba el vehículo.



Figura 6 Arco frontal de Roll bar artesanal

Fuente (Autor)



Figura 7 Arco principal Roll bar artesanal

Fuente (Autor)

Para poder participar en rally es obligatorio un roll bar completo que tenga homologación, en las figuras 8 y 9 se observa al Volkswagen Gol de Daniel Barreno quien obtuvo el 3er lugar en el campeonato nacional de rally en la categoría T3, este auto está equipado con un roll bar con la homologación del taller ambateño del Ingeniero Marco Miranda.



Figura 8 Arco frontal de Roll bar homologado MM

Fuente (Autor)



Figura 9 Arco posterior Roll bar homologado MM

Fuente (Autor)

Otro auto de rally es el Renault Clio de Luis Zurita, este auto tiene un roll bar con homologación antigua de Marco Miranda, figura 10; esta estructura fue diseñada con reglamentos anteriores por lo que fue unido con pernos y actualmente en el 2018 tuvo

que ser modificada la estructura con uniones soldadas para cumplir el reglamento actual y según el piloto no compra una nueva estructura debido al alto precio de estos.



Figura 10 Arco frontal de Roll bar MM

Fuente (Autor)

En la figura 11 y 12 se observa al Peugeot 206 de la familia Palacios, este roll bar es con homologación internacional Sparco, esta es una de las estructuras más completas y seguras a nivel mundial, debido a sus elevados costos es más complicado la aplicación para un mayor número de vehículos.



Figura 11 Roll bar homologado Sparco Peugeot 206 modalidad rally

Fuente (Autor)



Figura 12 Roll bar homologado Sparco Peugeot 206 modalidad rally

Fuente (Autor)

2.2 Fundamentación Teórica

El rally al igual que las distintas disciplinas automovilísticas los accidentes son muy frecuentes, esta modalidad consiste en conducir a altas velocidades en caminos angostos llenos de varios peligros como peñas árboles y quebradas los cuáles son las principales causantes de accidentes que pueden llegar a costar la vida de una tripulación. A diferencia de las otras disciplinas no se tiene las seguridades como zonas de escape o muros de contención de neumáticos y mucho menos un juez de pista en cada curva con extintores. Otra de las condiciones de seguridad tiene que ver directamente con la situación meteorología donde depende mucho el estado de cada pista. [13]

En las medidas de seguridad obligatorias constan overoles ignífugos, cinturones de seguridad de cinco puntos, cascos y sobretodo la jaula de seguridad que protege de cualquier tipo de golpe ya sea por vuelco o estrellamiento contra paredes, muros árboles y de más. [14]

2.2.1 Generalidades:

Una jaula anti vuelco completa se la debe realizar en acero, en donde las soldaduras deben realizarse alrededor de todo el perímetro del tubo. El uso de tubería doblada en frío y soldada está permitido para la homologación, pero se prohíbe cromados en la jaula. Toda la tubería de la estructura debe tener 1.5 mm de espesor como mínimo obligatoria

mente para una jaula soldada. [15]

2.2.2 Barra principal:

Este tubo debe ser ubicado de manera transversal al vehículo y de manera vertical en un solo plano con un ángulo de inclinación con una tolerancia de $\pm 10^\circ$ como se observa de color rojo en la figura 13 [15]

2.2.3 Arco frontal:

La forma de este arco sigue a los montajes y la forma del borde superior del parabrisas, se lo puede observar de color amarillo en la figura 13 [16]

2.2.4 Arco lateral:

Esta es una estructura es longitudinal al vehículo, es decir es tangencial al arco principal, está construida con un arco tubular de una sola pieza, instalados a cada uno de los lados de manera frontal y posterior con respecto al arco principal, los frontales siguiendo la geometría del techo siguiendo por los montantes del parabrisas para terminar en el piso del auto y el posterior conecta desde el arco principal al piso posterior, como se observa en la figura 13 [16]

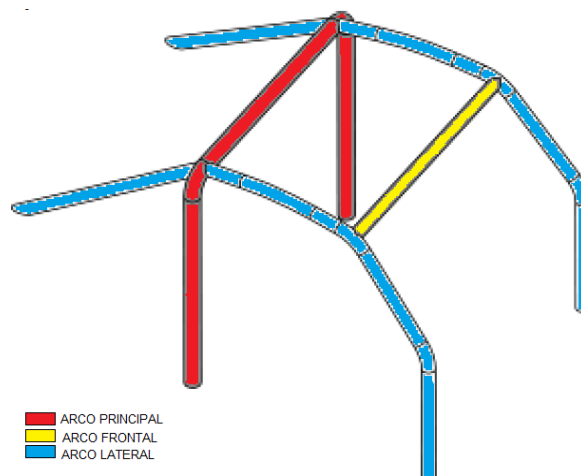


Figura 13 Arcos principales [17]

2.2.5 Tirantes y refuerzos:

Es obligatoria la instalación de tirantes diagonales en el arco principal. Los tubos debe ser macho y hembra es decir, uno de los dos debe ser una sola pieza. Los extremos inferiores de los tirantes deben soldarse al arco principal a una altura máxima de 100mm con respecto a los pies de montaje, de igual manera en los extremos superiores se debe unir al arco principal a no más de 100 mm de la unión con los bastidores. [18]

2.2.6 Tirantes de los bastidores:

Al igual que los tirantes del arco principal como se observa en la figura 14, la instalación de estos es de manera obligatoria pero con mayor opciones de geometría donde puede ser solo una diagonal principal, una X de igual forma con un macho y hembra o una V invertida con refuerzo hacia el techo, incluso se puede reforzar con tirantes que vayan desde la base del arco principal hacia la base de cada bastidor como en la figura 15, con las mismas restricciones que el tirante del arco principal. [18]

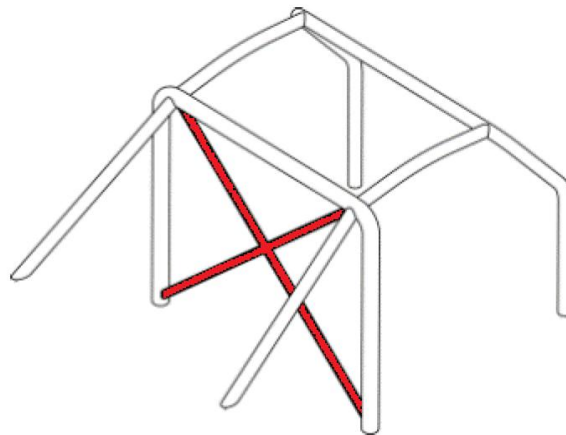


Figura 14 Tirantes del arco principal [19]

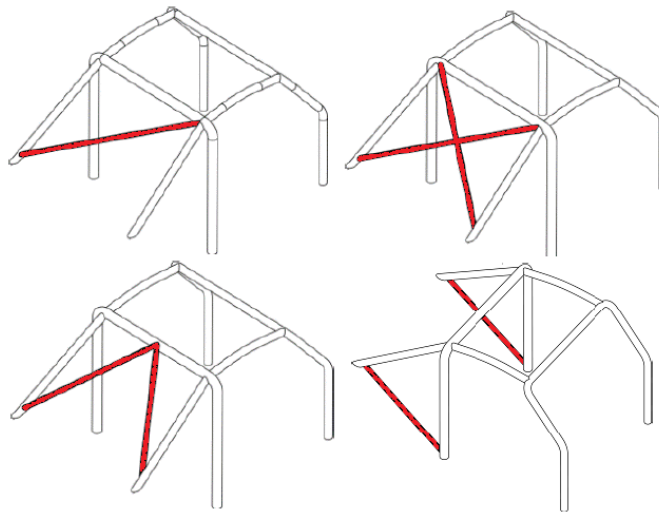


Figura 15 Tirantes de bastidores [20]

2.2.7 Tirantes refuerzos del techo:

En la parte superior a las cabezas de la tripulación la estructura debe cumplir con la instalación de tirantes como refuerzos indicándose en la figura 16, donde estos deben cumplir con varias características donde restringen que los tirantes deben seguir la curvatura del techo del vehículo y los extremos deben estar soldados a una distancia máxima de 100mm de las uniones entre arcos y más miembros, siguiendo las mismas referencias para los tirantes en X y de igual manera para las de geometría en V. [21]

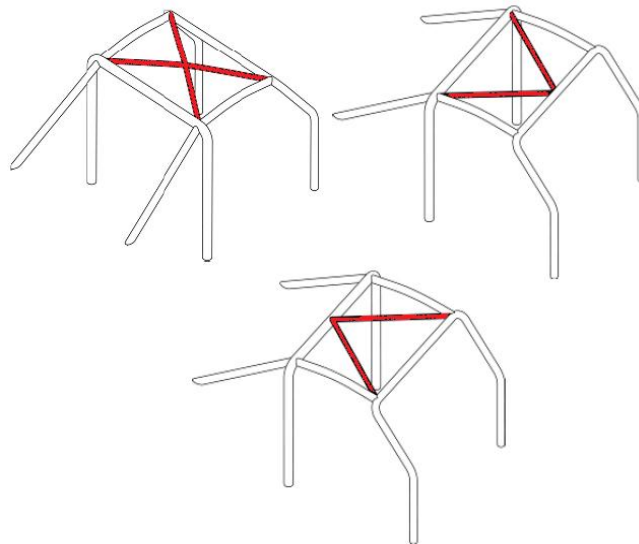


Figura 16 Tirantes de bastidores [22]

2.2.8 Tirantes de puertas:

Las barras deben montarse de forma longitudinal con geometría idéntica a los dos lados del vehículo.

Para el ensamblaje de estos tirantes es aconsejable que los puntos de anclaje inferiores se suelden directamente sobre el arco principal y el arco lateral como se observa en la figura 17 y recalcando que debe haber un macho y una hembra. [23]

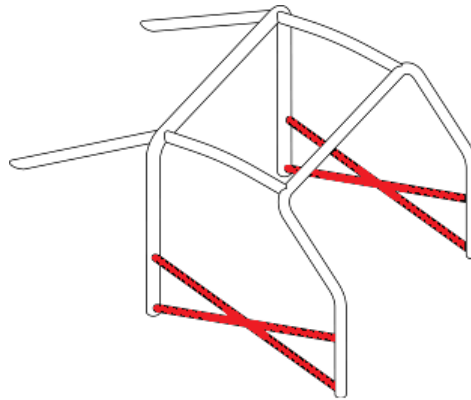


Figura 17 Tirantes de bastidores [24]

2.2.9 Pilar de refuerzo del parabrisas:

Estos refuerzos deben estar instalados a los dos lados del arco delantero si la dimensión desde el final del techo hacia la base del piso de manera tangencial es mayor a 200 mm. En la figura 18 se puede ver que el refuerzo del parabrisas puede tener una curvatura a condición de que sea rectilíneo longitudinalmente con una curvatura que no sea mayor a 20°. [25]

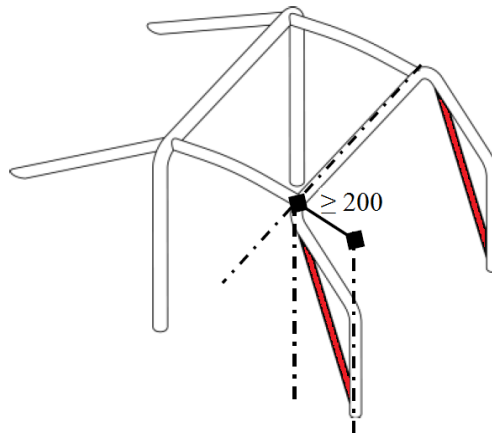


Figura 18 refuerzos parabrisas [26]

