



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE LA JAULA DE SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN

Autor

Albert Morales Chover

Director del proyecto

Pedro Efrén Martín Concepción



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Departamento de Estudio de los Medios Continuos y Teoría de
Estructuras

València, junio de 2017

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, mis padres y, en especial, a mi hermana Maria, que me han prestado toda su ayuda, siempre desinteresada, cuando la he necesitado.

A mi abuela Juana, la persona que más y mejor me ha comprendido, gracias por todo, por su cariño y apoyo, siempre.

Agradecer a mi abuelo Federico, la persona que mejor sabe cuánto deseaba poder realizar mis estudios en Ingeniería Mecánica, todo su esfuerzo y dedicación, haciendo todo lo necesario por ayudarme cuando lo he necesitado.

A mis abuelos, Emilia y Marcelino, por haber confiado siempre en mí y animarme a no rendirme bajo ninguna circunstancia.

A Pedro Efrén Martín Concepción y Carlos Rubió Sanvalero, por su constante ayuda a lo largo de todo el proyecto.

A todos mis compañeros de Smash Rally Team UPV, desde el primero hasta el último, por plantearme la posibilidad de colaborar con ellos en la realización de este proyecto, ofreciéndome la oportunidad de ver materializado el diseño.

Agradecer, por supuesto, el apoyo recibido durante los últimos 4 años a Diego Rodríguez, Gabriel Ramiro, Miguel Rueda, Marta Mocholí y Paula Torres. Sin ellos, la universidad no hubiese sido lo mismo.

RESUMEN

Este trabajo se centra en el proceso de desarrollo de una Estructura de seguridad para un vehículo de competición de rally.

Para explicar dicho proceso, se recoge toda la información necesaria para generar de forma correcta la geometría. Ello implica, por un lado, realizar un estudio de las medidas interiores del vehículo y, por otro lado, recopilar toda la normativa referente a este tipo de proyectos, desde las limitaciones geométricas y los materiales permitidos. También se incluye la normativa referente a las medidas de seguridad que se deben respetar durante todo el proceso de construcción e instalación. Asimismo, se lleva a cabo un análisis de las distintas opciones permitidas para generar las operaciones de soldadura, y así elegir finalmente aquella que se ajusta mejor a las propiedades del material base de fabricación de los perfiles de acero.

El diseño se encuentra desarrollado por etapas, partiendo de una configuración geométrica base con los elementos de instalación obligatorios. Para el diseño se usa una herramienta CAD (SolidWorks 2016). Seguidamente se muestra el análisis de las tensiones de Von Mises y las deformaciones generadas en la estructura durante la ejecución de cada uno de los dos ensayos reglamentados en el Anexo J de la FIA. Estos son necesarios y obligatorios para permitir la homologación del diseño.

El resultado final es una geometría constituida por 3 perfiles tubulares diferentes fabricados con 25CrMo4 que garantiza de forma holgada las condiciones de seguridad mínimas exigidas para su homologación. Esto se debe a que se ha desarrollado un diseño orientado a ofrecer unas excelentes condiciones de seguridad en detrimento del peso de la estructura.

PALABRAS CLAVE: Estructura de seguridad; Tensiones de Von Mises; Deformaciones; Estudio; Análisis.

RESUM

Aquest treball tracta el procés de desenvolupament d'una estructura de seguretat per a un vehicle de competició de rally.

Per explicar aquest procés, es recull tota la informació necessària per generar de manera correcta la geometria. Això implica, d'una banda, realitzar un estudi de les mesures interiors del vehicle i, d'altra banda, recopilar tota la normativa referent a aquest tipus de projectes, des de les limitacions geomètriques i els materials permesos. També s'hi la normativa referent a les mesures de seguretat que s'han de respectar al llarg de tot el procés de construcció i instal·lació. Així mateix, es du a terme un procés d'anàlisi de les distintes opcions permeses per generar les soldadures, per poder finalment escollir aquella que s'adequa millor a les propietats del material base d'elaboració dels perfils.

El procediment de disseny es desenvolupa en diverses etapes, partint d'una configuració geomètrica base amb els elements obligatòria d'instal·lació. Per al disseny s'utilitza una ferramenta CAD (SolidWorks 2016) i tot seguit s'hi adjunta l'anàlisi de les tensions de Von Mises i les deformacions generades a l'estructura durant l'execució de cadascun dels dos assaigs reglamentats a l'Annex J de la FIA. Aquests són necessaris i obligatoris per permetre l'homologació del disseny.

El resultat final és una geometria constituïda per 3 perfils tubulars diferents de 25CrMo4 que garanteix sobradament les condicions de seguretat mínimes exigides per a ser homologada. Això és degut a que s'ha desenvolupat un disseny orientat a oferir unes condicions de seguretat màximes en detriment del pes de l'estructura.

PARAULES CLAU: Estructura de Seguretat; Tensions Equivalents; Deformacions; Estudi; Anàlisi.

ABSTRACT

This project focuses on the process of developing a safety cage for a rally car.

This is how we explain the process: we collect all the necessary information to create the correct configuration of the geometry. Such thing involves, on the one hand, carrying out a study of the internal measures of the vehicle and, on the other hand, collecting all the regulations concerning this kind of projects, which include from the size limitations and the permitted materials. The rules about safety measures that must be respected throughout the entire construction and installation process are also included in the project. Moreover, an analysis of the different options allowed for the welding is carried out, to choose the one fits the best with the properties of the base material used to produce steel profiles.

The design is developed in different phases, starting from a basic geometric configuration with the mandatory installation elements. For the design, we use a CAD tool (SolidWorks 2016). After that, we show the analysis of the Von Mises strengths and the deformations in the structure during the execution of the two tests regulated in Annex J of the FIA. These are necessary and compulsory to homologate the design.

The final result is a geometry consisting of 3 different tubular profiles made with 25CrMo4 that clearly guarantees the minimum safety conditions required for its homologation. This is due to the fact that the design is developed to offer excellent safety conditions to the detriment of the weight of the structure.

KEYWORDS: Safety cage; Von Mises strength; Deformations, Study; Analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL PROYECTO

1. MEMORIA DEL PROYECTO
2. PLIEGO DE CONDICIONES
3. PRESUPUESTO
4. PLANOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE LA JAULA DE
SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE
COMPETICIÓN – MEMORIA DEL
PROYECTO**

Autor

Albert Morales Chover

Director del proyecto

Pedro Efrén Martín Concepción



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Departamento de Estudio de los Medios Continuos y Teoría de
Estructuras

València, junio de 2017

ÍNDICE

1	OBJETIVO DEL PROYECTO	1
1.1	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2	MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	1
2	INTRODUCCIÓN AL RALLY	2
2.1	DEFINICIÓN	2
2.2	EVOLUCIÓN HISTÓRICA	2
2.2.1	<i>DÉCADA 1950. POPULARIZACIÓN DEL RALLY</i>	2
2.2.2	<i>DÉCADA 1960. PROFESIONALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS</i>	3
2.2.3	<i>DÉCADA 1970. NACE EL CAMPEONATO DEL MUNDO</i>	3
2.2.4	<i>DÉCADA 1980. LOS GRUPO B</i>	4
2.2.5	<i>DÉCADA 1990. LOS GRUPO A</i>	5
2.2.6	<i>LOS WRC</i>	5
2.3	ORGANIZACIÓN DE UN RALLY	6
2.3.1	<i>PARQUE DE ASISTENCIA Y PARQUE CERRADO</i>	6
2.3.2	<i>EL RECORRIDO</i>	7
2.3.2.1	TIPOS DE TRAMOS CRONOMETRADOS	7
2.3.2.2	RECORRIDO DE RECONOCIMIENTO Y ROADBOOK	8
2.3.3	<i>VERIFICACIONES</i>	9
3	ESTUDIO DE LA SEGURIDAD EN COMPETICIÓN	11
3.1	MEDIDAS DE SEGURIDAD OBLIGATORIAS APLICADAS A PILOTOS Y COPILOTOS	11
3.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD OBLIGATORIAS APLICADAS AL VEHÍCULO	13
3.2.1	<i>SISTEMAS DE SUJECCIÓN DE LOS OCUPANTES</i>	13
3.2.2	<i>SISTEMAS DE EXTINCIÓN Y DESCONEXIÓN</i>	15
4	LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD	17
4.1	INTRODUCCIÓN	17
4.2	REGULACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD	17
4.2.1	<i>DEFINICIÓN DE SUS ELEMENTOS</i>	18
4.2.2	<i>ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS</i>	23
4.2.2.1	CONFIGURACIONES BÁSICAS	23
4.2.2.1	RREFUERZOS DE OBLIGADA INSTALACIÓN	26
4.2.2.3	RESTRICCIONES GEOMÉTRICAS EN LAS ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN	26
4.3	MATERIAL DE DISEÑO	27
4.3.1	<i>RESTRICCIONES NORMATIVAS FIA APLICADAS AL MATERIAL</i>	27
4.3.1.1	ACERO NO ALEADO	27
4.3.1.2	RESISTENCIA A TRACCIÓN	28
4.3.2	<i>ELECCIÓN DE LA ALEACIÓN</i>	29
4.3.2.1	INFLUENCIA DEL CROMO	30
4.3.2.2	INFLUENCIA DEL MOLIBDENO	30
4.4	NORMATIVA DE LOS PERFILES	31

4.5	INDICACIONES PARA LA SOLDADURA	31
4.5.1	<i>ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE</i>	31
4.5.2	<i>PROCESOS AUXILIARES EN LA SOLDADURA DE PERFILES AL CROMO-MOLIBDENO</i>	32
4.5.2.1	PRECALENTAMIENTO	32
4.5.2.2	TEMPERATURA ENTRE PASADAS	32
4.5.2.3	POST-CALENTAMIENTO	33
4.5.3	<i>ENSAYOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA</i>	33
4.5.4	<i>CORDÓN DE RAÍZ MEDIANTE SOLDADURA TIG</i>	33
4.5.4.1	ELECTRODO CONSUMIBLE	33
4.5.4.2	GAS DE PROTECCIÓN	34
4.5.4.3	ELECTRODO NO CONSUMIBLE	34
4.5.4.4	ELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE	34
4.5.5	<i>PASADAS DE RELLENO MEDIANTE SOLDADURA SMAW</i>	34
4.5.5.1	ELECTRODO DE APORTACIÓN	35
5	ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD	36
5.1	EL SOFTWARE SOLIDWORKS 2016	36
5.1.1	<i>HERRAMIENTAS CAD</i>	36
5.1.2	<i>HERRAMIENTAS CAE. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (FEM)</i>	37
5.2	ENSAYOS DE CARGA ESTÁTICA SOBRE LA ESTRUCTURA	38
5.2.1	<i>ENSAYO 1. CARGA ANGULAR SOBRE EL ARCO FRONTAL</i>	39
5.2.2	<i>ENSAYO 2. CARGA VERTICAL SOBRE EL ARCO PRINCIPAL</i>	40
6	DISEÑO INICIAL	41
6.1	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA INICIAL	41
6.1.1	<i>ESTRUCTURA DE SEGURIDAD BASE</i>	41
6.1.2	<i>ELEMENTOS DE REFUERZO OBLIGATORIOS</i>	41
6.2	PROCESO DE DISEÑO GRÁFICO	42
6.2.1	<i>DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE</i>	42
6.2.1.1	GEOMETRÍA DEL ARCO PRINCIPAL	43
6.2.1.2	GEOMETRÍA DE LOS SEMIARCOS LATERALES	46
6.2.1.3	GEOMETRÍA TIRANTE TRANSVERSAL FRONTAL	49
6.2.1.4	GEOMETRÍA DE LOS REFUERZOS LATERALES.	51
6.2.1.5	GEOMETRÍA DEL REFUERZO SUPERIOR.	54
6.2.1.6	CREACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE Y LOS TIRANTES LONGITUDINALES TRASEROS	56
6.2.1.7	DEFINICIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	58

6.3	PROCESO DE SIMULACIÓN	58
6.3.1	<i>ENSAYO 1.</i>	58
6.3.1.1	MODELADO DE LA SIMULACIÓN	58
6.3.1.2	PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN	60
6.3.1.3	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	63
6.3.1.3.1	CRITERIO DE ROTURA DE VON MISES	63
6.3.1.3.2	ESTUDIO DE LOS RESULTADOS	65
6.3.1.4	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	68
6.3.2	<i>ENSAYO 2</i>	71
6.3.2.1	MODELADO DE LA SIMULACIÓN	71
6.3.2.2	DISEÑO DE LA PRENSA DEL ENSAYO VERTICAL SOBRE EL ARCO PRINCIPAL	71
6.3.2.3	CREACIÓN DEL ENSAMBLAJE	72
6.3.2.4	PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN	74
6.3.2.5	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	75
6.3.2.6	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	76
7	MODIFICACIÓN 1	78
7.1	PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	78
7.2	ANÁLISIS DE LA PRIMERA SOLUCIÓN	80
7.2.1	<i>MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL</i>	80
7.2.2	<i>PROCESO DE SIMULACIÓN</i>	81
7.2.2.1	ENSAYO 1	81
7.2.2.1.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	81
7.2.2.1.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	82
7.2.2.2	ENSAYO 2	85
7.2.2.2.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	85
7.2.2.2.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	86
7.3	ANÁLISIS DE LA SEGUNDA SOLUCIÓN	87
7.3.1	<i>MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL</i>	87
7.3.2	<i>PROCESO DE SIMULACIÓN</i>	88
7.3.2.1	ENSAYO 1	88
7.3.2.1.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	88
7.3.2.1.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	89
7.3.2.2	ENSAYO 2	91
7.3.2.2.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	91
7.3.2.2.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	92
7.4	SOLUCIÓN ADOPTADA	93
8	MODIFICACIÓN 2	94
8.1	PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	94
8.1.1	<i>MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL</i>	94
8.1.2	<i>PROCESO DE SIMULACIÓN</i>	94
8.1.2.1	ENSAYO 1	94
8.1.2.1.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	94
8.1.2.1.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	96
8.1.2.2	ENSAYO 2	97
8.1.2.2.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	97
8.1.2.2.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	99

9	MODIFICACIÓN 3	100
9.1	PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	100
9.2	PROCESO DE SIMULACIÓN	100
9.2.1	<i>MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL</i>	<i>100</i>
9.2.2	<i>PROCESO DE SIMULACIÓN</i>	<i>102</i>
9.2.2.1	ENSAYO 1	102
9.2.2.1.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	102
9.2.2.1.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	103
9.2.2.2	ENSAYO 2	103
9.2.2.2.1	ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES	103
9.2.2.2.2	ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES	104
10	ADAPTACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE	106
11	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD	106
11.1	PERFILES FINALES	107
11.2	DIMENSIONES DEFINITIVAS	108
11.3	PROPIEDADES FÍSICAS	108
12	CONCLUSIÓN	110
13	BIBLIOGRAFÍA	112

1 OBJETIVO DEL PROYECTO

1.1 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto, consistirá en el diseño y el análisis de una estructura metálica formada por arcos de seguridad para un SEAT 127 propiedad del equipo de rally de la Universitat Politècnica de València, Smash Rally Team UPV (en adelante SRT UPV), que va a participar en el Campeonato de la Comunidad Valenciana en la categoría de Regularidad Sport. Por ello, una vez terminado el diseño se procederá a homologar la estructura de forma que pueda ser instalada legalmente en el vehículo.