2.2.10 Extensiones permitidas:

Estas extensiones no son obligatorias pero se puede extender la jaula hacia los puntos de montajes de las suspensiones tanto delantera como trasera y hacia los bastidores como refuerzos. [27]

2.2.11 Restricciones:

La figura 19 y 20 muestra que la jaula de seguridad longitudinalmente debe estar totalmente entre los soportes de cargas verticales como los puntos de anclaje de los amortiguadores tanto de la suspensión frontal como de la posterior del vehículo. Los refuerzos también pueden ser colocados en la estructura de seguridad y en los puntos donde se anclan las barras estabilizadoras. Los puntos de anclaje pueden estar soldados a la jaula de seguridad mediante un solo tubo de 30 x 1,5 mm. Los refuerzos frontales tanto como las del parabrisas y de los dobleces y bases pueden ser visibles únicamente por la superficie del parabrisas. [28]

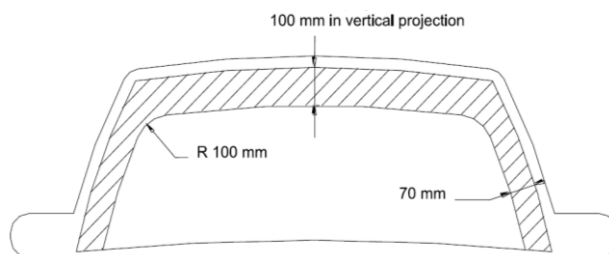
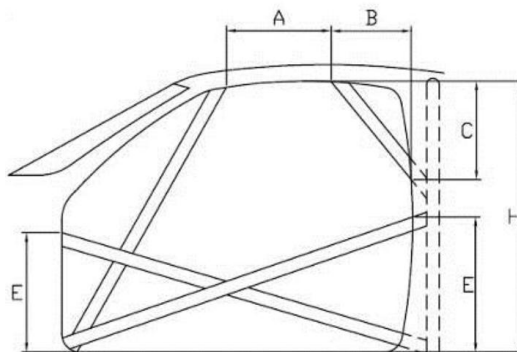


Figura 19 restricción de refuerzos frontales [28]



Dimensión A debe tener un mínimo de 300 mm.
Dimensión B debe tener un máximo de 250 mm.
Dimensión C debe tener un máximo de 300 mm.
Dimensión E no debe ser superior a la mitad de la altura de la apertura de la puerta (H)

2.2.12 Puntos de anclaje de la estructura a la carrocería o al chasis:

Existe un número mínimo de puntos donde se pondrán los anclajes

- Uno en cada extremo del arco delantero
- Uno en cada extremo de los arcos laterales frontales
- Uno en cada extremo del arco principal
- Uno en cada extremo de los arcos laterales posteriores

Si se desea un montaje óptimo sobre una carrocería la tapicería original debe ser removida y partes modificadas para una mejor adaptación. También, se puede mover de sitio los controles como porta fusibles manecillas y otros accesorios para mejorar el espacio de anclaje de cada uno de los arcos. [28]

En cada uno de los extremos de los arcos se debe incluir una placa como refuerzo con un espesor mínimo de 3mm para anclar a la carrocería. Cada uno de los anclajes debe estar fijado por al menos 120 cm² de soldadura con la carrocería con un contacto directo de la placa con la carrocería. [28]

Para los anclajes del arco lateral posterior pueden usarse fijaciones suplementarias en cada uno de los extremos como placas de refuerzos soldados directamente a la carrocería o al chasis. [28]

En casos especiales, para el anclaje en carrocerías que no sean de acero se prohíbe la soldadura directa del arco con la carrocería sin que haya una placa de refuerzo en la carrocería. [28]

En las figuras 21, 22 y 23 se muestra cómo deben ir los anclajes según la forma de la superficie en la que se suelde.

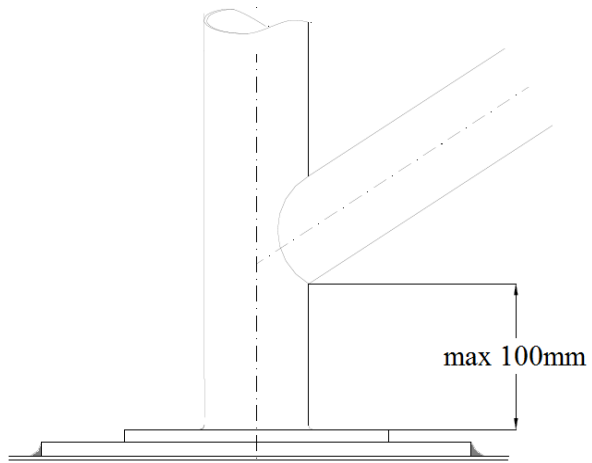


Figura 21 Anclaje en superficie plana [28]

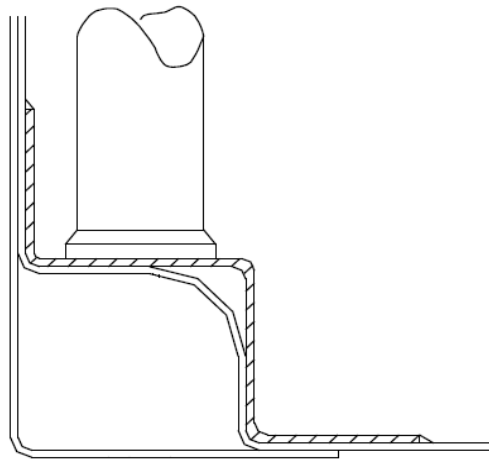


Figura 22 Anclaje en curvas de carrocería [28]

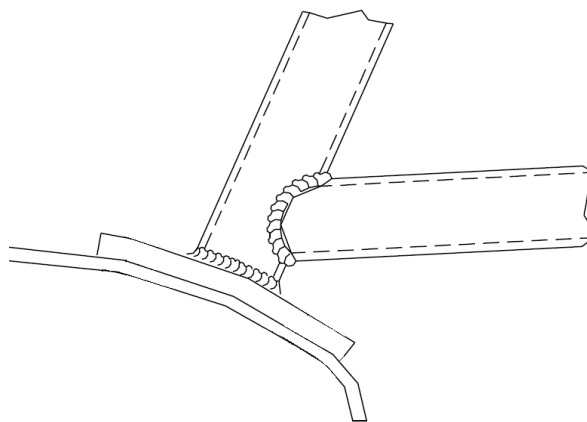


Figura 23 Anclaje en superficies curvas [28]

2.2.13 Especificaciones de Tubo:

Bajo normativa FIA solo se acepta tubería con las siguientes características

Tabla 1 Restricciones de tubería [28]

Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Utilización
Acero al carbono no aleado (ver a continuación) conformado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.	350 N/mm ²	45 x 2,5 (1,75"x0.095") o 50 x 2,0 (2,0"x0.083")	Arco principal (Dibujos 253-1 y 253-3) o arcos laterales, y miembros transversales traseros (Dibujo 253-2) según la construcción
		38 x 2,5 (1,5"x0.095") o 40 x 2,0 (1,6"x0.083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad (a menos que se especifique otra cosa en los artículos anteriores)

2.2.14 Restricciones del Tubo:

- Para un tubo de acero sin aleación debe tener un contenido máximo de aditivos de 1,7% de magnesio y 0,6% de otros aditivos.
- El acero debe presentar propiedades adecuadas de elongación y soldabilidad.
- Los dobleces de la tubería deben realizarse en frío con un radio de curvatura al menos tres veces menos al diámetro.
- Las curvaturas de los dobleces debe tener una superficie uniforme son arrugas ni fisuras. [28]

2.2.15 Indicaciones para la soldadura:

La soldadura deberá cubrir todo el perímetro del tubo. Los cordones de soldadura deben ser de la mejor calidad y deben tener penetración total y es preferible usar soldadura de arco en gas inerte. [28]

2.2.16 Revestimiento protector:

Dentro de la cabina donde la tripulación está en contacto con la estructura es permitido recubrir la tubería con protecciones no inflamables y debe estar fijada permanentemente. [28]

2.2.17 Pruebas de carga estática:

2.2.17.1 Prueba con carga vertical con carga estática en el arco principal:

La estructura de la jaula antivuelco debe resistir una carga vertical de $7.5 * w$ (10[N]) (sin aplicación de factor de gravedad) aplicada en la parte superior del arco principal como se observa en la figura 24. [29]

Donde:

* w (peso del automóvil) +150 kg (+500 kg para los automóviles de los Grupos T1)

El sello debe ser de acero, tener un radio de 20 +/- 5 mm en los bordes dirigidos hacia la barra antivuelco principal y tener las siguientes dimensiones:

- Longitud = ancho principal de la barra antivuelco + mín. 100 mm
- Ancho = 250 +/- 50 mm
- Espesor = mínimo 40 mm

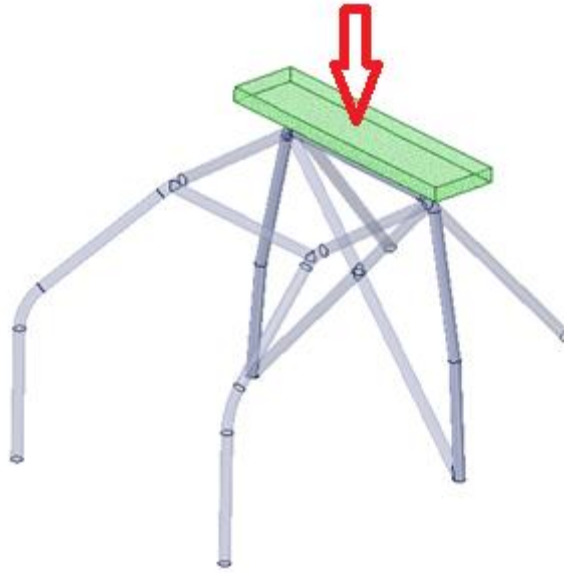


Figura 24 Carga vertical sobre arco principal

Fuente: (Autor)

Esta prueba estática no debe producir ninguna fisura en la jaula de seguridad y una deformación máxima de 50mm bajo la aplicación de esta carga.[29]

2.2.17.2 Pruebas de carga en el arco delantero:

Para pruebas estáticas en el arco delantero la jaula de seguridad debe soportar una carga de $3.5 * w$ (10[N]), (sin aplicación de factor de gravedad). [29]

La placa de fuerza debe ser soportada en la parte superior de la barra antivuelco frontal aplicando la carga en el lado del chofer en el punto de intersección de los arcos laterales y frontales. [29]

El sello debe ser de acero, tener un radio de 20 ± 5 mm en los bordes dirigidos hacia la barra antivuelco principal y tener las siguientes dimensiones:

- Longitud = $450 \text{mm} \pm 50 \text{mm}$
- Ancho = $250 \pm 50 \text{mm}$
- Espesor = mínimo 40 mm

La placa de fuerza debe ser diseñada de una forma para que el área permanezca en intersección con el arco transversal delantero. El eje longitudinal de la placa debe estar dirigida a la parte delantera y hacia abajo con un ángulo de $5^\circ \pm 1^\circ$ con respecto a la horizontal, y su eje transversal debe estar dirigida hacia el exterior y hacia abajo con un ángulo de $25^\circ \pm 1^\circ$ con respecto a la horizontal como se indica en la figura 25. [29]

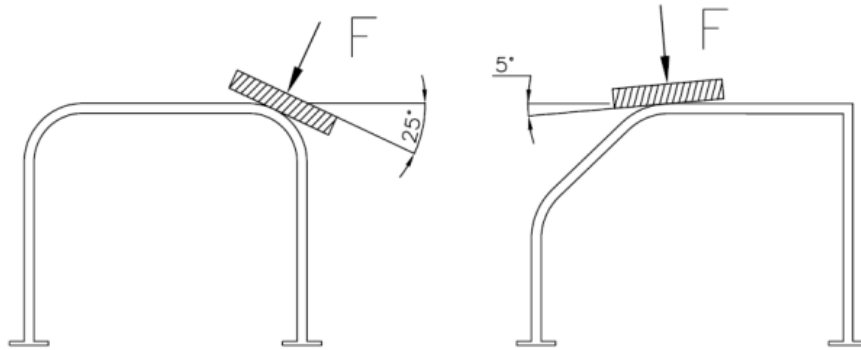


Figura 25 carga sobre el arco frontal [22]

En esta prueba la estructura de la jaula de seguridad no debe presentar rupturas ni fisuras y es permitida una deformación máxima de 100mm en el punto de la carga. [29]

2.2.17.3 Pruebas de carga lateral en el arco principal:

Esta prueba es necesario tanto para una tripulación con o sin copiloto. (Este ensayo no aparece en la reglamentación actual). Para pruebas estáticas en el arco delantero la jaula de seguridad debe soportar una carga de $3.5 * w$ (10[N]), (sin aplicación de factor de gravedad). [29]

El sello debe ser de acero, tener un radio de 20 ± 5 mm en los bordes dirigidos hacia la barra antivuelco principal y tener las siguientes dimensiones:

- Longitud = 450mm \pm 50mm
- Ancho = 250 \pm 50 mm
- Espesor = mínimo 40 mm

En la figura 26 se señala como debe ser colocada la placa para la prueba lateral, debe

aplicarse la fuerza horizontal a 550mm +/- 50mm por encima del punto más bajo del arco principal. [29]



Figura 26 Carga lateral sobre arco principal

Fuente: (Autor)

Esta prueba estática no debe producir ninguna fisura en la jaula de seguridad y una deformación máxima de 50mm bajo la aplicación de esta carga.[29]

2.2.18 Pruebas con cargas dinámicas:

En las normativas de la Federación Internacional de Automovilismo no incluyen pruebas con ensayos dinámicos para jaulas de seguridad de vuelcos; por este motivo a criterio del autor se ha optado por usar las normativas del Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos (euroNCAP) para la simulación de varios impactos como el frontal, lateral y volcamiento. Las pruebas de este programa son exclusivamente para analizar la seguridad pasiva de una multimarca de vehículos para regular las seguridades en la construcción de estos.

2.2.18.1 Prueba de impacto frontal:

Una pared de 540mm de largo por 10000mm de altura con un peso de 950KG es impactada por el vehículo a probarse a una velocidad de 56 Km/h como se observa en la figura 27. [30]

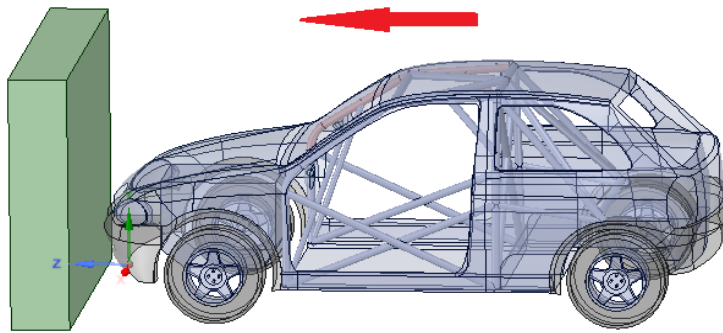


Figura 27 Prueba de choque frontal

Fuente: (Autor)

2.2.18.2 Prueba de impacto lateral:

Esta prueba consiste en golpear el vehículo con una barrera móvil no deformable como indica la figura 28 de 950 Kg y una longitud de 1500mm a la velocidad de 56 Km/H contra el lado del vehículo estacionario. [30]

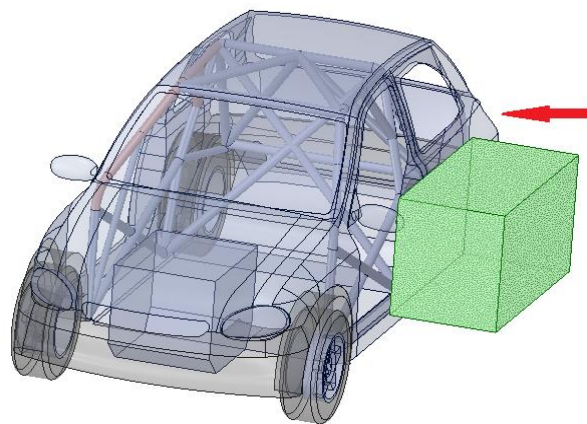


Figura 28 Prueba de choque lateral

Fuente: (Autor)

2.2.18.3 Prueba de vuelco:

Una prueba de vuelco se realiza en dos fases, la primera fase consiste en colocar al vehículo en una superficie inclinada sobre una carretilla la cual se accionará en la segunda fase donde llegara a los 50 Km/h donde lograda dicha velocidad frenara bruscamente provocando el volteo del vehículo en vueltas de campana. La otra manera de

probar un vuelco es dejando caer al vehículo en caída libre desde una altura de 400mm sobre la esquina izquierda del techo como se indica en la figura 29. Con cualquiera de los dos métodos el habitáculo no debe sufrir deformaciones extremas que pongan en peligro la integridad de la tripulación. [30]

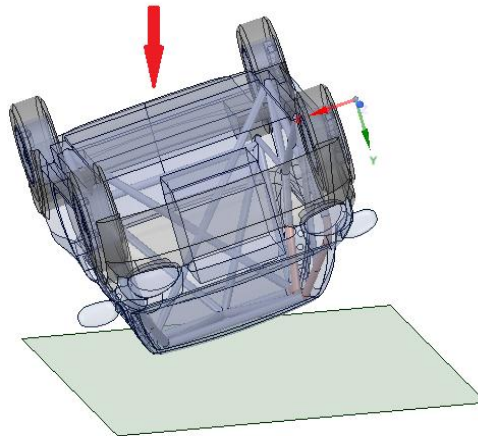


Figura 29 Prueba de vuelco

Fuente: (Autor)

2.2.19 Método de elementos finitos

Es llamado método de elementos finitos a la técnica numérica utilizada para resolver distintas situaciones en ingeniería donde se den problemas físicos en las que se emplea ecuaciones diferenciales parciales con un alto nivel de complicación. [31]

El método de elementos finitos está orientado hacia el uso de un software computacional que permita resolver ecuaciones diferenciales para solucionar problemas físicos sobre una estructura. El método de elementos finitos es muy utilizado para el diseño de productos y mejoras en las distintas aplicaciones industriales, también utilizado para simular sistemas complejos ya sean físicos o biológicos. Los problemas que se presentan deben tener obligatoriamente los requisitos básicos a los que será sometido el producto. [31]

El método de elementos finitos ya como su nombre lo dice es únicamente para resolver el

comportamiento físico de un subdominio no intersectantes entre si denominados elementos finitos. Este conjunto de elementos finitos forma un dominio llamado discretización. Dentro de cada elemento se emplean puntos representativos denominados nodos. Un par de nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento, en la frontera de un elemento puede aparecer un nodo que pertenezca a varios elementos. La relación de adyacencia de un conjunto de nodos es denominada malla. La malla es la base para los cálculos que sirve también para la discretización de cada elemento finito. [31]

El método de elementos finitos computacional consiste en programar un software para calcular el desplazamiento de la deformación de un elemento ya que es más sencillo introducir los dominios de los cálculos que presentan complejidad en dos o tres dimensiones. [31]

2.2.19.1 Análisis por elementos finitos:

Un análisis por elementos finitos o simplificados a sus siglas FEA (Finite Elements Analysis) es el método a través de un software de computadora que predice las reacciones de un cuerpo a varios parámetros como fuerza, temperatura u otros esfuerzos físicos y mecánicos dando como resultado el comportamiento y resistencia del material. [32]

Este tipo de análisis consiste en dividir el cuerpo que se va a analizar en un gran número de elementos finitos en su mayoría de forma cuadrilátera; cada uno de estos pequeños elementos se someten a análisis de su comportamiento y luego todo es sumado para obtener el comportamiento del objeto analizado. [32]

El FEA es aplicado para tener un análisis del comportamiento de un cuerpo en varias situaciones como vibración mecánica, transferencia de calor, esfuerzos mecánicos, flujo de partículas entre otros. [32]

Para el análisis de elementos finitos existen tres fases asistidas por computadora que son pre-procesamiento, solución de análisis y post-procesamiento.

2.2.19.1.1 Pre-procesamiento

Este es el primer paso para el análisis de un elemento por el método de elementos finitos donde consiste en construir un modelo de la pieza o estructura a analizarse. Es necesario ingresar la descripción topológica de las características del elemento ya sea en 2D o 3D de manera que sea una representación totalmente realista con todas sus características. El elemento es dividido en nodos con el mallado para obtener un resultado específico localizado. [32]

2.2.19.1.2 Análisis

Este es el siguiente paso en un análisis computacional donde involucra las aplicaciones de cargas, fuerzas y las propiedades de elemento a solucionar para obtener las resistencias y deformaciones elásticas físicas. [32]

2.2.19.1.3 Post-procesamiento

Los resultados pueden ser observados en las opciones visuales del software, esto sirve para ver e identificar las implicaciones del análisis y para la localización específica de los esfuerzos y deformaciones se puede aplicar herramientas numéricas y gráficas. [32]

2.2.19.2 Métodos de análisis

2.2.19.2.1 Método implícito:

El método implícito es usado para un cálculo de rigidez, en su mayoría son convergentes (se unen en una o más puntos) en parámetros fijos del método. El gasto computacional por este método es muy elevado, ya que se emplea métodos iterativos en vez de un método directo, pero se tiene la ventaja de compensar con pasos de tiempo más grandes debido a que son estables. [33]

2.2.19.2.2 Método explícito:

Este método es aplicado para un cálculo en una simulación que modifica el mallado con el paso del tiempo y no pierde gasto computacional resolviendo ecuaciones en cada paso del tiempo. La ventaja de este método es la resolución de ecuaciones a nivel local

exclusivamente sin acoplar sistemas de ecuaciones globales, utilizando un método de cálculo paralelo con uso de algoritmos en cada uno de sus elementos. [33]

2.2.19.3 Tecnología de los elementos

Los elementos más importantes a tratar son los shell y beam, la diferencia entre estos es que el shell posee seis grados de libertad (desplazamiento y giro en X, Y y Z) y mientras que el beam solo posee tres (desplazamiento en X, Y y giro en Z). [34]

2.2.19.4 Tipos de análisis estructural por el método de Análisis de Elementos Finitos (FEA)

- Análisis Estático

Este análisis sirve para calcular los efectos que tiene una estructura que soporta una carga estable sin tomar en cuenta los efectos de inercia pero en algunos casos si se toma en cuenta las cargas estables como velocidades y aceleraciones tomadas con el nombre de cargas estáticas equivalentes. [35]