De esta forma, la estructura de seguridad deberá ser certificada por un Autoridad Deportiva Nacional (ADN) de acuerdo con los reglamentos de homologación de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) que rigen este tipo de sistemas de protección. Dichos reglamentos son:

- Anexo J de la FIA, Artículo 253. Equipamientos de Seguridad (Grupos N, A, R-GT)
- Anexo J de la FIA, Artículo 255. Reglamento Específico para Vehículos Turismo (Grupo A)

De dicha manera, se deberá presentar el estudio de la estructura, sometida a la acción de las distintas cargas estipuladas por el reglamento, firmado por un técnico especializado.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto, surge de la necesidad de incorporar un arco de seguridad al vehículo de que dispone el equipo de la universidad para cumplir, de esta forma, con la normativa de seguridad vigente aprobada por la Federación de Automovilismo de la Comunidad Valenciana (FACV).

De este modo, como equipo formado íntegramente por estudiantes que buscan ampliar los conocimientos adquiridos en el aula, se decide que todas las modificaciones relevantes que se vayan a introducir en el vehículo deberán ser estudiadas, diseñadas e implantadas por los propios estudiantes, de forma que se recurra lo mínimo posible a componentes ya existentes y que pueden ser adquiridos en tiendas especializadas.

Por ello, como responsable del Departamento de Chasis, decido realizar este proyecto como Trabajo de Fin de Grado. De esta manera, se pretende demostrar que es posible la realización de proyectos de ingeniería a partir de los conocimientos que se han adquirido en el aula y, a su vez, lograr la satisfacción personal de ver un diseño personal homologado y validado para su uso en competición.

2 INTRODUCCIÓN AL RALLY

2.1 DEFINICIÓN

Según recoge la Real Academia Española de la Lengua (RAE), se entiende por Rally a cualquier competición de automovilismo o de motociclismo celebrada en carreteras abiertas u otros caminos.

El término “Rally” es un vocablo de origen anglosajón que se puede traducir por “Reunión o Encuentro” y es usado actualmente para designar las competiciones automovilísticas celebradas en vía pública, que son cerradas temporalmente al tráfico para la celebración de dichos eventos. Este término fue usado por primera vez en la I edición del Rally de Montecarlo, acaecido en 1.911.

2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Las competiciones de automovilismo son casi tan antiguas como el propio automóvil y es que a finales del S.XIX, solo unos años después de la aparición del primer vehículo con motor de combustión interna alternativo (MCIA) patentado por Karl Friedrich Benz en 1886, ya encontramos pruebas celebradas en carretera abierta como la “París-Rouen” de 1894, considerada la primera prueba documentada, o el Tour de Francia de Automovilismo celebrado en 1898.

Así, durante la primera mitad del S.XX encontramos numerosos eventos automovilísticos que se podrían definir como los precursores de los actuales rallies. Sin embargo, encontramos numerosas diferencias entre estos primeros eventos y las pruebas de hoy en día.

Los “rallys” de primera mitad de siglo eran eventos con recorridos muy largos, normalmente se superaban los 2.000 Km y podían llegar hasta los 10.000 Km, los cuales contaban con velocidades medias que, rara vez, superaban los 50 Km/h. Así pues, se trataba más de eventos de exposición, destinados a dar a conocer las bondades de este nuevo medio de transporte que un evento puramente competitivo. Es por ello, que muchas veces no ganaba el vehículo más rápido sino aquel que contaba con aspectos tan subjetivos como un buen acabado o que resultara más confortable.

2.2.1 DÉCADA 1950. POPULARIZACIÓN DEL RALLY

Durante los años 50 se produce una fuerte expansión de los rallies por todo el continente. Ello da lugar a la creación en el año 1953 por parte de la FIA, con la finalidad de limitar el creciente nº de competidores que acudían a cada evento, del “European Rally Championship” (ERC), que actualmente sigue celebrándose conjuntamente con el “Intercontinental Rally Challenge” (IRC).

Este nuevo campeonato fomentaba las competiciones realizadas usando tramos cronometrados (TC) cerrados al tráfico en detrimento de las clásicas pruebas que por aquél entonces aún se seguían celebrando en carretera abierta. Esto, permitía llevar los coches al límite de sus posibilidades mecánicas de forma que, rápidamente, los Rallys se convirtieron en un excelente banco de prueba para los nuevos avances tecnológicos que las compañías del automóvil iban introduciendo en los vehículos.

Todo ello, propició, por primera vez, la incursión en el mundo de rally de las marcas de automóviles más importantes de la época como Renault, Mercedes o la British Motor Corporation (BMC) que empezaron a desarrollar equipos semi-profesionales de asistencia a los competidores.

Consecuentemente, debido al aumento del desarrollo tecnológico, la FIA promulgó en 1957 el Formulario Internacional de Homologación, en el cual se establecían las diferentes clases y grupos que podían participar en estos eventos automovilísticos, en función de la cilindrada del propulsor y del grado de preparación mecánica del vehículo.

2.2.2 DÉCADA 1960. PROFESIONALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

A principio de los años 60 se asiste a la profesionalización de este deporte, cuando en 1961 la BMC crea la primera estructura oficial dedicada, íntegramente, al rally. De esta forma, desarrolla un vehículo orientado a competir en este tipo de competiciones automovilísticas con una asistencia oficial durante todos los eventos, a través de mecánicos altamente preparados, y contratando, por primera vez, a pilotos de otros países para competir. Así, aparecen gran número de pilotos nórdicos como Rauno Aaltonen, Pauli Toivonen o Timo Mäkkinen (conocidos como los Fineses Voladores) que dominarán el deporte durante toda la década.



Por otro lado, esta profesionalización comenzada a principio de década culmina, en

1965, con la promulgación por parte de la FIA del Anexo J, destinado a clasificar de forma clara los vehículos en 6 grupos distintos según su grado de preparación. De entre los cuales cabe destacar el Grupo 2 y el Grupo 4, precursor de los Grupo B.

ILUSTRACIÓN 1. AUTHI MINI 850 DE LA BMC DURANTE UN RALLY EN LA DÉCADA DE LOS 60.

2.2.3 DÉCADA 1970. NACE EL CAMPEONATO DEL MUNDO

En el año 1970 nace el Campeonato Internacional de Marcas (ICM) que tenía como objetivo fomentar la participación de los mejores fabricantes en todas las pruebas que formaban el campeonato, y no solamente en las que se disputaban cerca de la sede central de la marca como ocurría en años anteriores.

El campeonato se componía de pruebas tanto europeas como africanas, lo que dotaba de cierto carácter internacional al certamen, y se basaba en el mismo sistema de puntuación que el usado en F1. Sin embargo, solo puntuaban las marcas, de forma que no existía clasificación de pilotos.

Es en 1973 cuando la FIA organiza el Campeonato del Mundo de Rally en sustitución del ICM. De esta forma, durante sus primeros años de existencia, el Campeonato del Mundo conservaría el mismo formato y solo sería puntuable para los constructores.



ILUSTRACIÓN 2. LANCIA STRATOS HF DISEÑADO POR BERTONE CON MOTOR CENTRAL V6 DE 2.418cc Y ORIGEN FERRARI.

Los primeros años del certamen fueron dominados por escuadras italianas como FIAT, con el FIAT 131 Abarth, o LANCIA, con su famoso LANCIA Stratos HF, que ganó las temporadas 1974, 1975 y 1976.

Ya en las temporadas 1977 y 1978, la FIA crearía una copa para pilotos que sirvió de antesala para la creación en la temporada 1979 del Campeonato del Mundo de Pilotos, cuyo primer ganador sería el sueco Björn Waldegaard.

2.2.4 DÉCADA 1980. LOS GRUPO B

Hablar de rallye en la década de los 80 es hablar del “GRUPO B”, lo que para muchos supuso la “Época Dorada de los Rallys”. Esta nueva categoría fue creada por la Federación Internacional de Automovilismo en 1983 y supuso una revolución sin precedentes de esta modalidad deportiva.

Los Grupo B contaban con una reglamentación deportiva altamente permisiva en cuanto a innovación técnica, aunque escasa en materia de seguridad. De esta forma, se permitía correr con un modelo únicamente vendiendo 200 unidades en el mercado. Esto, favorecía realizar coches enfocados exclusivamente a la competición con un elevado grado de sofisticación tecnológica.

Dichos vehículos contaban con motores turboalimentados que permitían conseguir potencias superiores a los 500 CV, chasis



ILUSTRACIÓN 3. MOTOR 1.775cc 4 CILINDROS EN LÍNEA TURBOALIMENTADO DE 500 CV Y POSICIÓN CENTRAL QUE MONTABA EL PEUGEOT 205 T16.

tubulares y fomentaban el uso de materiales exóticos con el fin de aumentar la rigidez del conjunto y rebajar el peso, los cuales llegar a alcanzar cifras de poco más de 800 Kg.

Todo ello dio lugar a vehículos extremadamente rápidos como el Peugeot 205 T16 o el Audi Quattro S1, con aceleraciones de 0-100 Km/h alrededor de 2,3 segundos y velocidades punta superiores a los 240 Km/h, pero, a su vez, muy peligrosos produciéndose en sus 4 años de existencia numerosos accidentes fatales como el de Henri Toivonen y su copiloto con el LANCIA Delta S4 en el Rally de Córcega de 1986.

2.2.5 DÉCADA 1990. LOS GRUPO A

Los años noventa se caracterizaron por la estabilidad reglamentaria proporcionada por la nueva categoría surgida tras la prohibición de los Grupo B en 1986, los Grupo A. Estos vehículos derivaban de automóviles producidos en serie con un mínimo de 2.500 vehículos anuales producidos para el modelo concreto que iba a ser usado en competición.



ILUSTRACIÓN 4. TOMMI MÄKINEN CON EL MITSUBISHI LANCER EVO V EN EL RALLY DE FINLANDIA DE 1997.

Mecánicamente, se trata de vehículos con 4 ruedas motrices (tracción integral) que para un peso mínimo de 1.230 Kg, deben ir propulsados por motores atmosférico de entre 1.600 y 3.000 cm^3 o por motores con aspiración turboalimentada y una brida de admisión fijada por el Artículo 5.1.8.3 del Anexo J de la Reglamentación FIA.

Este hecho propició la vuelta de las marcas japonesas al mundial de rally como Subaru, con el Subaru Impreza 555, Mitsubishi, con el Mitsubishi Lancer EVO o Toyota con el Toyota Corolla y el Toyota Celica.

Ello condujo al bicampeonato de Carlos Sainz (Temporadas 1990 y 1992) de la mano del Toyota Corolla y a los 4 campeonatos consecutivos cosechados por Tommi Mäkinen, de 1996 a 1999, con el Mitsubishi Lancer EVO V y VI.

2.2.6 LOS WRC

La categoría World Rally Car (WRC) nace en el año 1997 y supone una evolución de los Grupo A, es decir, los vehículos siguen enmarcados dentro de este Grupo, pero con nueva reglamentación, en cierto grado más permisiva que la anterior, que conllevará el retorno a la competición de marcas como Peugeot o Citroën a principio de los 2000.

Desde su creación en 1997 hasta la Temporada 2010, los WRC contaban con mecánicas turboalimentadas de 2.000cc que rendían unos 320 CV y tracción integral. Los vehículos contaban con un alto grado de preparación mecánica, disponiendo de

diferenciales controlados electrónicamente, suspensiones roscadas totalmente modificables en recorrido y dureza, frenos de acero de 335,0mm de diámetro y autoventilados y electrónica completamente regulable por el piloto en cualquier momento.

No obstante, a partir de la temporada 2011, se modifica el cubicaje del propulsor, pasando de 2,0 litros a 1,6 litros y se varía el diámetro máximo de la brida del turbo, que pasa a ser de 34,0mm permitiendo, así, potencias de alrededor 300 CV. Finalmente, para la temporada 2017 se ha vuelto a producir una modificación en la reglamentación, permitiendo un aumento en el diámetro de la brida del turbo que pasa de los 34,0mm estipulados hasta la fecha, a los 36,0mm. Este hecho ha dado lugar a vehículos con 380 CV de potencia y un par motor de más de 500 N·m.