Cuando se asume que las cargas aplicadas varían lentamente con respecto al tiempo este es el método que principalmente debería ser usado ya que se puede tener análisis lineales o no lineales. [35]

El resultado se obtiene a través del cálculo matricial que involucra la rigidez y fuerzas externas que actúan en la deformación y esta está dada por la relación:

$$[K] + \{u\} = \{F\}$$

Donde:

[K]: Matriz de rigidez

{u}: Vector de desplazamientos nodales

{F}: Vector de fuerzas externas

- Análisis Transitorio

También es conocido como análisis dependiente del tiempo debido a que la respuesta dinámica está dada por la carga variable en función del tiempo que actúa sobre un cuerpo o una estructura, en este análisis es tomado en cuenta los efectos de inercia y amortiguación a diferencia del análisis estático [35]

Para este análisis es importante definir un tiempo de análisis total para que las ecuaciones generadas se vayan resolviendo en intervalos de tiempo hasta completar el tiempo total dado. Es importante señalar que mientras el tiempo de análisis sea mayor se tendrá mayor gasto computacional. [35]

La ecuación básica para este análisis transitorio con efectos de masa y amortiguación está dada por:

$$[M] * \{\ddot{u}\} + [C] * \{\dot{u}\} + [K] * \{u\} = \{F(t)\}$$

Donde:

[M]: Matriz de masa

[C]: Matriz de amortiguación

[K]: Matriz de rigidez

$\{\ddot{u}\}$: Vector de aceleraciones nodales

$\{\dot{u}\}$: Vector de velocidades nodales

$\{u\}$: Vector de desplazamientos nodales

$\{F(t)\}$: Vector de fuerzas externas

- **Análisis Modal**

Este análisis es utilizado para obtener la frecuencia natural y modos de vibración de una estructura o cuerpo en análisis para complementar con análisis estáticos o dinámicos. [35]

La ecuación general del análisis modal no considera la acción de la amortiguación ni

fuerzas externas y esta está dada por:

$$[M] * \{\ddot{u}\} + [K] * \{u\} = 0$$

Donde:

[M]: Matriz de masa

[K]: Matriz de rigidez

{ \ddot{u} }: Vector de aceleraciones nodales

{u}: Vector de desplazamientos nodales

- Análisis Armónico

Cuando las cargas aplicadas son cíclicas este análisis permite evaluar el comportamiento del cuerpo que está bajo estas acciones dando la oportunidad de verificar la resistencia a vibraciones, fatiga y resonancia. [35]

La ecuación para este análisis es la misma que la de un análisis transitorio pero con la diferencia de que la fuerza externa tiene la siguiente forma:

$$F_i = A_i \text{sen}(\Omega t + \varphi_i)$$

Donde:


F_i : Fuerza externa

A_i : Amplitud de la fuerza

Ω : Frecuencia angular de la fuerza externa

φ_i : Ángulo de fase de la fuerza

2.2.19.5 Calidad de mallado



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Figura 30 Restricciones de malla skewness [36]

2.2.19.6 Hourglassing

Las soluciones inexactas son muy comunes en análisis dinámicos explícitos debido a las cantidades de energía, grandes deformaciones y altas velocidades aplicadas en los mallados del modelo a analizar, es por esto que es muy común que se dé distorsiones en su forma. Este tipo de distorsiones están dadas por los nodos no físicos que producen deformaciones distorsionadas y no reales en los elementos como se observa en la figura 31 y son conocidos como hourglassing. [37]

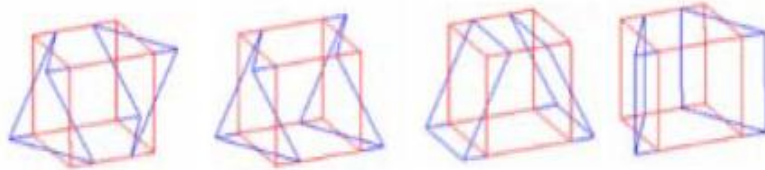


Figura 31 Distorsión en la geometría de un elemento por hourglassing [38]

Es fácil identificar este error debido a la deformación que se visualiza, en estos casos se puede solucionar el problema con refinamientos de malla. [37]

2.2.19.7 Convergencia de Malla

Un problema en el análisis de elementos finitos es que mientras se tenga una malla mucho más refinada el gasto computacional es más elevado, es por esto que se aplica un estudio de convergencia de malla [39]

La convergencia de malla es en su mayoría automática para los modelos realizados en CAD para análisis de modelos de material lineal. [39]

Un estudio de convergencia de malla manual se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Analizar el modelo con la creación de una malla con el menor número de elementos.
- Analizar nuevamente el modelo con un mallado con más elementos y comparar los resultados con la malla anterior
- Analizar el modelo simultáneamente mejorando la calidad de malla y el número de elementos hasta obtener resultados convergentes.

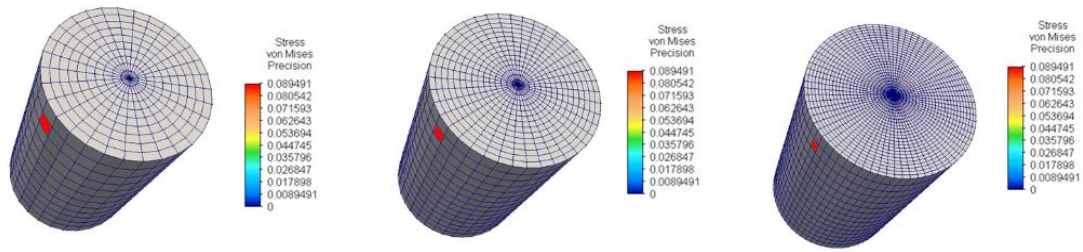


Figura 32 Convergencia de mallado [39]

2.2.20 Ensayo de Tracción

Para este proyecto es necesaria una adecuada selección de material para garantizar el comportamiento y resistencia de la estructura de un roll bar bajo las condiciones exigidas por la normativa FIA.

Para determinar las propiedades mecánicas de un material el ensayo de tracción es el ensayo más común, este se realiza muestras normalizadas de tubería, perfiles o placas. Para ensayos de tracción en material metálico la normativa internacional ASTM E8 es la más usada comúnmente, de igual manera cada país puede aplicar sus propias normativas, en Ecuador se usa la Norma Técnica INEN 109 para ensayos de tracción. [40]

La máquina universal (llamada así) que se la puede visualizar en la figura 33 es utilizada para las pruebas de tracción, esta máquina consta de dos mordazas, una fija y una móvil donde se inserta la probeta y se aplica la fuerza de tracción hasta llegar a la falla del material. [40]

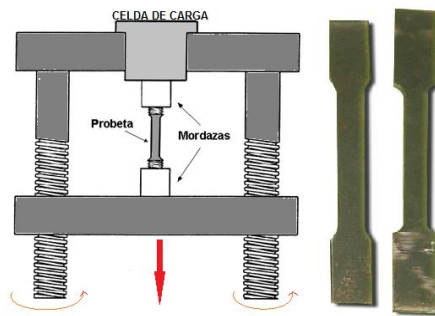


Figura 33 Máquina universal y probeta normalizada [40]

2.2.20.1 Diagrama esfuerzo - deformación

El comportamiento de un material evaluado se puede observar en el diagrama esfuerzo – deformación que se obtiene después del ensayo de tracción. Existen dos tipos de diagramas [41]

2.2.20.1.1 Diagrama esfuerzo – deformación ingenieril

Este diagrama está construido en base a las ecuaciones para calcular los esfuerzos y deformaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ : Esfuerzo

P: Fuerza aplicada

A: Área sobre la que se aplica la fuerza

Y la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

Donde:

ε : Deformación unitaria

δ : Longitud de la deformación

L_0 : Longitud total inicial del cuerpo

Este diagrama es utilizado para la caracterización del comportamiento del material como se observa en la figura 34 [41]

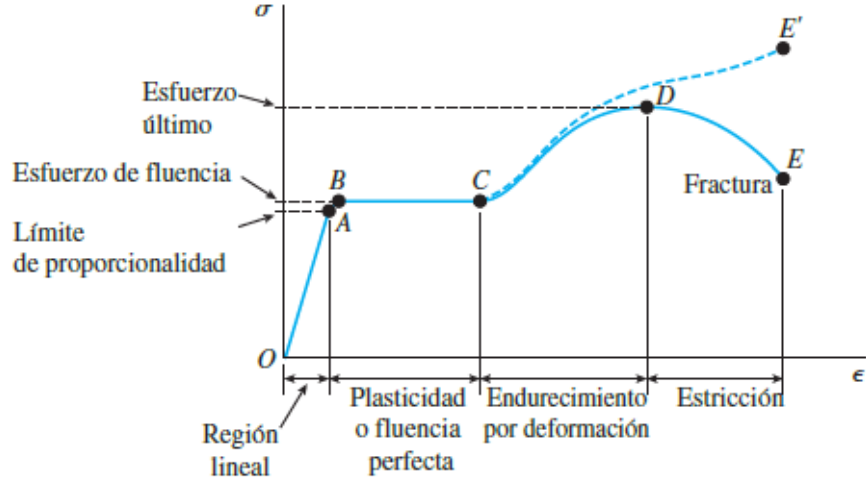


Figura 34 Diagrama esfuerzo – deformación ingenieril [41]

2.2.20.1.2 Diagrama esfuerzo - Deformación real

Un diagrama real a diferencia del diagrama ingenieril es que este considera las variaciones en la sección transversal del cálculo del esfuerzo con cada una de las cargas aplicadas, es decir en un diagrama real serán mayores los esfuerzos calculados debido a que el área transversal se va reduce progresivamente. [41]

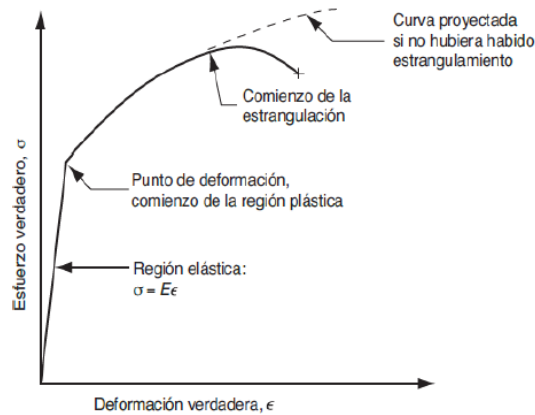


Figura 35 Diagrama esfuerzo – deformación real [41]

Las ecuaciones para transformar un diagrama esfuerzo – deformación ingenieril a real son las siguientes:

$$\sigma_{real} = \sigma(1 + \varepsilon)$$

$$\varepsilon_{real} = \ln(1 + \varepsilon)$$

Donde:

σ_{real} : Esfuerzo real

σ : Esfuerzo ingenieril

ε_{real} : Deformación unitaria real

ε : Deformación unitaria ingenieril

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Red Giga. “Historia del Roll Cage”, Internet: Automultimedia
<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/rollbar-definicion-significado/gmx-niv15-con195426.htm>, 2007, [Noviembre 2017]
- [2] BETTMANN GETTY IMAGES “19 pilotos de las 500 Millas que ya son leyenda” Internet:
https://as.com/motor/2017/05/10/album/1494440827_050170.html, 28 de Junio 2017,
[Noviembre 2017]
- [3] Farrah Kaye, “Evolution of the roll cage”, Internet: NASCAR.COM
https://www.nascar.com/en_us/monster-energy-nascar-cup-series/nascar-nation/nascar-edu/mobil1-technology-hub/nascar-mobil1-technology-rollcage.html, Junio 05-2015,
[Noviembre 2017]
- [4] Revista Crono Motor (255), 9 de abril de 2013. Internet: <http://www.cronomotor.es/> |url=,
[Noviembre 2017]
- [5] Scalextric, campeones de rally. “¿Qué es un rally?”. Scalextric (Altaya) 1: 6-7. 2008
- [6] Página oficial FEDAK, internet: <http://fedak.com.ec/>
- [7] García M. “Diseño y análisis de un arco de seguridad destinado a la competición”, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2010, pp. 68
- [8] Pastaz E. Toro A. “Diseño, análisis y construcción del habitáculo de seguridad para un vehículo Corsa Wind 1.4 para rally”, Universidad Técnica del Norte, Ecuador, 2014, pp. 81-83
- [9] Tovar M. “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.”, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Ecuador, 2015, pp. 51-52
- [10] Cárdenas L. “Diseño de un roll bar para un vehículo Suzuki Forsa 1 para competición”, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2015, pp. 107-108
- [11] Targa Newfoundland, “Rollcage Construction & Installation”, Canada, 02-15-2016, pp. 2-6
- [12] A. Pavlovic, M. Zivkovic, “Roll Cage Design and Validation for a Rally Vehicle”, University of Bologna, Italia, 2016, pp.5

- [13] Scalextric, campeones de rally - Los accidentes. 1. Altaya. 2008. pp. 210-211.
- [14] Scalextric, campeones de rally - La seguridad de los coches. 1. Altaya. 2008. pp. 150-151.
- [15] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2017. pp. 2
- [16] Cárdenas L. “Diseño de un roll bar para un vehículo Suzuki Forsa 1 para competición”, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2015, pp. 17 - 18
- [17] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 8 imagen 253-3
- [18] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2017. pp. 3
- [19] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 9 imagen 253-7
- [20] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 11 imagen 253-16,30
- [21] Cárdenas L. “Diseño de un roll bar para un vehículo Suzuki Forsa 1 para competición”, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2015, pp.. 26
- [22] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 10 imagen 253-12,14
- [23] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2017. pp. 4
- [24] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 9 imagen 253-9
- [25] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 10
- [26] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2017. pp. 5 im 253-15
- [27] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2017. pp. 5
- [28] FIA, Artículo 253 - 2014 Equipamiento de Seguridad. FIA 2014. pp 13-16
- [29] FIA, Reglamento de homologación para jaulas de seguridad. FIA 2014. pp. 9
- [30] CEPE, Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión. 26 de julio de 2012
- [31] W. Clough, C. Martin y J. Topp, "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures", J. Aeronautical Science, 1998, pp. 805-823
- [32] H. Klaus, “A Few Aspects on the Development of Structural Models”, SAE Technical Paper 770598 , 2006
- [33] Chee Kong Teo, “Sensitivity Study Of A Truck Chassis”, Masters Thesis, Mississippi State University, Department of Mechanical Engineering, December 2002
- [34] Cingcivil, “Análisis computacional FEA”, Internet:
<http://www.cingcivil.com/Comunidad/index.php?topic=3217.0>, 29 Octubre 2010, [Diciembre 2017]

- [35] Ansys Inc. “ANSYS Structural Analysis Guide” Internet:
http://www.ansys.stuba.sk/html/guide_55/g-str/GSTRToC.htm, octubre 20 de 2014. [Junio 25 de 2016]
- [36] Monterey convergence, “ANSYS introduction”, Internet:
http://www.grupossc.com/ponencias/ponencia_39114164442.pdf , 29 de Octubre 2014,
[Diciembre 2017]
- [37] LSTC Livermore Software Technology Corp. “Hourglass (HG) modes” Internet:
<http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/hourglass.pdf>, 2012. [Septiembre 5 de 2016]
- [38] S. Hale. “Why worry about hourglassing in explicit dynamics part I” Internet:
<https://caesai.com/blog/why-worry-about-hourglassing-explicit-dynamics-part-i>, enero 9 de 2015.
[Septiembre 5 de 2016]
- [39] Hallquist J., “LS-DYNA Theory Manual”, California, Livermore Software Technology Corporation, marzo 2006
- [40] S. Kalpakjian y S. Schmid. Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Educación, 2008
- [41] J. Gere y B. Goodno. Mecánica de materiales. México: Cengage Learning Editores, 2009
- [42] Ing. Arroba C. “Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia”, M.A. tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador 2013.

ANEXOS

ANEXO A. Fotos de construcción



Figura 87 Modelo de vehículo

Fuente: (Autor)



Figura 88 Remoción del interior del vehículo

Fuente: (Autor)



Figura 89 Limpieza y remoción de cableado y protecciones de carrocería

Fuente: (Autor)



Figura 90 Eliminación de elementos inservibles

Fuente: (Autor)



Figura 91 Refuerzos en zonas débiles de carrocería

Fuente: (Autor)



Figura 92 Instalación de placas bases y refuerzos para anclaje

Fuente: (Autor)



Figura 93 Corte y doblaje de tubería

Fuente: (Autor)



Figura 94 Corte doblaje e instalación del arco principal

Fuente: (Autor)



Figura 95 Biselado de tuberías

Fuente: (Autor)



Figura 96 Instalación del arco trasero

Fuente: (Autor)



Figura 97 Instalación de tirantes en V en arco trasero

Fuente: (Autor)



Figura 98 Instalación de tirantes en X en arco principal

Fuente: (Autor)



Figura 99 Instalación del arco delantero

Fuente: (Autor)



Figura 100 Tirantes en X para las puertas y soporte del arco delantero

Fuente: (Autor)



Figura 101 Placas perforadas para eliminar tensión y mejorar la estética

Fuente: (Autor)



Figura 102 Pintura y acabados estéticos

Fuente: (Autor)



Figura 103 Resultado final

Fuente: (Autor)

ANEXO B. Pruebas de campo



Figura 104 Pruebas en espacios cerrados

Fuente: (Autor)



Figura 105 Pruebas Trepada de Montaña Tungurahua

Fuente: (Autor)



Figura 106 Pruebas Trepada de Montaña Cotopaxi

Fuente: (Autor)

ANEXO C. Proformas

LINDE ECUADOR S.A.
QUITO - AV. SHYRIS 334 Y AV. ELOY ALFARO
EDIF. PARQUE CENTRAL PISO 8 OFIC. 801
R.U.C. 0990021007001
CONTRIBUYENTE ESPECIAL

SUCURSAL
140 - AMBATO
AV. ATAHUALPA KM. 2 1/2 Y CESAR CANTU
SRI 1115219040

CENTRO DE ATENCIÓN AL CLIENTE
COTIZACION N° 6500

COTIZACION

AMBATO 15 de Enero de 2018

CLIENTE GENERAL

Ciudad QUITO

Quito

Teléfono: 0

R.U.C. o C.I. 140099994

De mi consideración:

Por medio de la presente y en atención a su pedido sírvase encontrar la cotización detallada a continuación:

REFERENCIA	DESCRIPCION	CILINDROS LINDECLTE.	CANTIDAD	UN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	% DCTO.
13000	DIOXIDO DE CARBONO GASEOS	1	20.00	KG	1.47	29.40	

SUBTOTAL \$	29.40
DESCUENTOS \$	0.00
Sub Total base I.V.A 0% \$	0.00
Sub.T. base I.V.A (12.00%) \$	29.40
I.V.A (12.00%) \$	3.53
TOTAL A PAGAR DOLARES	\$ 32.93

Nota: EN CASO DE NO CONTAR CON ENVASES PARA EL CAMBIO SE SOLICITA UNA GARANTIA DE USD 260 POR EL

CONDICIONES DE LA OFERTA:

Forma de Pago: CONTADO

Entrega: INMEDIATA

Validez: 30 DIAS

Sin otro particular le reiteramos nuestro constante afán de servicio.

Atentamente,

CHRISTIAN GARCIA

PROFORMA DE ENSAYO

Datos del cliente :

Razón Social :
 Contacto : *Andres Lopez*
 RUC: *Andres Lopez*
 Ciudad y dirección : *1803601614*
 Representante : *Miñarica 2*
 Teléfono : *Andres Lopez*
 Fecha: *987468824*
 Correo electrónico : *31/01/2018*
andilowrc@gmail.com

Detalles del modelo a ensayar:

Modelo CAD de auto

Simulacion FEA con softawre LSDYNA

FORMA DE PAGO: Directo-Efectivo

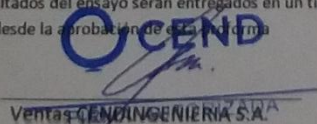
CODIGO	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL
1	Modelado CAD	1.00	\$ 300.00
2	Simulacion FEA	1.00	\$ 400.00
SUBTOTAL			\$ 700.00
DESCUENTO			\$ 0.00
I.V.A			\$ 84.00
TOTAL			\$ 784.00

Datos bancarios para pago de servicios de ensayo.

Banco beneficiario: BANCO GUAYAQUIL
Nombre de beneficiario: CENDINGENIERIA S.A.
Numero de cuenta: 36223065
Tipo de cuenta: Cuenta corriente

Términos y condiciones

1. La proforma será eliminada en el caso de presentar borrones, tachones o daños en el presente documento
2. La proforma tiene una valides de 2 semanas desde la fecha de emisión
- 3.El laboratorio CENDINGENIERIA S.A. no se responsabiliza de la información técnica de ensayo entregada por el cliente
4. Esta proforma es únicamente valida para el cliente solicitante y no para otros interesados en el servicio
5. El tiempo del informe de los resultados del ensayo serán entregados en un tiempo máximo de 5 dias laborables
- 6.El ensayo empezara a realizarse desde la aprobación de esta proforma



Ventas CENDINGENIERIA S.A.

Aprobación del Cliente

PROFORMA

NUMERO DE OFERTA: 070025603
NOMBRE/RAZON SOCIAL: ANDRES LOPEZ
CODIGO DE CLIENTE: 007999999
CODIGO DE DIRECCION: 007009161

AMBATO, 15-01-18

TELEFONO:
MAÑARICA 2

Pos	Articulo	Descripción	Esp.	Cantidad	Precio	Total US
10	ERE2002	TUB.EST.NEG.RED. 2 x 2mm"		4.00	12.55	50.
20	TAIR320020	TUB A INOX RED 304 2" X2.0MM		4.00	92.31	369.
30	BBMIGER70S609	BLUEBOX MIG ER70S-6 0.9 MM 1 K		15.00	1.48	22.

ESTE DOCUMENTO NO CONSTITUYE VENTA Y LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIARSE SIN PREVIO AVISO

Estos precios no aplican para pago con Tarjeta
de Crédito
FORMA DE PAGO: CONTADO

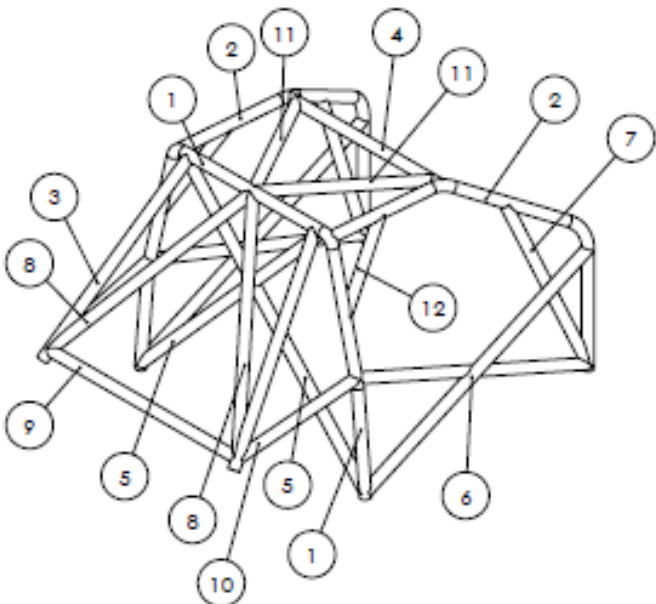
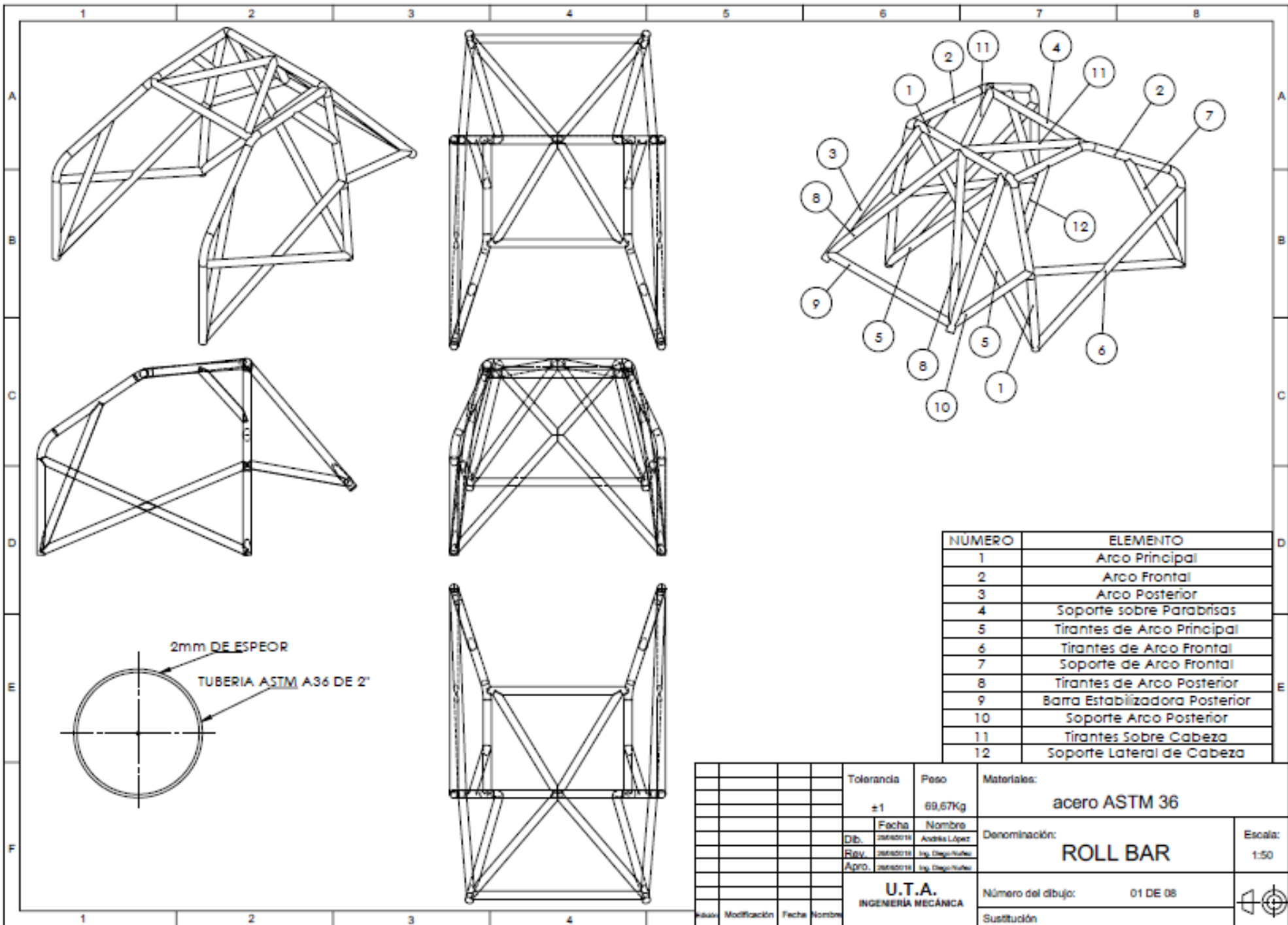
Subtotal 441.64
Iva 52.99
Total USD 494.64

ENDEUDOR: SALAZAR SUAREZ JACQUELINE ELIZ

CLIENTE:

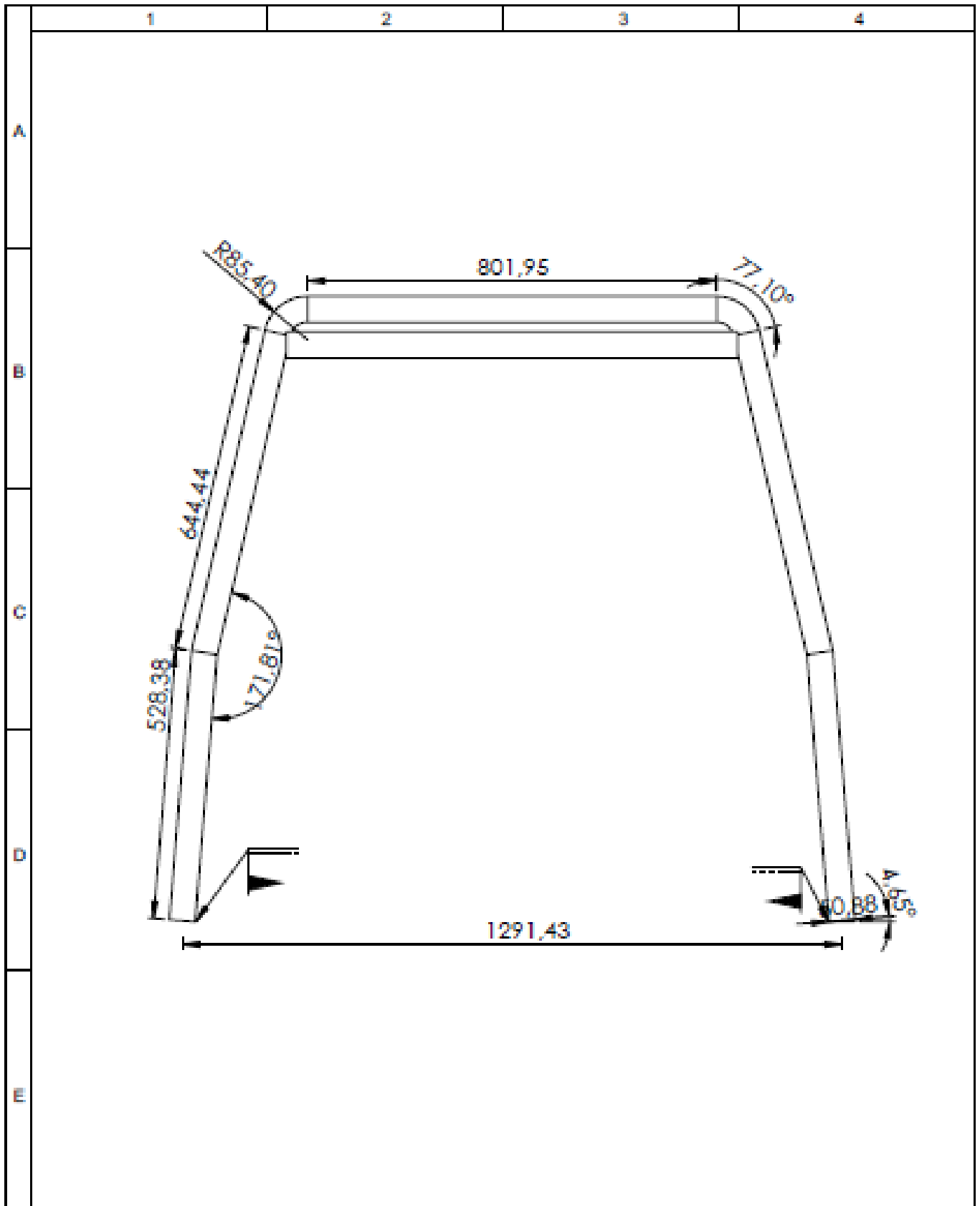
JEFE DE SUCURSAL

ANEXO D. Planos

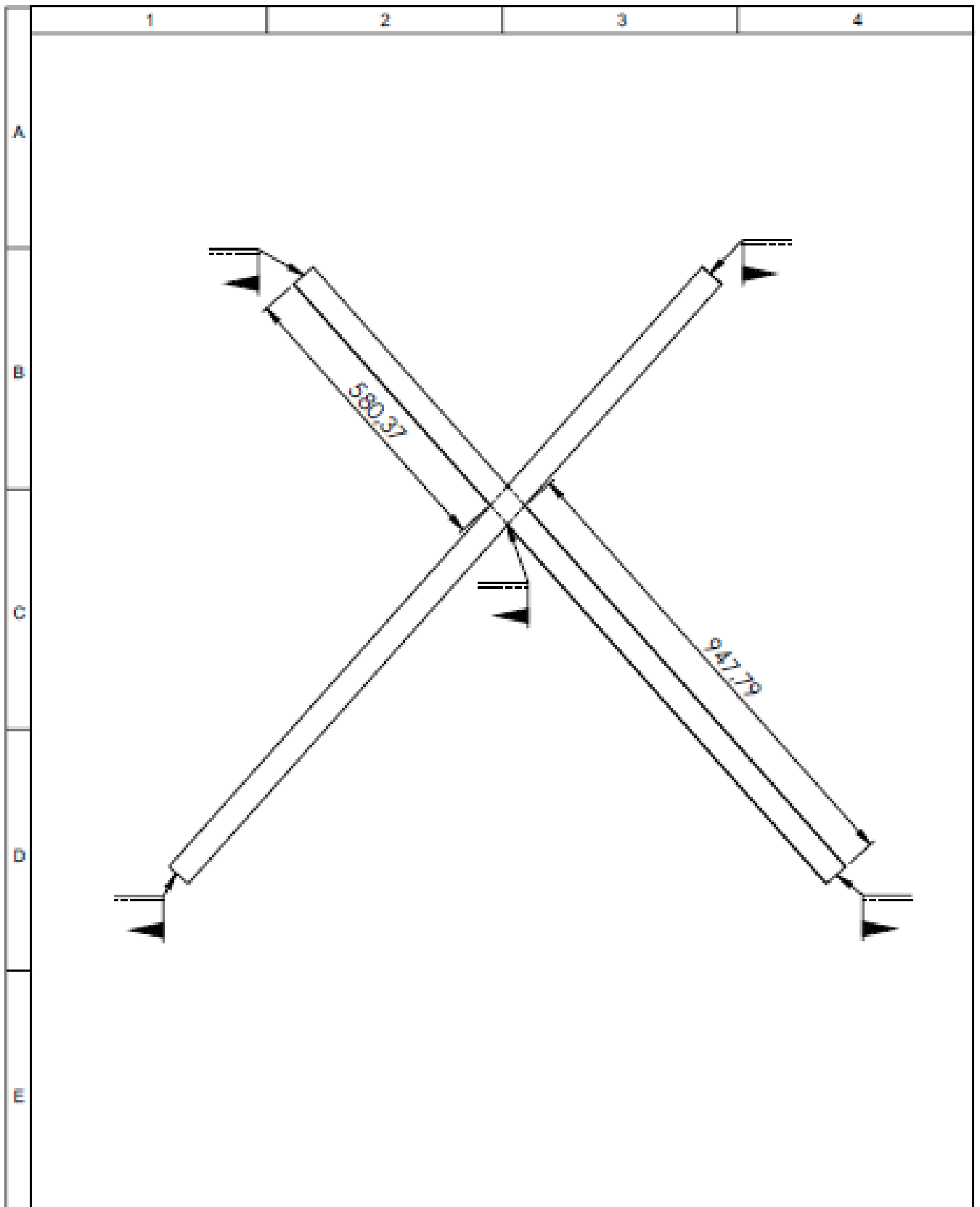


NUMERO	ELEMENTO
1	Arco Principal
2	Arco Frontal
3	Arco Posterior
4	Soporte sobre Parabrisas
5	Tirantes de Arco Principal
6	Tirantes de Arco Frontal
7	Soporte de Arco Frontal
8	Tirantes de Arco Posterior
9	Barra Estabilizadora Posterior
10	Soporte Arco Posterior
11	Tirantes Sobre Cabeza
12	Soporte Lateral de Cabeza