Durante estos últimos años cabe destacar a 2 pilotos en particular. Por un lado, Sébastien Loeb ha sido 9 veces



campeón del mundo (Temporadas 2004 a 2012) con Citroën, y, por otro lado, a su sucesor, Sébastien Ogier, 4 veces campeón del mundo (Temporadas 2013 a 2016) con el Volkswagen Polo WRC.

ILUSTRACIÓN 5. SÉBASTIEN LOEB CON EL CITRÖEN DS3 WRC DE 2012.

2.3 ORGANIZACIÓN DE UN RALLY

La organización de un rally es una tarea compleja, pues se deben tener en cuenta múltiples aspectos que van desde la definición del recorrido y de la zona de asistencia, de acorde a las pautas marcadas por la reglamentación aprobada por la FIA, hasta garantizar la seguridad de los espectadores durante el transcurso del evento.

2.3.1 PARQUE DE ASISTENCIA Y PARQUE CERRADO

El parque o zona de asistencia es una zona fija, habilitada por la organización, donde se realizan las tareas de reparación y/o mantenimiento de los vehículos competidores por parte de los equipos.

Las zonas de entrada y salida del parque de asistencia se encuentran delimitadas por 2 controles horarios de forma que se pueda verificar el tiempo de permanencia de cada competidor dentro del mismo. Este tiempo, viene dado por la organización en el carnet de control horario que se entrega a cada copiloto a la salida de la zona de asistencia del bucle anterior.



Es fundamental controlar el momento de llegada y salida de forma que se eviten adelantos o retrasos,

respecto a la hora asignada, para realizar el control horario tanto de llegada como de salida del parque.

Así, los participantes reciben 1 minuto de penalización por cada minuto o fracción de minuto de adelanto y 10 segundos de penalización por cada minuto o fracción de minuto de retraso.

El Parque Cerrado (PC) o “Parc Fermé” (como es habitualmente conocido) se trata de una zona habilitada por la organización en la cual queda prohibida cualquier reparación y/o ayuda exterior por parte de mecánicos hacia vehículos y/o competidores.

De esta manera, se considera que los vehículos entran en Régimen de Parque cerrado:

- Desde su entrada en un parque de salida, de reagrupamiento o de fin de etapa, hasta la salida de los mismos.
- Desde su entrada en una zona de control hasta la salida de la misma.
- Desde su llegada la final del rally hasta que termine el plazo para la presentación de reclamaciones y los comisarios deportivos autoricen la apertura del mismo.

2.3.2 *EL RECORRIDO*

El recorrido del rally es diseñado por la empresa organizadora del evento de acorde al Reglamento Deportivo WRC de 2017, aprobado por la FIA el 03 de febrero de 2017.

En él, se establece como debe ser la superficie del recorrido, pudiéndose elegir un recorrido con una superficie mixta siempre que se mantenga la misma entre 2 reagrupamientos con un tiempo mínimo de trabajo en la zona de asistencias de 45 minutos.

Así mismo, la distancia total de los tramos cronometrados (TC) deberá estar comprendida entre los 300 y los 500 Km, no existiendo una longitud mínima ni máxima para la configuración de los mismos. Sin embargo, no se deberá sobrepasar los 80 Km de recorrido cronometrado entre 2 visitas consecutivas a la zona de asistencia.

2.3.2.1 TIPOS DE TRAMOS CRONOMETRADOS

Existen 3 tipos de tramos cronometrados (TC) actualmente que, ordenados por orden cronológico en el desarrollo de un rally, son:

- **SHAKEDOWN:** Se trata de un tramo de participación opcional que se realiza una vez terminadas las verificaciones y que es usado para poner a punto los reglajes del coche.

La etapa deberá tener la misma superficie que el resto del recorrido y una longitud comprendida entre los 2,5 y los 4 Km.

Durante el Shakedown, los participantes realizan un total de tres pasadas cronometradas al tramo y los tiempos marcados no se tienen en cuenta para el resultado final del rally.

- **SPECIAL STAGE (SS):** Forman la gran mayoría de TC que componen el Rally. Se trata de las secciones de recorrido que son cerradas al tráfico durante el rally para que puedan correr los vehículos de forma segura y que son cronometradas. Dichas secciones se encuentran delimitadas por dos controles horarios al inicio del TC y por dos controles horarios al final.

Los TC son de longitud muy dispersa, así, puede haber tramos que midan 3 o 4 Km hasta recorridos de más de 50 Km como ocurre en el Rally de Córcega.

- **POWER STAGE:** Se trata una variante de los TC introducida en la Temporada 2011 y afecta al último tramo celebrado en cada rally.

Fue introducida para incrementar el número de aficionados que siguen el evento por televisión, puesto que es uno de los pocos TC que son emitidos en directo durante el transcurso del evento. Por ello, se trata de recorridos no muy largos, con distancias de entre 10 y 20 Km y celebrados a las 12:00 horas del domingo.

Para dotar de mayor emoción a esta etapa, se añade una puntuación extra que cuenta para la clasificación general del campeonato. De esta forma, el piloto que marca el mejor tiempo, en inglés “Scratch”, obtiene 5 puntos extra y así hasta al 5 clasificado, que suma 1 punto.







2.3.2.2 RECORRIDO DE RECONOCIMIENTO Y ROADBOOK

El recorrido de reconocimiento es una parte fundamental para piloto y copiloto durante su participación en un rally. Permite a ambos tomar apuntes acerca del recorrido cronometrado (longitud de las rectas, geometría de las curvas, cambios de rasante o peligros como baches y piedras), los cuales serán usados para elaborar las notas que el copiloto le “cantará” al piloto durante la carrera, de forma que éste pueda ir lo más rápido posible de forma relativamente segura. Por ello, aunque tiene lugar varios días antes de la celebración del evento, se debe estar muy concentrado durante su realización.

Para realizar el reconocimiento se debe seguir las pautas marcadas por el Reglamento Deportivo WRC de 2017, según el cual, solamente se puede reconocer los TC usando vehículos con especificaciones estrictamente de serie, aunque, opcionalmente, se podrán montar arcos de seguridad y ruedas de libre elección si la superficie es tierra o grava.

Asimismo, los vehículos montarán un sistema de GPS proporcionado por la organización para evitar que se realicen más pasadas de reconocimiento de las permitidas (2 por cada TC que compone el rally) y todas ellas, se deberán llevar a cabo

antes del miércoles a las 17:00h, momento en que termina el plazo para realizar dichas tareas.

From	TC1 - Parkhurst Manor	Distance In Miles	Leg	1	Page
To	TC2 - Oulton Grange	43.56	Section	1	1
		Average MPH	Target Time		
Scenic Tour 1		29.37		01:29:00	
Distance	Direction	Route Information		Distance	
Total	Enter	Tulip Arrows	Info	To Go	
00.00	00.00			43.56	
12.80	12.80			30.76	
25.93	13.13			17.63	

Para ayudar en la navegación la organización hace entrega, a la vez que se adjudican los GPS, del Libro de Navegación o “Roadbook”. En él, aparecen de forma detallada todas las indicaciones que necesita el copiloto para guiar al piloto durante los recorridos de enlace.

Para ello, se establece, mediante imágenes de referencia, y señalizaciones

ILUSTRACIÓN 7. ROADBOOK DEL RALLY DE GALES.

en cada cruce que salidas se deben tomar y las distancias hasta el siguiente punto mencionado en el libro de navegación. También, se adjunta un mapa con el recorrido de los TC y por dónde trascurren los enlaces. Finalmente, se hace entrega, en las 2 últimas páginas, de dos hojas. La primera tiene pintada la palabra “OK” en color verde y, la segunda una cruz en color rojo. Esto sirve a los competidores, en caso de accidente, para pedir asistencia médica o indicar que se encuentran bien físicamente.

2.3.3 VERIFICACIONES

Las verificaciones son los actos celebrados por los comisarios deportivos, previos al comienzo del evento, que permiten controlar que la documentación aportada por los participantes está en regla según a lo especificado en el Reglamento Deportivo.

Antes de poder tomar parte en un rally, el concursante debe superar 2 verificaciones distintas, las administrativas y las técnicas.

En primer lugar, se realizan las verificaciones administrativas mediante las cuales la organización controla que toda la documentación requerida en la inscripción ha sido presentada de forma correcta y se encuentra vigente. Para ello, el concursante debe presentar a los comisarios deportivos:

- Licencia del concursante.
- Licencia del piloto y del copiloto.
- Documento de Identificación (DNI o Pasaporte) del piloto y del copiloto.
- Hoja de inscripción.
- Documentación original del vehículo.
- Control del Pasaporte Técnico-Deportivo.
- Hoja de vigencia de los elementos de seguridad del piloto y del copiloto.

Si todo está en orden y se superan las verificaciones administrativas, se deberán realizar las verificaciones técnicas del vehículo.

Para ello, los vehículos son llevados hacia una zona de inspección, delimitada por la organización, donde se encuentran los comisarios deportivos los cuales rellenan una ficha de verificación. En ella, aparecen los datos del concursante, piloto, copiloto y vehículo, según lo indicado en la inscripción.

Para superar las verificaciones técnicas hay que presentar la ficha de homologación y el pasaporte técnico del vehículo, en las cuales quedan registradas todas las mejoras incorporadas al vehículo (según la reglamentación recogida en los Artículos 251 a 255 del Anexo J de la FIA) y los accidentes previos que haya podido sufrir el vehículo en pruebas anteriores. Estos documentos deberán ser impresos en papel estampado o con marca de agua de la FIA o de un ADN, si el constructor es de la misma nacionalidad.

De esta manera, si los comisarios consideran que toda la documentación es correcta y que el vehículo se encuentra en buenas condiciones en materia de seguridad para correr, el concursante recibe un adhesivo donde se lee “**VERIFICADO**” el cual le autoriza a tomar la salida en el evento.

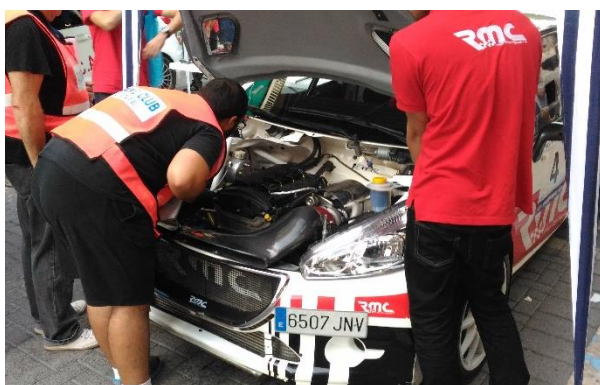


ILUSTRACIÓN 8. PEUGEOT 208 MAXIRALLY 1,6T PASANDO LAS VERIFICACIONES TÉCNICAS EN EL II RALLY CIUTAT DE XIXONA 2016.

3 ESTUDIO DE LA SEGURIDAD EN COMPETICIÓN

3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD OBLIGATORIAS APLICADAS A PILOTOS Y COPILOTOS

Las medidas de seguridad que deben respetar de forma obligatoria tanto piloto como copiloto, para superar las verificaciones administrativas, son las recogidas en el reglamento Standard de la FIA.

Según esta normativa, los elementos mínimos de protección que deberán vestir los participantes son:

- **CASCO:** El casco es uno de los elementos de protección más importantes, puesto que es el que recibe toda la energía del impacto en caso de producirse un golpe en la cabeza.

Los cascos cuentan con una coraza resistente, fabricada normalmente con materiales compuestos de elevada dureza y tenacidad (como la fibra de carbono o de vidrio), que es la responsable de absorber la mayor cantidad de energía durante el impacto, y de un revestimiento acolchado interior que tiene como función amoldarse a la cabeza del piloto para evitar holguras que provoquen que el casco pueda desprenderse y, a su vez, evitar que la testa choque directamente con la parte rígida exterior del casco.

Existen dos clases fundamentales de cascos, ambos permitidos por la FIA, los cascos abiertos y los cascos integrales. Normalmente, el piloto suele vestir cascos integrales y el copiloto, con el fin de mejorar la comunicación entre ambos, viste un casco abierto equipado con un sistema de intercomunicación.

Este elemento de protección debe estar diseñado de acorde al Standard FIA 8860-2010 y deberá superar los ensayos descritos en el Standard FIA 8860-2004.



ILUSTRACIÓN 9. CASCO ABIERTO, FABRICADO EN FIBRA DE CARBONO, CON SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCORPORADO DE LA CASA STILO.

- HANS: El dispositivo HANS (Head and Neck Support Device), es un elemento de protección para el cuello, diseñado y homologado por el Standard FIA 8858-2010, el cual resulta obligatorio en competiciones de rally desde el año 2003.

Este sistema de seguridad fue creado por el Doctor Hubbard, experto en biomecánica por la Universidad de Michigan, durante la década de 1980 tras contemplar el accidente de un amigo, quien perdió la vida a causa de la rotura de los huesos cervicales.

El HANS se fabrica enteramente en fibra de carbono, por lo que resulta un dispositivo liviano, con un peso cercano a los 300g. Se encuentra anclado, por un lado, al casco mediante el uso de unos tirantes y, por otro lado, al cuerpo del piloto, puesto que reposa sobre los hombros y el pecho del piloto, justo encima de las correas de los arneses de seguridad.

Para asegurar su eficacia, la parte trasera, que es el punto donde se anclan los tirantes que unen el HANS y el casco, debe tener una geometría vertical con una inclinación máxima de $\pm 10^\circ$.



ILUSTRACIÓN 10. DISPOSITIVO HANS UNIDO AL CASCO.

- VESTIMENTA IGNÍFUGA: La vestimenta ignífuga al completo que debe llevar puesta cada participante se compone del mono, la balaclava o sotocasco, los guantes, los botines y la ropa interior, que debe incluir una camiseta de manga larga de forma obligatoria y calcetines.

La tela o material textil de que están compuestos estos elementos es, según el Standard 8856-2000 de la FIA, el Nomex[®], definido como un polímero aromático sintético de poliamida que se caracteriza por proporcionar un aislamiento térmico excelente incluso a temperaturas superiores a los 300°C, durante elevados períodos de tiempo.

De esta forma, la ropa ignífuga debe proporcionar una protección a los ocupantes frente al fuego durante, al menos, un tiempo mínimo de 30 segundos.

La vestimenta se homologa para un tiempo máximo de 5 años, debiendo renovarse cuando se cumple dicho período o cuando se haya producido una exposición, por breve que sea, a un foco de elevada temperatura.

Así mismo, solamente serán válidas las vestimentas identificadas con el parche oficial de la FIA, que recoge el número de homologación otorgado por la Federación al producto y el nombre del fabricante, así como el año de fabricación



ILUSTRACIÓN 11. BORDADO DE LA HOMOLOGACIÓN STANDARD FIA 8856-2000.

3.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD OBLIGATORIAS APLICADAS AL VEHÍCULO

Las medidas de seguridad que deben instalarse de forma obligatoria en un vehículo de rally del Grupo N, como es el caso del SEAT 127, se rigen según el Artículo 253 del Anexo J de la Reglamentación FIA.

3.2.1 SISTEMAS DE SUJECCIÓN DE LOS OCUPANTES

Los sistemas de sujeción de los ocupantes son los que evitan que el cuerpo de los ocupantes salga despedido a causa de las elevadas fuerzas de inercia que se crean durante las competiciones o en caso de accidente y se reglamentan según los Artículos 253-6 y 253-16 del Anexo J que contemplan a instalación tanto de asientos tipo “Bacquet” como de arneses de seguridad.

- **ASIENTOS BACQUET:** Los asientos tipo bacquet resultan de uso obligatorio en todo vehículo de competición según el Artículo 253-16 y deben regirse mediante el Standard FIA 8855-1999 o el Standard FIA 8862-2009. Al igual que sucede con la vestimenta de los competidores,

deben llevar una etiqueta de certificación donde se lea el número de homologación del producto y la fecha de fabricación, pues caducan a los 5 años si son de acuerdo al Std.8855-1999 o a los 10 años si están regidos por el Std.8862-2009.

Estos sistemas de sujeción se caracterizan por estar fabricados con materiales rígidos (materiales compuestos como la fibra de carbono) y tener una forma ergonómica que permita “abrazar” el cuerpo de los ocupantes, impidiendo así su desplazamiento a causa de las fuerzas centrífugas o en caso de accidente.

Las butacas tienen que estar sujetas al chasis-carrocería del vehículo mediante, al menos, 4 puntos de anclaje y usando bulones con un diámetro mínimo de 8mm y placas con una superficie mínima de contacto de 40 cm^2 y espesores de 3mm para aquellas placas realizadas en aceros y 5mm para las se fabricadas usando aleaciones livianas. De esta manera, cada uno de los anclajes deberá soportar una carga de 18kN en cualquiera que fuere la dirección de aplicación de la misma.



ILUSTRACIÓN 12. ASIENTO TIPO BACQUET DE LA MARCA OMP. CON SUJECIONES PARA ARNESES DE 6 PUNTOS.

Por todo ello, los asientos bacquet no pueden modificar su posición una vez instalados en el vehículo.

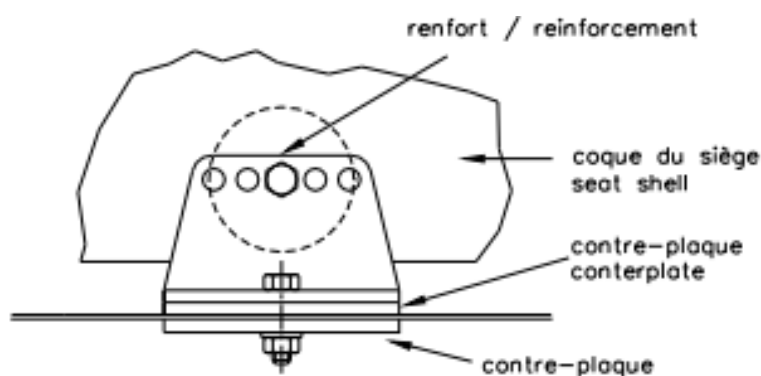


ILUSTRACIÓN 13. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN PUNTO DE ANCLAJE DEL BACQUET AL CHASIS-CARRECERÍA.

- **ARNESES DE SEGURIDAD:** El uso de los arneses de sujeción se encuentra definido en el Artículo 253-6 del Anexo J, donde se establece que estos deberán ser diseñados de acuerdo al Standard FIA 8853/98 o al Standard FIA 8853-2016, que supone una extensión de la Norma 8853/98. Consecuentemente, deberán ser sustituidos a los 5 años de su fabricación o en caso de sufrir un accidente.

De esta manera, queda reglamentado que los tirantes laterales e inferiores deban ir anclados a los soportes originales de los cinturones que se encuentran en los vehículos de serie y que los tirantes superiores vayan anclados a una barra transversal situada a media altura en los tirantes traseros del arco de seguridad, de forma que se cumplan una serie de restricciones geométricas una vez instalados.

De no poder cumplir con los ángulos establecidos, se permite instalar nuevos puntos de apoyo que deberán ser homologados por un ADN después de haber sido ensayados.

En cuanto a los arneses, existen dos tipos fundamentalmente, los de 4 puntos de sujeción y los de 6 puntos y, ambos, deberán contar con un sistema de apertura rápida por pulsador, así como de un “cutter” que permita soltar rápidamente a los ocupantes en caso de no poder liberar los tirantes. Asimismo, el ancho mínimo de los tirantes es de 76,0mm (3 pulgadas) y deberá ser compatible con el uso del dispositivo HANS.

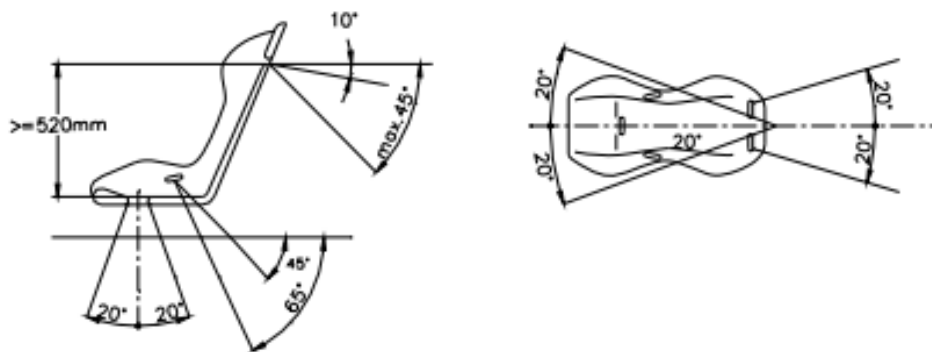


ILUSTRACIÓN 14. RESTRICCIONES GEOMÉTRICAS QUE DEBE CUMPLIR UN ARNES DE SEGURIDAD CUANDO ES INSTALADO.

3.2.2 SISTEMAS DE EXTINCIÓN Y DESCONEXIÓN

Estos sistemas resultan de vital importancia en caso de accidente o avería mecánica grave, pues permiten a los ocupantes del vehículo y/o a los comisarios extinguir pequeños incendios o evitar descargas eléctricas durante la evacuación del vehículo o mientras duren los trabajos de rescate de los participantes.

Su implantación resulta de obligado cumplimiento según lo redactado en el Artículo 253 del Anexo J de la Federación Internacional de Automovilismo.

- SISTEMA DE DESCONEXIÓN ELÉCTRICA: Su instalación queda definida según el Artículo 253-13. El sistema cortacorrientes general deberá cortar todos los circuitos eléctricos y detener el motor al instante.



Para ello deberá ser instalado por duplicado, es decir, tanto dentro como fuera del vehículo. En la parte interior se situará en el suelo de la parte central del vehículo, de forma que sea accesible tanto para piloto como para copiloto. Para el exterior, se colocará en la parte inferior de uno de los montantes del parabrisas e irá señalizado con un triángulo azul de base 120mm, bordes blancos y con un rayo rojo en la parte central

ILUSTRACIÓN 15. SEÑALIZACIÓN DEL DISPOSITIVO CORTACORRIENTES.

- **SISTEMA DE EXTINCIÓN:** Para competiciones rally se recomienda la instalación de sistemas de extinción automáticos y de extintores manuales según lo redactado en el Standard FIA 8865-2015.

Los sistemas de extinción manuales consistirán en un botellón, anclado al chasis de forma que resista aceleraciones de hasta 25G usando fijaciones metálicas de apertura rápida, situado en una posición que permita a los ocupantes acceder a él sin tener que abrir los arneses de seguridad. La cantidad de producto que deben contener variará según el agente extintor que contengan, situándose los mínimos entre los 2,0 y los 2,4Kg.

Los sistemas de extinción automáticos, por su parte, contarán con dos bocas de descarga, una en el vano del motor y otra dentro del habitáculo. De igual manera que en los sistemas manuales, cada uno de los 2 botellones a instalar deberá soportar una aceleración mínima de 25G y se deberán poner en marcha de forma simultánea tan rápido como se accione el pulsador de extinción, marcado con una “E” en rojo sobre un fondo blanco y rodeada de un círculo rojo de 100,0mm como mínimo de diámetro.

4 LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

4.1 INTRODUCCIÓN

La Estructura de seguridad es un sistema de protección compuesto por un entramado multi-tubular de barras huecas de perfiles metálicos, soldadas entre sí, y que van sujetas al chasis del vehículo mediante unos puntos de anclaje, a través de soldaduras y/o uniones roscadas.

El habitáculo de seguridad es un elemento de protección fundamental dentro del automovilismo, siendo su instalación de obligado cumplimiento en prácticamente la totalidad de competiciones. Básicamente, sólo desaparece en las competiciones de Karting, pues su configuración geométrica hace casi imposible su instalación y en las competiciones de monoplazas, como la F1, la IndyCar o los LMP (Le Mans Prototype) donde se sustituye el sistema de barras por una estructura maciza esculpida, normalmente, en materiales compuestos (fibra de carbono y Kevlar®) que se denomina “Cockpit”. De esta manera, se pueden encontrar estos sistemas de absorción de impacto en vehículos de turismo orientados a competición, como el WTCC, en los campeonatos de GT (Gran Turismo) y, por supuesto, en las competiciones tipo rally.



ILUSTRACIÓN 16. COCKPIT DE FIBRA DE CARBONO Y KEVLAR DEL AUDI R18 E-TRON QUATTRO (LMP1).



ILUSTRACIÓN 17. ARCO DE SEGURIDAD DE UN FORD FIESTA R5 EVO 2.

La jaula de seguridad, como bien se ha comentado, es un sistema estructural de protección del piloto cuya función principal es ofrecer seguridad en caso de impacto, absorbiendo la energía y evitando que el piloto reciba el impacto de forma directa. Así, cuando se produce un choque, el habitáculo se deforma dentro de unos límites estrictamente estipulados y no llega a alcanzar a piloto y copiloto.

4.2 REGULACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD

Los habitáculos de seguridad, de igual modo que el resto de elementos de seguridad anteriormente analizados, se encuentran reglamentados en el Anexo J de la Reglamentación FIA, concretamente en el Artículo 253-8 y su instalación resulta de obligado cumplimiento.

Para que una estructura de seguridad sea legal deberá ser homologada por un ADN y disponer de una placa identificativa colocada por el constructor que no pueda borrarse ni copiarse, de forma que deberá ir embutida toda la información en la placa o bien, estar homologada por la FIA y ser introducida como extensión en la ficha de homologación del vehículo.

4.2.1 DEFINICIÓN DE SUS ELEMENTOS.

Según el Artículo 253-8.2 del Anexo J de la FIA, una Estructura de seguridad puede estar constituida de los siguientes componentes:

- **ARCO DE SEGURIDAD:** Estructura tubular individual que forma parte, junto con otros elementos, de la estructura de seguridad. Dicho elemento, se asemeja geométricamente a un arco y cuenta con dos bases de anclaje al chasis.

El primero se refiere a uno de los múltiples elementos tubulares que componen la estructura final y el segundo, hace referencia a dicha estructura completa, ya terminada.

- **ARCO PRINCIPAL:** Componente vertical compuesto por un solo arco tubular, que cuenta con una inclinación máxima de $\pm 10^\circ$ respecto al plano vertical, situado en un plano transversal al vehículo el cual, a su vez, deberá ubicarse inmediatamente detrás de los asientos delanteros.

La parte vertical del arco se situará tan próxima como sea posible a los paneles interiores de la carrocería y deberá contener solamente una curvatura entre su parte inferior y superior.

- **ARCO DELANTERO:** Arco de seguridad, similar al arco principal, pero su geometría se rige por la forma de los montantes y el borde superior del parabrisas.

De esta manera, el pilar del arco delantero solamente podrá contener una curvatura entre su parte inferior y superior.