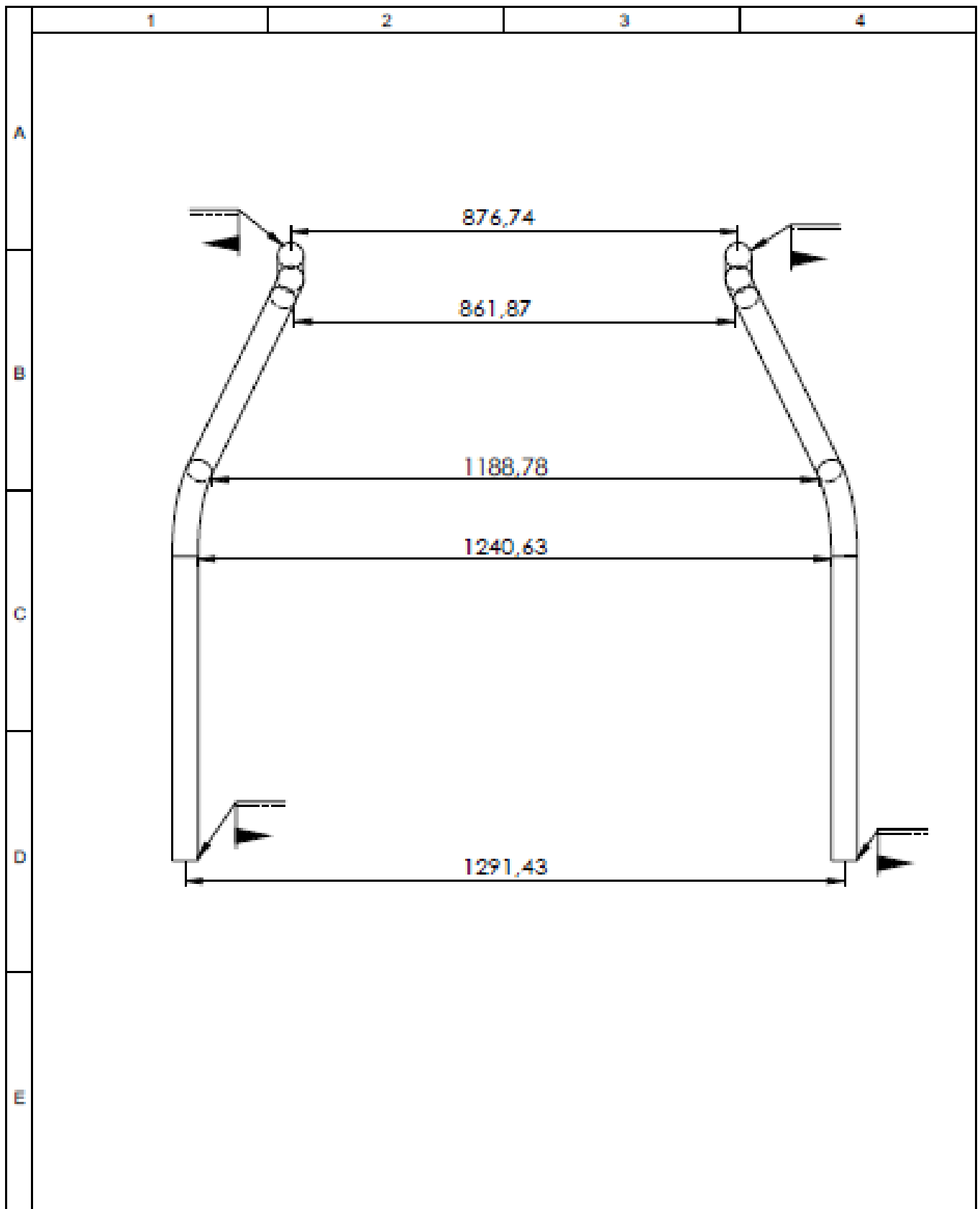
		Tolerancia	Peso	Materiales:	
		±1	69,67Kg	acero ASTM 36	
		Fecha	Nombre	Denominación:	
		Db. 28/02/19	Andrés López	ROLL BAR	
		Rev. 28/02/19	Ing. Diego Muñoz	Escala: 1:50	
		Apro. 28/02/19	Ing. Diego Muñoz	Número del dibujo: 01 DE 08	
		U.T.A. INGENIERIA MECANICA		Sustitución	



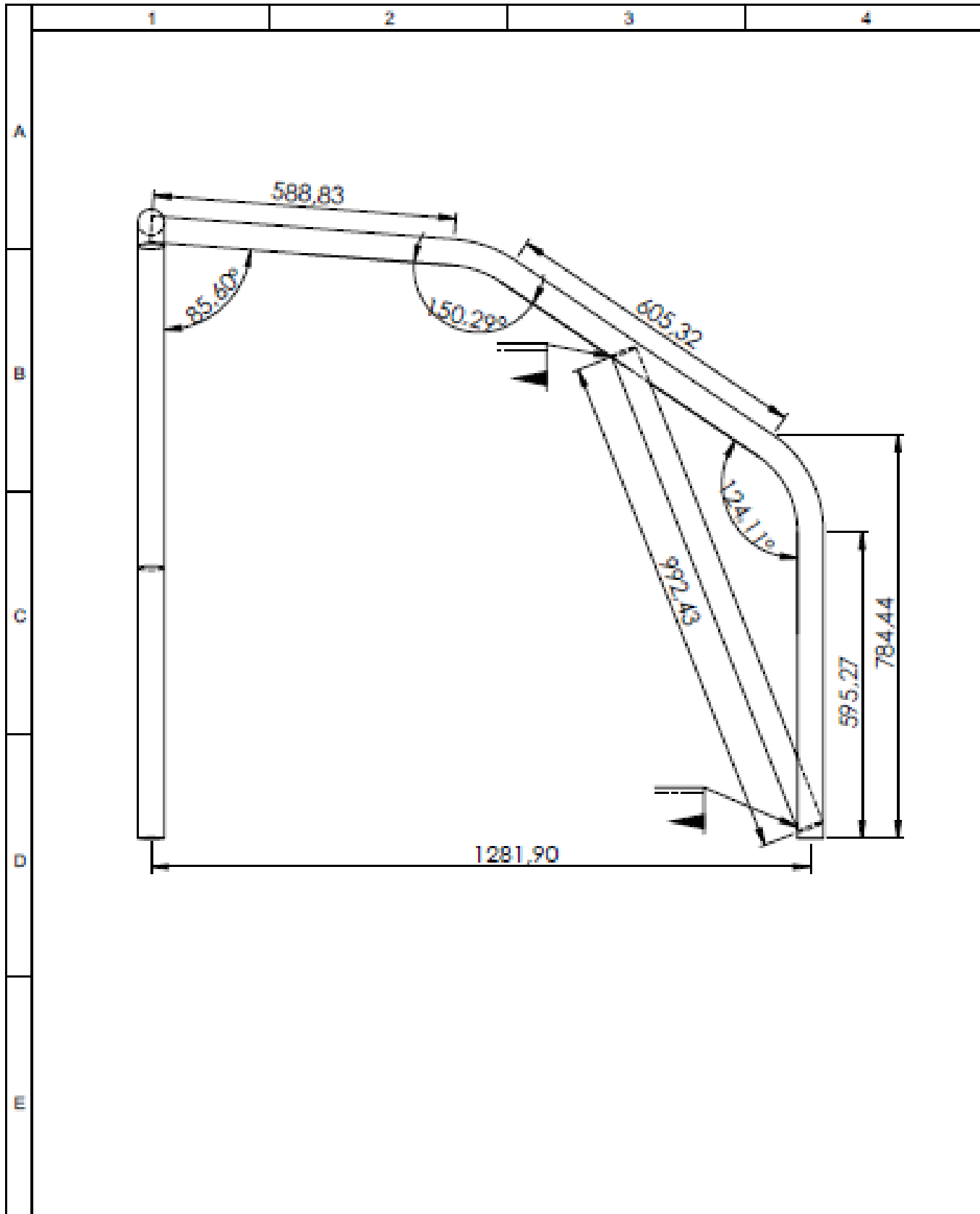
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	69,67 Kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: J. J. J.	Andrés López	Arco principal	
				Revisó: J. J. J.	Ing. Diego Muñoz		
				Aprobó: J. J. J.	Ing. Diego Muñoz		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:
						Sustitución	02 de 08
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				