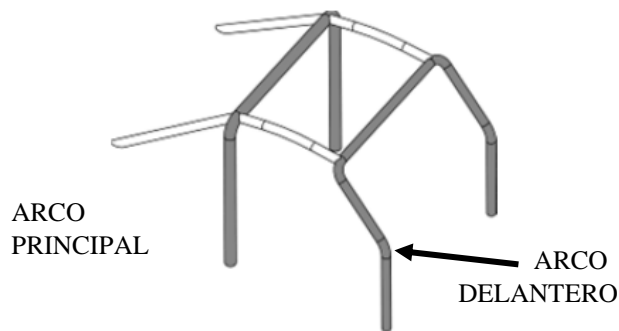


ILUSTRACIÓN 18. DISPOSICIÓN DEL ARCO PRINCIPAL, EL DELANTERO Y LOS TIRANTES LONGITUDINALES DENTRO DE LA ESTRUCTURA BASE.

- **ARCO LATERAL:** Estructura de geometría casi longitudinal y vertical, constituida por un arco tubular individual. Dicho arco arranca en la parte frontal del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo montante del parabrisas para terminar con un pilar trasero, que deberá ser completamente vertical a vista lateral, situado inmediatamente detrás de los asientos.

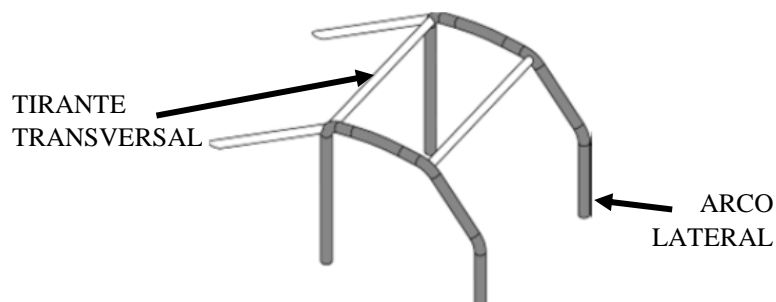
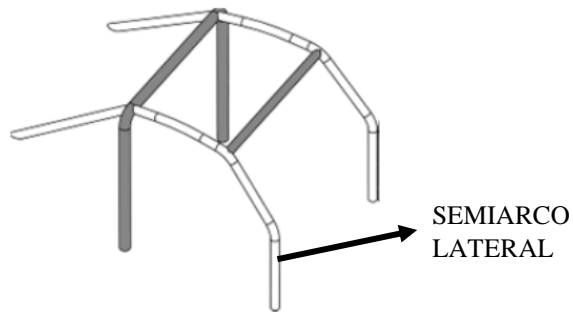


ILUSTRACIÓN 19. DISPOSICIÓN DEL ARCO LATERAL DENTRO Y LOS TIRANTES TRANSVERSALES DE LA

- **SEMIARCO LATERAL:** Constructivamente, se define de forma idéntica al arco lateral, pero sin el pilar trasero.

De igual manera que los arcos delanteros y los arcos laterales, su pilar frontal solamente puede albergar un radio de curvatura en su geometría que va desde el punto inferior hasta el superior del arco.



- **TIRANTE LONGITUDINAL:** Tubos casi longitudinales, pueden ser combados ligeramente para amoldarse a la forma superior del vehículo, que unen el arco principal con el arco delantero.
- **TIRANTE TRANSVERSAL:** Tubo simple que une los componentes superiores de los arcos o semiarcos laterales.
- **TIRANTE DIAGONAL:** Consistente en un tubo transversal que une:
 - Uno de los ángulos superiores del arco principal o un extremo del arco transversal con el pie de anclaje opuesto del arco.
 - El extremo superior de un tirante trasero con el pie de anclaje del otro tirante trasero.
- **PUNTO DE ANCLAJE:** Placa soldada en los extremos inferiores de los arcos y los tirantes que permite su posterior unión al chasis o carrocería mediante el uso de soldaduras y/o uniones roscadas. Además, suele añadirse una placa de refuerzo que rigidice la unión.

Su uso se encuentra reglamentado en el Artículo 253-8.3.2.6 del Anexo J de la FIA. Este documento esclarece que el mínimo número de pies de anclaje y su configuración para la estructura de seguridad es:

- 1 Para cada montante del arco delantero, de los arcos o semiarcos laterales o del arco principal. Dichos elementos de anclaje deberán fijarse usando, al menos, 3 uniones roscadas de métrica mínima M8 (según calidad ISO 8.8) y sujetas por tuercas autoblocantes. Dichas uniones deben mantener un ángulo de separación mínimo de 60°.

Asimismo, las uniones roscadas sujetarán los montantes al vehículo usando una placa de 3,0mm de espesor y $120,0\text{cm}^2$ que será, también, soldada al chasis o la carrocería.

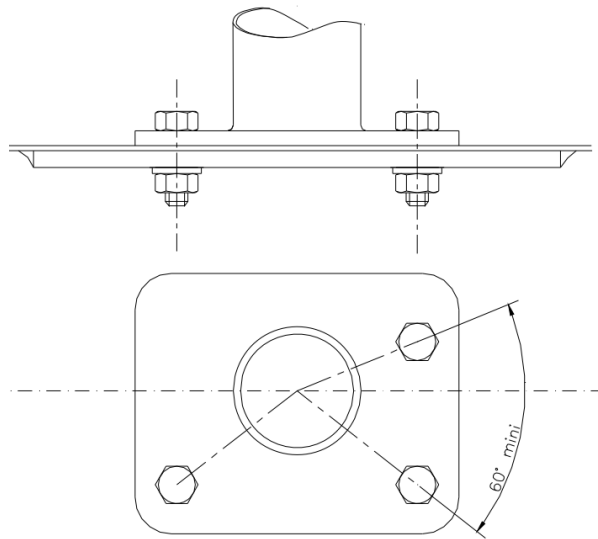


ILUSTRACIÓN 21. ESQUEMA PIE ANCLAJE PARA LOS ARCOS Y SEMIARCOS PRINCIPALES CON LA PLACA DE ANCLAJE.

- 1 Para cada uno de los extremos inferiores de los tirantes longitudinales traseros. Los puntos de anclaje se fijarán al chasis usando, como mínimo, 2 uniones roscadas de métrica M8 y calidad ISO 8.8 fijando a una placa de 3,0mm de espesor y área mínima de $60,0\text{cm}^2$

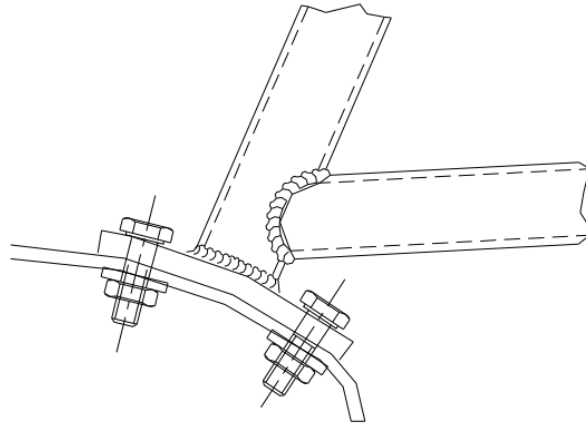


ILUSTRACIÓN 22. ESQUEMA PIE ANCLAJE PARA LOS TIRANTES TRASEROS.

- **PLACA DE REFUERZO:** Placa metálica fijada a la carrocería o al chasis bajo el punto de anclaje. Según lo comentado anteriormente, su área mínima varía entre los $60,0$ y los $120,0\text{cm}^2$ en función del elemento de la estructura de seguridad que una.

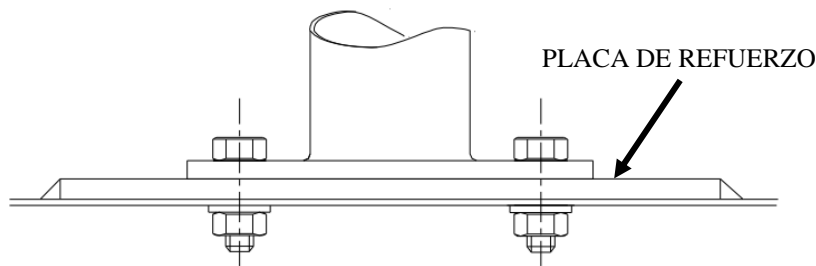


ILUSTRACIÓN 23. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLACA DE REFUERZO.

- **CARTELA:** Es un elemento de refuerzo para las uniones entre arcos fabricado de chapa doblada en forma de “U” de espesor mínimo 1,0mm, sin embargo, por la elevada dificultad que entraña soldar placas de este grosor, se empleará un perfil laminado de espesor 2,0 o 2,5mm. Así, los extremos de dicho elemento de refuerzo (Punto “E”) se situarán a una distancia del punto superior del ángulo (Punto “S”) de entre 2 y 4 veces el diámetro exterior del tubo de mayor grosor unidos.

Con el fin de aligerar el refuerzo, se permite realizar un orificio en el lado plano de la cartela de diámetro no superior al diámetro externo del tubo de mayor diámetro que une. Asimismo, se podrá realizar un corte en la parte superior del ángulo siempre que su radio no supere en 1,5 veces el diámetro externo del mayor de los elementos tubulares.

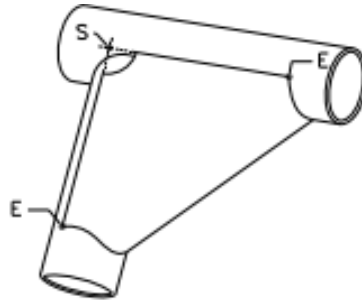


ILUSTRACIÓN 24. RESTRICCIONES DE LAS CARTELAS PERMITIDAS POR REGLAMENTO.

4.2.2 ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS

Las especificaciones geométricas básicas y, a su vez, obligatorias que rigen las estructuras de seguridad se recogen en el Artículo 253-8.3 del Anexo J de la FIA.

4.2.2.1 CONFIGURACIONES BÁSICAS

Existen 3 configuraciones base a partir de las cuales poder desarrollar las estructuras de seguridad finales según el Artículo 253-8.3.1 del Anexo J de la FIA.

- **ESTRUCTURA 1:** Compuesta por 1 arco principal, 1 arco frontal, 2 miembros longitudinales superiores y 2 tirantes longitudinales traseros. Por ello, cuenta con un total de 6 puntos de anclaje.
- **ESTRUCTURA 2:** Constituida por 2 arcos laterales, 2 miembros transversales superiores y, finalmente, por 2 tirantes longitudinales en la parte trasera. De esta forma, cuenta, también con 6 puntos de anclaje.
- **ESTRUCTURA 3:** Definida por un arco principal, 2 semiarcos laterales, un elemento transversal situado en la parte superior y, por último, por 2 tirantes longitudinales traseros. Además, deberán llevar los correspondientes 6 puntos de anclaje.



ILUSTRACIÓN 25. DE IZQUIERDA A DERECHA SE OBSERVA LA ESTRUCTURA BASE 1, LA ESTRUCTURA BASE 2 Y LA ESTRUCTURA BASE 3.

4.2.2.2 REFUERZOS DE OBLIGADA INSTALACIÓN

La estructura base no cumple con los requisitos mínimo de seguridad exigidos actualmente por las autoridades deportivas, por ello debe ser completada con una serie de refuerzos obligatorios recogidos en el Artículo 253-8.3.2.1 del Anexo J de la FIA.

- **TIRANTE DIAGONAL:** El arco principal se reforzará con dos tirantes diagonales completamente rectos. Estos se anclarán en la parte inferior del arco principal a una distancia mínima de 100,0mm del punto de anclaje y, en la parte superior, no podrán distar más de 100,0mm de la unión del arco principal con el tirante posterior.

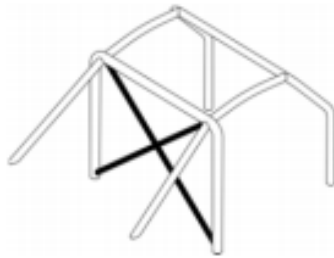


ILUSTRACIÓN 26. EN NEGRO SE OBSERVAN LOS 2 TIRANTES DIAGONALES.

- **BARRAS EN LAS PUERTAS:** La parte lateral delantera del vehículo se deberá reforzar usando elementos longitudinales siguiendo una de las tres configuraciones permitidas.

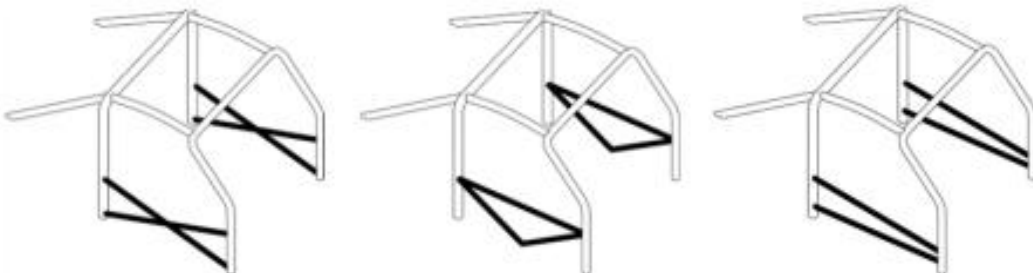


ILUSTRACIÓN 27. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS TRES CONFIGURACIONES PERMITIDAS PARA EL REFUERZO DE LAS PUERTAS.

Los puntos de anclaje de los refuerzos superiores se situarán lo más elevado posible sin sobrepasar, en ningún caso, la mitad de la altura total de la puerta medida desde su base.

En el caso de realizar el refuerzo con la configuración de las barras longitudinales en forma de “X”, uno de los elementos deberá ser una barra de una sola pieza.

En los vehículos preparados para competiciones de rally será obligatoria la instalación de los refuerzos laterales a ambos lados, de forma que se proteja tanto a piloto como a copiloto.