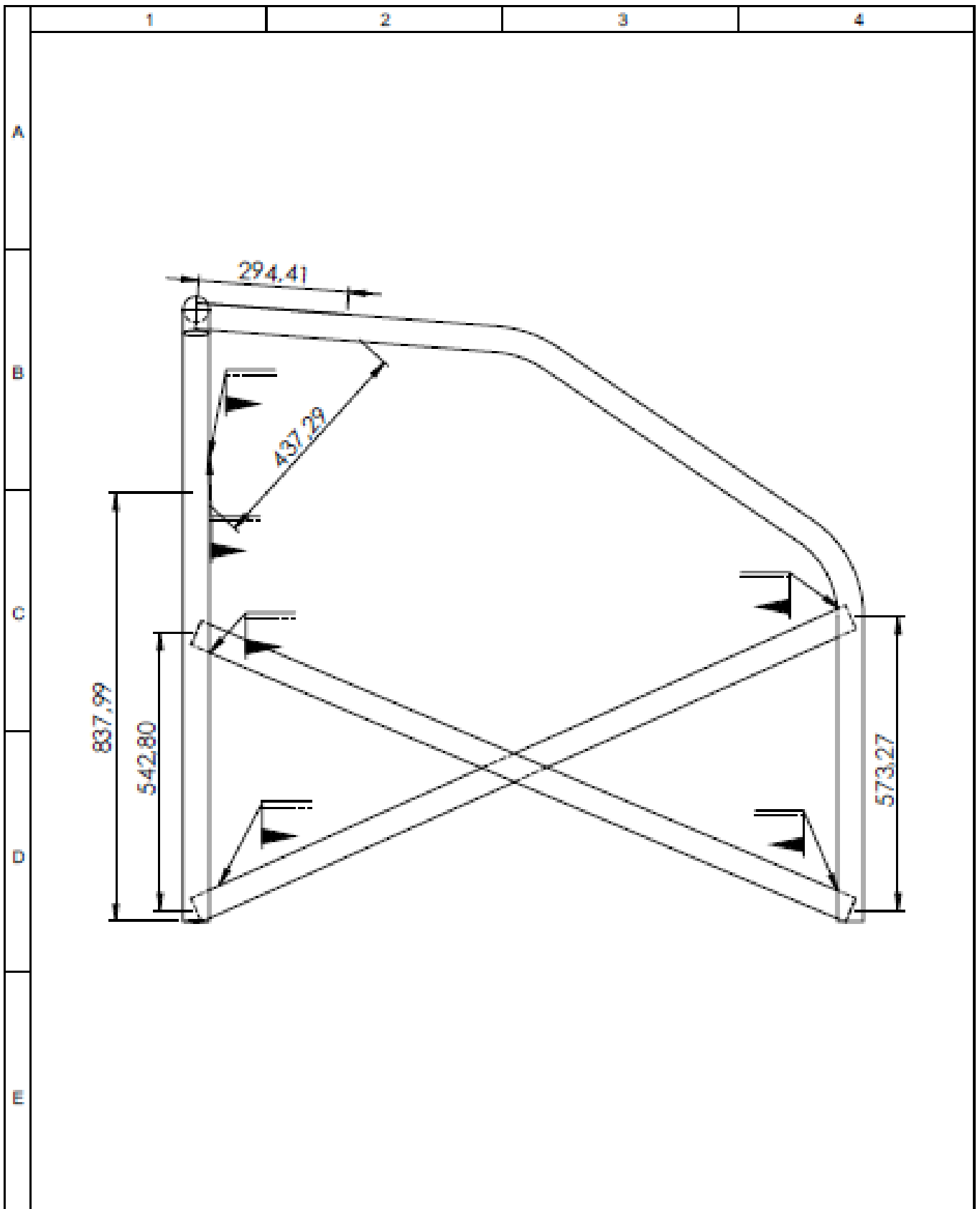
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	6.33 Kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: sustitución	Andrés López	Tirantes del arco principal	1:5
				Revisó: sustitución	Ing. Diego Huérfano		
				Aprobó: sustitución	Ing. Diego Huérfano		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:
						03 de 08	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



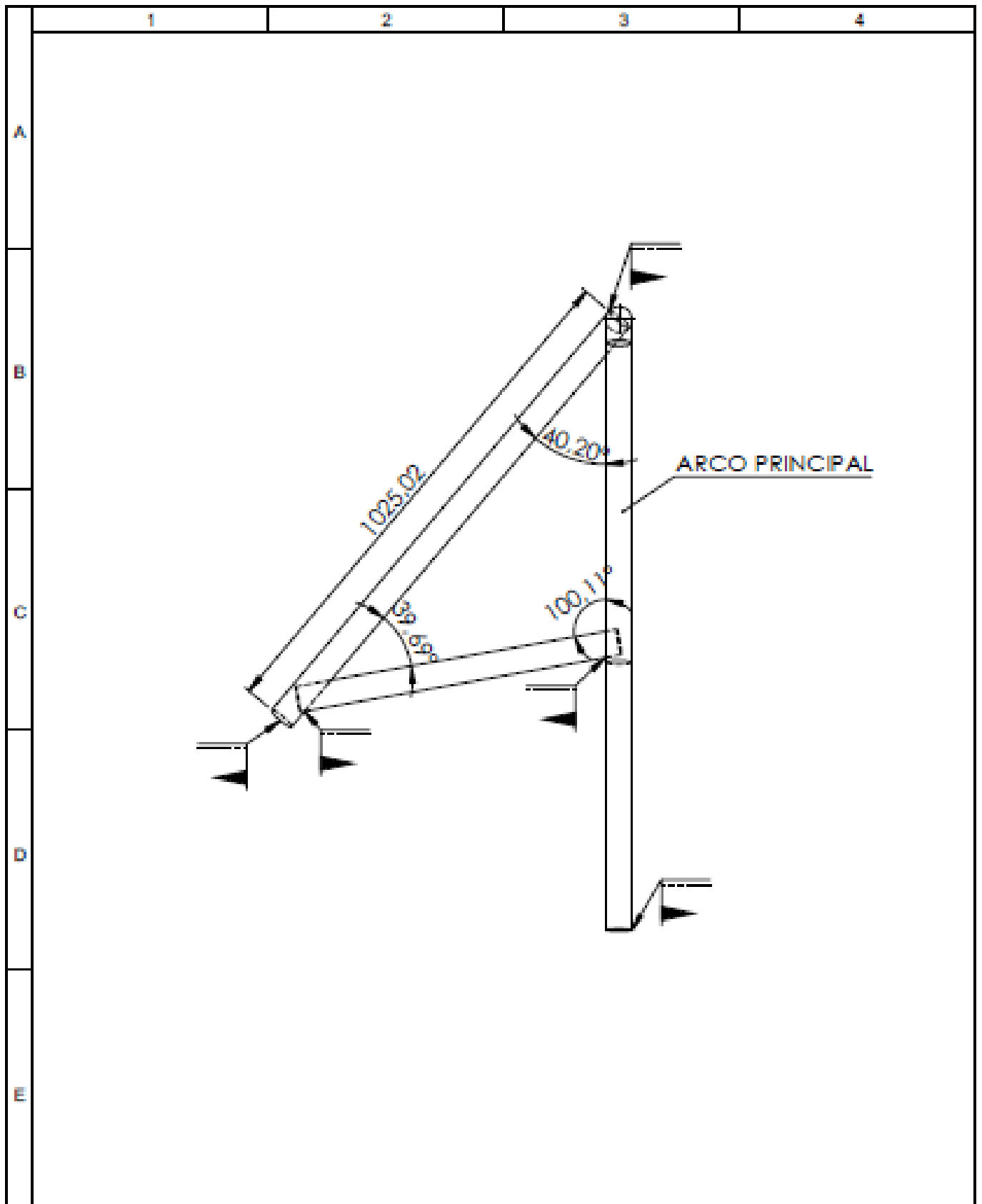
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	21.1 Kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: <i>gestacion</i>	Andrés López	Arco frontal	1:20
				Revisó: <i>gestacion</i>	Ing. Diego Huérfano		
				Aprobó: <i>gestacion</i>	Ing. Diego Huérfano		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:
Razon	Modificación	Nombre	Fecha			04 de 08	
				Sustitución			




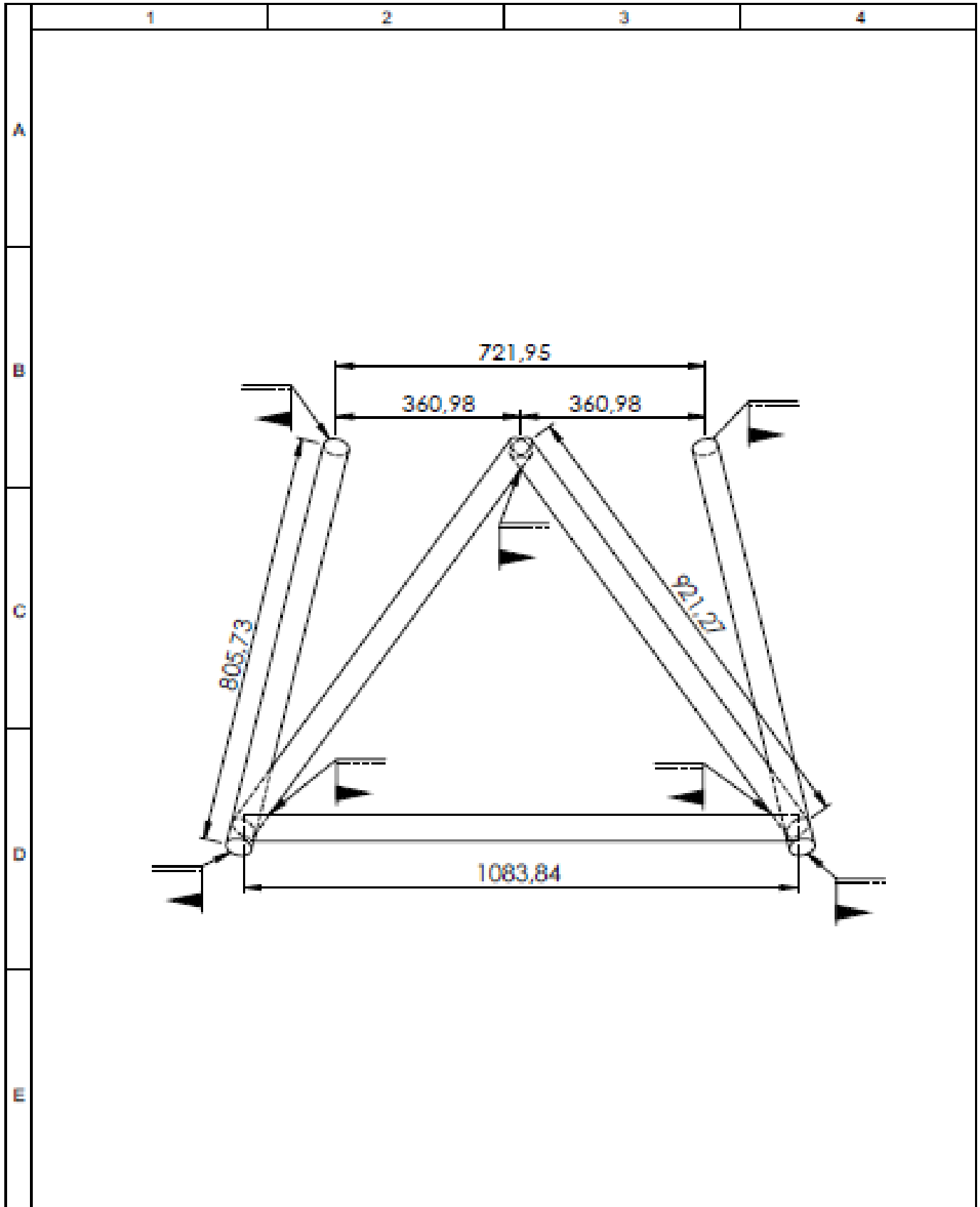
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	12.66 Kg	acero ASTM 36	
					Fecha	Nombre	Título:
				Dibujó:	26/03/2024	Andrés López	Refuerzo Arco Frontal
				Revisó:	26/03/2024	Ing. Diego Nuñez	
				Aprobó:	26/03/2024	Ing. Diego Nuñez	
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	05 de 08
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	
							Escala: 1:5 Registro: 



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	14.77 Kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: <i>jasocora</i>	Andrés López	Tirantes de arco frontal	1:5
				Revisó: <i>jasocora</i>	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: <i>jasocora</i>	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:
							06 de 08
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	12.66 Kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: <i>joselina</i>	Andrés López	Arco posterior	
				Revisó: <i>joselina</i>	Ing. Diego Huérfano		
				Aprobó: <i>joselina</i>	Ing. Diego Huérfano		
				U.T.A		Número de lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECANICA		07 de 08	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	10.55 kg	acero ASTM 36	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: <i>astorosa</i>	Andrés López	Tirantes de arco posterior	
				Revisó: <i>astorosa</i>	Ing. Diego Rufo		
				Aprobó: <i>astorosa</i>	Ing. Diego Rufo		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	08 DE 08
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			