- **REFUERZO DEL TECHO:** La parte superior de la estructura de seguridad se deberá reforzar de acuerdo a una de las 3 configuraciones aceptadas por las autoridades deportivas.

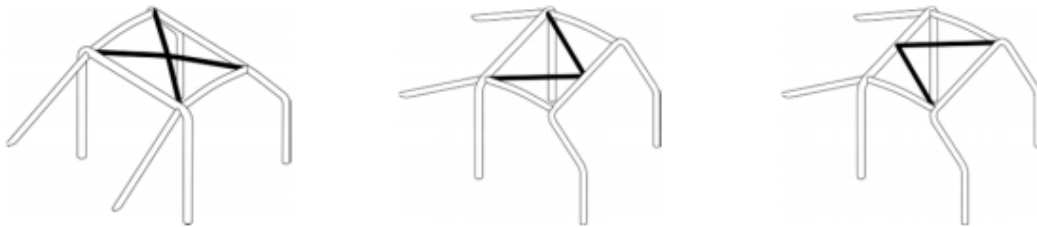


ILUSTRACIÓN 28. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS TRES CONFIGURACIONES PERMITIDAS PARA EL REFUERZO DE LA PARTE SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD.

Según la Normativa, los extremos de los miembros no distarán más de 100,0mm de la unión entre arcos y miembros de la estructura base. Además, en los casos de la Configuración en “V”, si los tubos no se juntan en “V”, la distancia entre ellos no debe ser mayor a 100,0mm en el momento de su unión con el arco o elemento transversal superior.

- **PILAR DE REFUERZO DEL PARABRISAS:** Su montaje es obligatorio cuando la Dimensión “A” es superior a los 200,0mm. Dicho elemento podrá ser curvado con un ángulo no superior a 20° siempre que lateralmente sea un elemento rectilíneo.

La parte superior deberá situarse a una distancia no mayor a 100,0mm de la unión entre el arco delantero y el miembro longitudinal transversal. La parte inferior, en cambio, distará menos de 100,0mm del pie de anclaje del arco frontal.

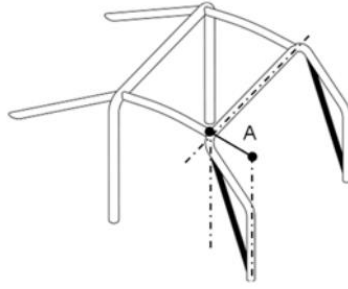


ILUSTRACIÓN 29. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA DIMENSIÓN "A".

- **ÁNGULOS Y UNIONES:** Según el Artículo 253-8.3.2.1.5 del Anexo J de la FIA, será necesario instalar 2 cuartelas de refuerzo en:
 - Uniones entre los miembros diagonales del arco principal.
 - Uniones entre los refuerzos del techo y de las puertas que cuenten con una Configuración en "X".

4.2.2.3 RESTRICCIONES GEOMÉTRICAS EN LAS ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN

Según lo reglamentado en el Artículo 253-8.3.2.5 del Anexo J FIA, en proyección frontal del vehículo, los ángulos y uniones de los elementos superiores de la estructura de seguridad solamente podrán ser visibles si se encuentran dentro de la zona delimitada según la imagen:

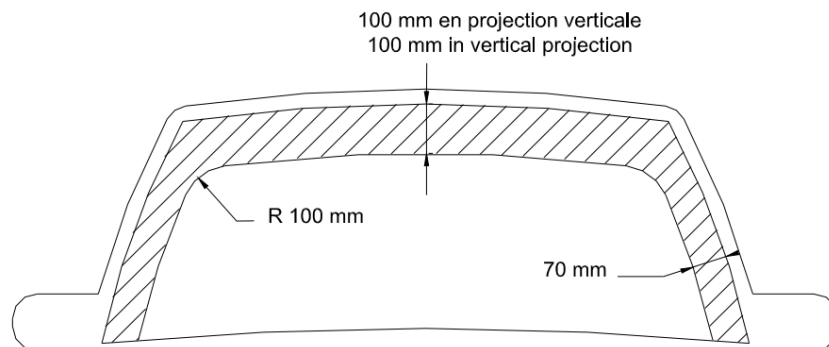


ILUSTRACIÓN 30. LA ZONA SOMBREADA INDICA LA ZONA LÍMITE DE VISIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN SUPERIORES.

Por otro lado, los refuerzos laterales de la estructura en la zona de la puerta deberán respetar las dimensiones estipuladas, según las cuales:

- La dimensión "A" tendrá una longitud mínima de 300,0mm.
- La cota "B" no superará los 250,0mm.
- La cota "C" tendrá un máximo de 300,0mm.
- La altura "E" no superará la mitad de la altura total de la puerta (H) medida, ésta, desde su base.

De esta manera:

$$E = 0,5 \cdot H \quad (1)$$

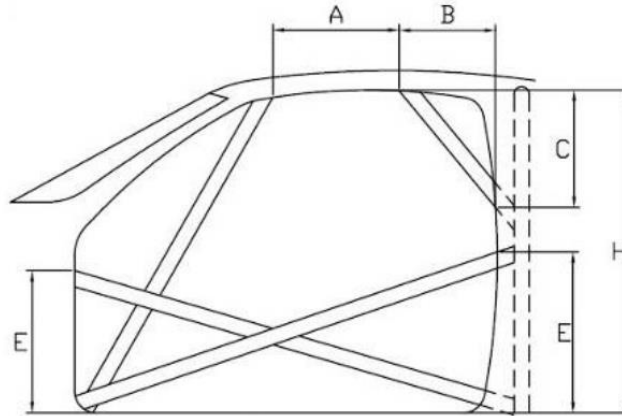


ILUSTRACIÓN 31. DIMENSIONES QUE SE DEBEN RESPETAR PARA OBTENER LA HOMOLOGACIÓN DE LA ESTRUCTURA LATERAL.

4.3 MATERIAL DE DISEÑO

Antes de iniciar el proceso de diseño de la estructura de seguridad resulta necesario definir que material va a ser usado para construirla pues, en el momento de realizar las simulaciones en SolidWorks, es de vital importancia conocer cuáles son sus propiedades mecánicas, de forma que éstas se acerquen lo máximo posible a la realidad y se obtengan resultados que puedan considerarse válidos.

4.3.1 RESTRICCIONES NORMATIVAS FIA APLICADAS AL MATERIAL

El primer paso consiste en estudiar la normativa referente a los materiales que pueden emplearse para la fabricación de las estructuras de seguridad. Ésta, se encuentra redactada en el Artículo 253-8.3.3 del Anexo J aprobado por la FIA.

De esta manera, se empleará un acero al carbono (acero no aleado), con un contenido máximo en peso de C del 0,3% y estirado en frío. Dicho material debe tener una resistencia mínima a la tracción de $350,00 \text{ N/mm}^2$ (MPa).

Para conseguir dichas cualidades mecánicas, por tratarse de un acero no aleado, el contenido máximo de aditivos que puede contener la aleación es de 1,7% en peso de Manganeso (Mn) y del 0,6% en peso para otros elementos químicos.

4.3.1.1 ACERO NO ALEADO

Los aceros son aleaciones Fe-C con concentraciones apreciables de otros elementos, las propiedades mecánicas de los cuales depende en gran manera del % en peso de C que contengan.

Una de las grandes subfamilias que encontramos en los aceros es la de los aceros de baja aleación, que solamente contienen trazas residuales de otros elementos químicos distintos al C. Ésta, a su vez, se divide en tres grandes grupos, los aceros bajos en carbono, los aceros de contenido medio en carbono y los aceros de alto contenido en carbono.

Por las limitaciones impuestas en la normativa, solamente se podrán usar los aceros de bajo contenido en carbono y los de contenido medio, siempre que no se supere el 0,3% en peso de carbono.

- ACEROS BAJOS EN “C”: Este tipo de aceros contienen un 0,25% o menos en peso de C, no responden a ningún tratamiento térmico para la formación de martensita y se endurecen por acritud, mediante conformado en frío. Su microestructura está compuesta por perlita y ferrita, lo que les confiere una ductilidad y tenacidad extraordinarias, pero baja resistencia mecánica al tratarse de aceros blandos.

Estos aceros poseen Resistencias a la Tracción comprendidas entre 415 y 550N/mm².

- ACEROS MEDIOS EN “C”: Contienen entre un 0,25 y un 0,6% de peso en carbono y permiten recibir tratamientos térmicos, como la austenización o el revenido para mejorar ostensiblemente sus propiedades mecánicas.

Los aceros medio pueden incorporar pequeñas cantidades de otros elementos como Cr, Ni o Mo que mejoran ostensiblemente su capacidad de ser tratados térmicamente lo que comporta gran variedad de combinaciones resistencia-ductilidad. Así, se obtienen aceros más resistentes que los aceros bajos en Carbono, pero, a su vez, menos dúctiles.

4.3.1.2 RESISTENCIA A TRACCIÓN

La mayoría de componentes y estructuras metálicas se diseñan bajo la premisa de que solo van a trabajar en condiciones de deformación elástica, es decir, que en cuanto cese la fuerza aplicada la pieza recupere su forma y dimensiones iniciales. Sin embargo, en el caso de las estructuras de seguridad, resulta fundamental conocer cómo será el comportamiento del material cuando trabaje en condiciones de deformación plástica. Por ello, se introduce el parámetro de resistencia a tracción.

La resistencia a tracción es la tensión medida en el punto máximo del Diagrama $\sigma - \epsilon$. Esto es, la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura sometida a esfuerzos de tracción.

Los valores de este punto característico del ensayo de tracción varían desde los 50N/mm^2 (MPa) del aluminio hasta los 3.000N/mm^2 (MPa) de los aceros de alta resistencia.

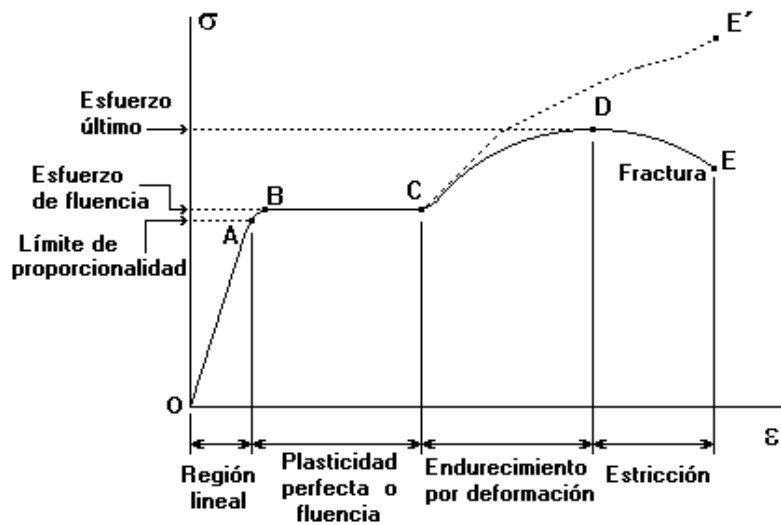


ILUSTRACIÓN 32. DIAGRAMA TENSIÓN-DEFORMACIÓN OBTENIDO MEDIANTE UN ENSAYO DE TRACCIÓN. EL PUNTO "D" SE CORRESPONDE CON EL VALOR DE RESISTENCIA A TRACCIÓN.

4.3.2 ELECCIÓN DE LA ALEACIÓN

Tras analizar las distintas posibilidades permitidas por el Reglamento, básicamente las distintas opciones dentro de la familia AISI 41XX, la aleación que se empleará en el diseño de la estructura de seguridad es el acero AISI 4130, según la Norma ISO el 25CrMo4, perteneciente a los aceros de baja aleación y elevada resistencia conformados en frío.

Este material presenta, según la EN 10083-3-2006, la siguiente composición química en % en peso de cada elemento:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,250	0,250	0,650	0,035	0,040	0,950	0,200

TABLA 1. % EN PESO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ALEACIÓN.

Y las propiedades mecánicas:

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm^2)	950,00
LÍMITE ELÁSTICO (N/mm^2)	600,00
MÓDULO DE YOUNG (N/mm^2)	$212,0 \cdot 10^3$
DENSIDAD (Kg/m^3)	$7,8 \cdot 10^3$
DUREZA BRINELL	237
ELONGACIÓN EN LA FRACTURA (%)	15
REDUCCIÓN ÁREA TRANSVERSAL (%)	60

TABLA 2. PROPIEDADES MECÁNICAS MÁS RELEVANTES DEL 25CrMo4.

4.3.2.1 INFLUENCIA DEL CROMO

El Cromo (Cr) es uno de los elementos de aleación fundamentales en el 25CrMo4, siendo, como bien se ha dicho, su proporción en peso del 0,95%.

Este aleante se encuentra presente en una proporción que varía del 0,3 al 30,0% en peso en aceros y fundiciones grises, con hasta un 2,5% en peso de C. Dicho elemento proporciona un aumento de la dureza y de la resistencia al desgaste de la pieza gracias a la formación de carburo de cromo (Cr_3C_2). Asimismo, mejora la resiliencia del material, definida como la capacidad del material para absorber energía elástica cuando es deformado y, posteriormente, cederla cuando cesa la carga.

Otra ventaja de las aleaciones con cromo es su resistencia frente a la corrosión a causa de una cobertura de óxido de cromo, resistente a procesos de descamación, que se forma al reaccionar el cromo presente en la aleación con el oxígeno del aire.

4.3.2.2 INFLUENCIA DEL MOLIBDENO

El Molibdeno (Mo) es un elemento metálico de transición usado, comúnmente, para dotar de gran dureza y resistencia a la tracción a los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA “High-Strength Low-Alloy”). Se emplea en pequeñas proporciones de peso, que fluctúan desde el 0,08 al 0,35%.

Este elemento proporciona un buen comportamiento frente a procesos de templeado, de forma que se consiguen microestructuras de martensita muy duras y resistentes y, además, consigue mejorar el comportamiento de la aleación a fluencia en caliente (o deformación “Creep”).

4.4 NORMATIVA DE LOS PERFILES

Dependiendo del componente de la estructura de seguridad que se diseñe, la geometría del perfil de acero variará de acorde a los requisitos geométricos mínimos recogidos en el Artículo 253-8.3.3 del Anexo J de la Reglamentación FIA.

De esta forma, se requerirá un perfil con un diámetro mínimo de 45,0mm y un espesor de 2,5mm o un perfil con un diámetro nominal mínimo de 50,0mm y 2,0mm de espesor para los siguientes elementos de la estructura de seguridad:

- Arco principal
- Arcos laterales
- Miembros transversales traseros (Según la Configuración Básica 2). Para los miembros transversales del resto de configuraciones base no es necesario este perfil mínimo.

Por otro lado, será necesario el uso de un perfil de diámetro 38,0mm y espesor 2,5mm o de una configuración geométrica con un diámetro de los perfiles de 40,0mm y un espesor de 2,0mm para los siguientes componentes:

- Semiarcos laterales.
- Otras partes de refuerzo de la estructura de seguridad.

4.5 INDICACIONES PARA LA SOLDADURA

Como el material de elaboración de los perfiles es un acero al Cromo-Molibdeno, el 25CrMo4, se puede aplicar cualquier proceso de soldeo para la materialización de las uniones. No obstante, cuando los elementos a soldar son perfiles circulares huecos, de dicho material, se recomienda emplear un proceso combinado de soldadura.

De esta manera, para cada una de las soldaduras, se elaborará un primer cordón de raíz empleando el proceso TIG (Tungsten Inert Gas) y, seguidamente, se realizarán tantas pasadas de relleno como sean necesarias mediante el método de soldadura SMAW (Soldadura por Arco Manual con Electrodo Revestido).

4.5.1 ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE

En los procesos de soldeo, como norma general, el material de aporte que se utiliza para realizar los cordones debe depositar un metal de características mecánicas y químicas tanto más similares como sea posible en relación a las propiedades que posee el metal base a soldar. Consecuentemente, en procesos donde tanto el metal base que se va a soldar como el otro el elemento de la soldadura se encuentran fabricados empleando la misma aleación, acero 25CrMo4, el metal de aporte será un acero no aleado de las mismas características.

4.5.2 PROCESOS AUXILIARES EN LA SOLDADURA DE PERFILES AL CROMO-MOLIBDENO

Para garantizar unas propiedades óptimas del cordón de soldadura resultante es necesario aplicar una serie de tratamientos térmicos antes, durante y después del soldeo en la zona donde se vaya a trabajar.

4.5.2.1 PRECALENTAMIENTO

Como consecuencia del comportamiento alfégeno que poseen el Cromo y el Molibdeno, se tiende a aumentar la temperatura de transformación eutectoide del acero disminuyendo, así, la zona de fase austenítica. Este comportamiento es debido a la formación de carburos por la reacción química entre los átomos de los elementos de adición y los ya presentes de carbono en el acero.

De este modo, la familia de los aceros al Cromo-Molibdeno posee una fuerte tendencia a sufrir procesos de templabilidad para mejorar sus características mecánicas, tanto mayor como más elevado sea el % en peso de Cromo que posea el acero.

Por ello, un proceso de precalentamiento de la zona de soldadura contribuye a disminuir la velocidad de enfriamiento posterior de la soldadura reduciendo, de esta manera, la dureza del material de aporte y de la ZAT¹ una vez enfriado el cordón de soldadura lo cual previene a la unión de sufrir futuros procesos de fisuración.

Otro beneficio surgido del precalentamiento es una mejora en el proceso de difusión del hidrógeno presente en la soldadura.

Por todo ello, para el proceso de soldadura de perfiles circulares huecos, fabricados en 25CrMo4, se establece una temperatura de precalentamiento, para la zona de trabajo, de 220°C².

4.5.2.2 TEMPERATURA ENTRE PASADAS

La temperatura fijada para el precalentamiento deberá mantenerse durante todo el proceso de soldadura.

De esta manera, entre diferentes pasadas de relleno no se reducirá la temperatura de la zona por debajo de los 220°C puesto que se corre el riesgo de generar, de forma accidental, duras estructuras internas en la zona de la soldadura que disminuyen la resistencia de la soldadura.

¹ La ZAT es la zona del material afectada térmicamente por el proceso de soldadura no perteneciendo la misma a la soldadura, propiamente dicha. Su extensión depende del grado de difusividad térmica que posee el material. Como mayor sea la difusividad del material menor extensión poseerá la ZAT.

² Si se interrumpe el proceso de soldadura por cualquier circunstancia, no se debe reanudar el proceso hasta que se haya vuelto a precalentar la zona de trabajo de forma adecuada.

4.5.2.3 POST-CALENTAMIENTO

Una vez finalizado el proceso de soldadura, se realizará un post-calentamiento de la zona, con una temperatura mínima igual a la temperatura de precalentamiento durante un período de 30 minutos. A continuación, se realizará un proceso de enfriamiento lento y progresivo hasta alcanzar la temperatura ambiente. Este proceso garantiza una reducción de las estructuras duras aparecidas en la zona de soldadura durante el proceso de enfriamiento y, además, mejora el proceso de difusión del hidrógeno.

4.5.3 ENSAYOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

Para garantizar que las propiedades resistentes de la unión son óptimas, se deberá comprobar cada una de ellas a través de dos ensayos.

Primeramente, se realizará una inspección de los defectos del cordón mediante el método por partículas magnéticas. Dicho ensayo permite observar si existen defectos superficiales o sub-superficiales en la continuidad estructural del cordón. Por ello, en caso de observar alguna discontinuidad, se invalidará el proceso de soldeo realizado habiendo, éste, de ser realizado de nuevo.

Si el ensayo mediante partículas magnéticas ha resultado satisfactorio, se procederá a comprobar la resistencia mecánica del cordón y de la zona del metal base próxima a la soldadura a través de un estudio de la dureza del mismo. Para ello, se empleará un ensayo no destructivo de dureza Brinell realizado con un durómetro portátil. Consecuentemente, el ensayo resultará positivo si no se alcanzan valores superiores a 225, lo que indicará una no existencia de estructuras de elevada dureza en su interior.

4.5.4 CORDÓN DE RAÍZ MEDIANTE SOLDADURA TIG

Según lo comentado en la introducción del Apartado 4.5, se realizará un primer cordón de raíz a través de un proceso de soldeo TIG (Tungsten Inert Gas).

La soldadura TIG es un procedimiento por arco bajo atmósfera de gas protectora con electrodo no consumible. Como fuente de energía, emplea el arco eléctrico generado entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar.

4.5.4.1 ELECTRODO CONSUMIBLE

Como el proceso de soldadura TIG es un proceso que no genera escorias ni reacciones químicas a causa de la atmósfera de gas inerte de protección que recubre la zona de la soldadura, se deberá aportar un material que posea una composición química tanto más similar como sea posible a la del metal base a soldar. Por ello, se empleará electrodos consumibles de acero al Cromo-Molibdeno con un % en peso de Cr no superior a 1% ni inferior al 0,8% y, un % en peso de Mo inferior al 0,5%.

4.5.4.2 GAS DE PROTECCIÓN

A causa de la geometría que poseerá el cordón de soldadura realizado, ancho y poco profundo al tratarse de perfiles circulares huecos de espesor inferior o igual a 3,0mm, el gas usado en el proceso TIG será el helio (He) que favorece, por el arco eléctrico generado a causa de su configuración electrónica, la creación de cordones con dichas características geométricas.

4.5.4.3 ELECTRODO NO CONSUMIBLE

La función del electrodo no consumible en el proceso de soldeo es mantener el arco eléctrico sin aportar material al baño de fusión.

Existen 3 tipos de electrodos diferentes, según el material de que estén constituidos, los de tungsteno puro (W), los de tungsteno aleado con torio y los de tungsteno aleado con circonio.

Debido a que el material base de soldadura es 25CrMo4, un acero de baja aleación, como queda recogido en las tablas generadas por la AWS (American Welding Society), el electrodo no consumible empleará la aleación de tungsteno con torio que alcanza temperaturas de fusión superiores a los 4.000°C.

En cuanto a la geometría del extremo del electrodo, deberá poseer una punta afilada en forma de cono con una altura del mismo igual a dos veces el valor de su diámetro.

4.5.4.4 ELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE

Por emplear electrodos no consumibles de tungsteno con torio, se utilizará una fuente de alimentación de corriente continua y se conectará el electrodo no consumible al polo negativo (polaridad directa) soportando, así, elevadas intensidades de corriente y garantizando una buena penetración del material en la unión por soldeo.

4.5.5 PASADAS DE RELLENO MEDIANTE SOLDADURA SMAW

La soldadura por arco manual con electrodos revestidos (SMAW, que significa “Shielded Metal Arc Welding”) se caracteriza porque produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto. De esta manera, con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema su revestimiento, generando una atmósfera que permite la transferencia de metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión.

Asimismo, durante el proceso de solidificación del cordón, a causa del efecto de la tensión superficial y de la viscosidad, la escoria asciende hasta la superficie donde, una vez solidificada, constituye una capa de escoria protectora del baño fundido.

4.5.5.1 ELECTRODO DE APORTACIÓN

Para los procesos de soldadura SMAW que generarán los cordones de relleno de la soldadura, se empleará, según las tablas generadas por la AWS, un electrodo consumible E8018-B2L puesto que posee la composición química más similar a la del material base a soldar.

Para ello, se empleará una fuente de corriente continua con el electrodo conectado al polo positivo.

5 ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

Para realizar el diseño y posterior estudio de las condiciones de trabajo de la estructura de seguridad se emplearán el mismo programa, SolidWorks 2016, que contiene módulos CAD que permiten realizar el modelado estructural inicial y, también, módulos CAE que permiten estudiar el comportamiento del habitáculo de seguridad cuando se encuentra sometido a las solicitaciones recogidas en los Ensayos que rige la FIA para su validación.

5.1 EL SOFTWARE SOLIDWORKS 2016

SolidWorks 2016 es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3 dimensiones (3D) producido por la compañía de software, en 2D y 3D, SolidWorks. De esta manera, el software CAD 3D ofrece todo el conjunto de herramientas necesarias para el modelado en volumen, la simulación de las condiciones de trabajo de la pieza o ensamblaje y la documentación, a través de planos, del producto.

Por ello, el programa SolidWorks se trata de una herramienta ideal para el diseño en detalle de dispositivos mecánicos, estructuras o piezas de alta ingeniería, pues permite validar la aptitud de los prototipos creados a través simulaciones que emplean el método de los elementos finitos.

5.1.1 HERRAMIENTAS CAD

El término CAD (Computer Aided Design) hace referencia a una herramienta que, mediante el uso de una computadora, permite crear, modificar, analizar y optimizar modelos en 2D y 3D, al mismo tiempo que manipular de forma sencilla elementos geométricos complejos.

Existen diversidad de herramientas CAD que pueden agruparse en los siguientes grupos:

- DISEÑO 2D
- DISEÑO 2D/3D
- DISEÑO 3D MEDIO
- DISEÑO 3D AVANZADO.

El programa usado en el proyecto se correspondería con programas encuadrados dentro del Diseño 3D Avanzado. Con ellos es posible trabajar superficies avanzadas y sólidos con formas geométricas complejas. Disponen, además, de gran cantidad de módulos CAE (Computer Aided Engineering) integrados los cuales permiten realizar, una vez terminado el diseño de forma del producto, simulaciones de sus condiciones de trabajo, obteniéndose las tensiones y deformaciones que aparecen en los componentes.

El diseño asistido por ordenador presenta multitud de ventajas frente al proceso tradicional de diseño de componentes:

- Posibilidad de corrección de errores durante la fase de diseño.
- Mayor calidad en los productos a causa de una mayor precisión en su diseño.
- Ahorro de tiempo y mejora de la productividad ante las posibles modificaciones de mejora de la pieza durante su definición,
- Ahorro en ensayos destructivos para comprobar su aptitud. Las condiciones de trabajo se pueden simular mediante módulos CAE añadidos al CAD.
- Precisión en la elaboración de planos con infinidad de posibilidades de cortes, escalas, detalles.
- Acotado de los planos rápido y preciso.
- Posibilidad de representar cortes y secciones en 3D con facilidad.

5.1.2 *HERRAMIENTAS CAE. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (FEM)*

El CAE (Computer Aided Engineering) o Ingeniería Asistida por Ordenador permite, tal y como se ha definido en el Apartado 5.1.2., definir las propiedades de una pieza o conjunto durante su proceso de diseño y, con ello, simular las condiciones a las cuales será sometida durante su funcionamiento. De esta forma, se puede verificar su aptitud sin necesidad de realizar ensayos destructivos que disparen el coste de diseño.

Los módulos CAE se emplean con el fin de recrear diversos aspectos en el comportamiento de las piezas:

- Deformaciones.
- Tensiones.
- Procesos de transmisión de calor.
- Comportamiento vibratorio.
- Simulación del comportamiento de fluidos.

No obstante, para poder realizar estos análisis es imperativo convertir la geometría continua, creada a través de los entornos CAD, en un sistema discreto de puntos que pueda ser usado por los módulos CAE.

De esta manera, se emplea el Análisis por Elementos Finitos (FEA, Finite Element Analysis), basado a su vez, en el Método de Elementos Finitos (FEM, Finite Element Methode) el cual permite realizar una aproximación a las soluciones de las ecuaciones diferenciales parciales que rigen los procesos anteriormente comentados.

El análisis por elementos finitos consta, fundamentalmente, de 3 pasos:

- **PRE-PROCESAMIENTO:** Se realiza la importación de la pieza desde el entorno de diseño CAD para, a continuación, realizar la discretización en un nº finito de elementos de su geometría.

Este proceso se conoce como mallado y de lugar a la división de la pieza en elemento y nodos. Estos últimos representan los puntos en los cuales se realiza el análisis en el comportamiento de la pieza. De esta manera, a mayor número de nodos mejor precisión y exactitud del comportamiento del componente se obtiene durante su simulación.

- **ANÁLISIS:** Se produce la resolución de las ecuaciones de los modelos matemáticos construidos en el módulo del pre procesador.
- **POST-PROCESAMIENTO:** Una vez concluido el proceso de análisis se muestra en imagen los resultados obtenidos en este de forma que el usuario pueda interpretarlos y tomar las decisiones que crea oportunas, dando por válido el sistema analizado o realizando modificaciones para mejorar el comportamiento de los componentes.

El estudio del comportamiento de las piezas a través del análisis finito acarrea numerosos beneficios:

- Reducción coste de diseño.
- Predicción del comportamiento de los sistemas estudiados sin necesidad de realizar prototipos ni ensayos destructivos.
- Productos de mayor calidad.
- Realizar productos que requieran de elevada precisión.

5.2 ENSAYOS DE CARGA ESTÁTICA SOBRE LA ESTRUCTURA

Para comprobar la resistencia estructural del habitáculo de seguridad diseñado será necesario aplicar una serie de sollicitaciones al entramado estructural y verificar, así, que cumple con las exigencias de las ADNs.

Por ello, antes de proceder a la simulación de ninguna estructura, resulta necesario definir el valor de la fuerza, su dirección de aplicación y los rangos máximos de deformación permitidos, así como la geometría de la prensa mediante la cual se aplicará dicha carga sobre la estructura.

En total se aplicarán dos cargas distintas mediante el empleo de una prensa hidráulica. De esta manera, la estructura de seguridad será homologable siempre que las deformaciones máximas experimentadas por ésta se mantengan dentro de los límites establecidos y, en ningún punto, la tensión de Von Mises sea superior a la tensión de rotura del material.

5.2.1 ENSAYO 1. CARGA ANGULAR SOBRE EL ARCO FRONTAL

La primera carga que se aplicará sobre la estructura es la referente al ensayo angular sobre el arco frontal. Para ello, se simulará la acción de la fuerza (F_A):

$$F_A = 35 \cdot W \quad (2)$$

Donde (W) representa la masa del vehículo más un incremento de 150Kg. Por ello, sabiendo que el peso de nuestro vehículo es de aproximadamente 750Kg, la fuerza (en kN) que se deberá aplicar será de:

$$F_A = 35 \cdot (750 + 150) \quad (3)$$

$$F_A = 31,5 \text{ kN} \quad (4)$$

Para la aplicación de la carga sobre el perfil tubular se empleará una prensa con las siguientes características geométricas:

- LONGITUD: Tendrá una longitud mínima de 450,0mm con una margen de tolerancia de $\pm 50,0$ mm.
- ANCHURA: Contará con un ancho total de 250,0mm.
- ESPESOR: La prensa deberá contar con un grosor mínimo de 40,0mm.
- RADIO ENTALLA: Para lograr un buen contacto entre ambos elementos, arco principal y prensa, la entalla realizada en este último componente deberá ser de 20,0mm con una tolerancia dimensional de $\pm 5,0$ mm.

La disposición geométrica de la prensa sobre la estructura deberá realizarse de acorde a las disposiciones siguientes:

- Deberá mantenerse en la zona de intersección entre el arco frontal y el miembro longitudinal o en la unión del arco o semiarcos laterales con los miembros transversales de la estructura.
- El eje longitudinal de la prensa deberá formar un ángulo (α) de $5^\circ \pm 1^\circ$ de tolerancia con el plano horizontal de la estructura.
- El eje transversal de la prensa se dispondrá de manera que forme un ángulo (β) de $25^\circ \pm 1^\circ$ con el plano horizontal, pero direccionado hacia el exterior del habitáculo.

Tras la simulación de la carga, se considerará como deformación admisible aquella que posea una flecha, en la dirección de aplicación de la carga, menor a 100,0mm.

5.2.2 ENSAYO 2. CARGA VERTICAL SOBRE EL ARCO PRINCIPAL

La siguiente sollicitación que se simulará corresponde al ensayo vertical sobre el arco principal. De esta manera, durante la simulación se aplicará una carga (F_V):

$$F_V = 75 \cdot W \quad (5)$$

Como el valor de (W) permanece constante, pues es la suma de una especificación técnica de origen del vehículo y de una constante de masa (150Kg) que no varía de un ensayo a otro, el valor de la sollicitación (en kN) a aplicar es de:

$$F_V = 75 \cdot (750 + 150) \quad (6)$$

$$F_V = 67,5 \text{ kN} \quad (7)$$

Con el fin de poder aplicar de forma correcta la carga, se empleará una prensa de idéntica anchura y espesor a la usada en el Ensayo 1 pero de longitud igual a la longitud transversal del arco principal más un incremento de 100,0mm.

Además, se aplicará en dirección descendente y completamente perpendicular al plano horizontal de la estructura por su parte superior.

Dicho ensayo se considerará satisfactorio si la deformación máxima en la dirección de aplicación de la carga no produce flechas superiores a 50,0mm.

6 DISEÑO INICIAL

6.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA INICIAL

En este apartado se definirán las configuraciones estructurales escogidas, de entre las múltiples opciones permitidas por la FIA, para empezar con el diseño del habitáculo de seguridad.

6.1.1 ESTRUCTURA DE SEGURIDAD BASE

Para comenzar con el proceso de creación del diseño inicial hay que definir la estructura base, de acorde a una de las tres posibilidades recogidas en el apartado 4.2.2.1, que se empleará como punto de partida.

De esta forma, se usará la Estructura Base 3 que consta de:

- 1 Arco principal.
- 2 Semiarcos laterales.
- 2 Tirantes longitudinales traseros.
- 1 Tirante transversal en la parte frontal.

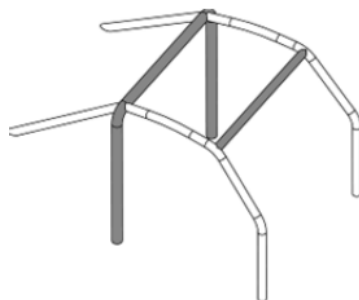


ILUSTRACIÓN 33. CONFIGURACIÓN BASE ESCOGIDA COMO PUNTO DE PARTIDA DEL DISEÑO.

6.1.2 ELEMENTOS DE REFUERZO OBLIGATORIOS

Tal y como queda recogido en el Artículo 253-8.3.2.1, la estructura base deberá contar con una serie de refuerzos obligatorio que se incluirán ya en el primer diseño de la estructura de seguridad. Dichos elementos son:

- 2 Tirantes diagonales que trabajen como refuerzo del arco principal de la estructura.
- 2 Barras de refuerzo lateral en las puertas. Éstas, se dispondrán tal y como



ILUSTRACIÓN 34. SITUACIÓN ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS DE REFUERZO LATERALES.

se observa en la imagen:

- 2 Tirantes diagonales en la zona superior del vehículo de manera que éstos formen una cruz. Una de las barras será una sola pieza mientras que la otra se dividirá en dos tramos diferentes para permitir el cruce de ambos elementos.

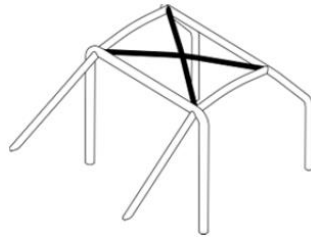


ILUSTRACIÓN 35. CONFIGURACIÓN ELEGIDA DE LOS REFUERZOS SUPERIORES.

- Refuerzo del pilar frontal del semiarco lateral.

6.2 PROCESO DE DISEÑO GRÁFICO

6.2.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE

En este apartado se definirá el proceso de creación del diseño base de la estructura de seguridad, es decir, aquel que contenga solamente los elementos estructurales de obligado montaje.

Primeramente, se deberá crear un nuevo archivo con extensión “.prt”, que permita realizar geometrías en 3D. Para ello, se debe seleccionar la opción “Nuevo” que aparece en la barra de herramientas superior y, a continuación, “Pieza”.

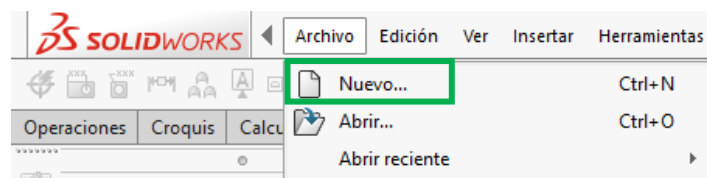


ILUSTRACIÓN 16. LOCALIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA "NUEVO DOCUMENTO".

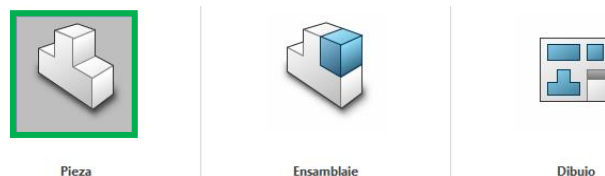


ILUSTRACIÓN 17. ICONO QUE PERMITE CREAR UN NUEVO ARCHIVO DE PIEZA.

El siguiente paso consiste en definir el sistema de referencia (S.R.) que se empleará durante el proceso constructivo, el cual, por tratarse de una estructura tridimensional, constará de los ejes X, Y, Z.

6.2.1.1 GEOMETRÍA DEL ARCO PRINCIPAL

El primer componente que se definirá es el arco principal el cual estará situado justo detrás del respaldo de los bacquets.

Para su creación, una vez orientado el S.R., se seleccionará la herramienta de diseño “Croquis 3D”, que permitirá esbozar diseños en 3D definiendo, de este modo, el recorrido que sigue el arco principal.

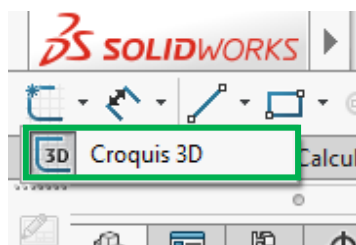


ILUSTRACIÓN 18. ICONO DE LA HERRAMIENTA DE DISEÑO "CROQUIS 3D".

Para realizar el recorrido que definirá la geometría del arco principal, se empleará la opción “Punto” que aparece en la barra de herramientas principal. Dicho comando permite situar un punto y, seguidamente, definir su situación espacial modificando sus coordenadas.



ILUSTRACIÓN 19. ICONO DEL COMANDO "PUNTO".

De esta forma, cuando aparezcan en imagen los puntos definidos en el documento de Excel abierto, se usará la opción “Línea” para unirlos y crear un primer recorrido base.

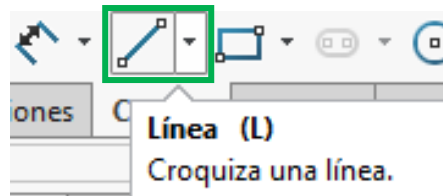


ILUSTRACIÓN 20. UBICACIÓN DE LA HERRAMIENTA "LÍNEA".

A continuación, se debe crear los radios de curvatura de los perfiles para amoldar el diseño a la normativa existente, pues los cambios de dirección no pueden quedar en forma de canto vivo, sino que deberán realizarse mediante curvaturas, con un radio mínimo de 3 veces el diámetro del perfil. Por ello, se empleará la herramienta “Redondeo de Croquis” y, como el diámetro es de 45,0mm, el radio que se establece es

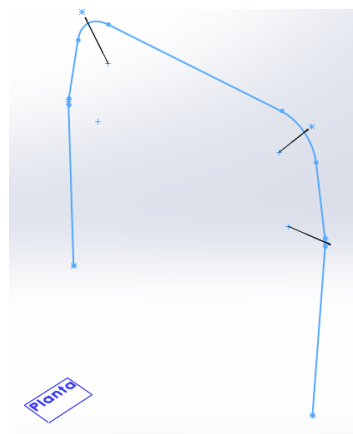


ILUSTRACIÓN 21. RECORRIDO BASE DEL ARCO PRINCIPAL.

de 135,0mm.

En este momento, se deberá definir la sección transversal del componente, la cual corresponderá con una sección circular hueca de dimensiones (45,0 x 2,0mm). El primer paso consistirá en introducir un plano de trabajo auxiliar, perpendicular a la base del boceto anterior, mediante el comando “Plano” sobre el cual se crea un nuevo boceto. Seguidamente, se creará la sección usando la herramienta “Círculo” y acotando correctamente, teniendo cuidado a la hora de introducir los valores, pues el valor especificado se corresponderá con el radio y no con el diámetro, como ocurre con otros programas como Autodesk Inventor.

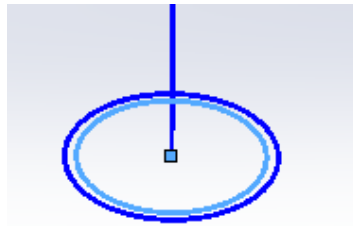


ILUSTRACIÓN 22. DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PERFIL.

El siguiente paso a realizar es dotar de volumen a la pieza. Para ello se empleará una operación de “Base Barrido”. Este comando, emplea una sección transversal, como referencia de contorno y, un recorrido como base para el barrido.

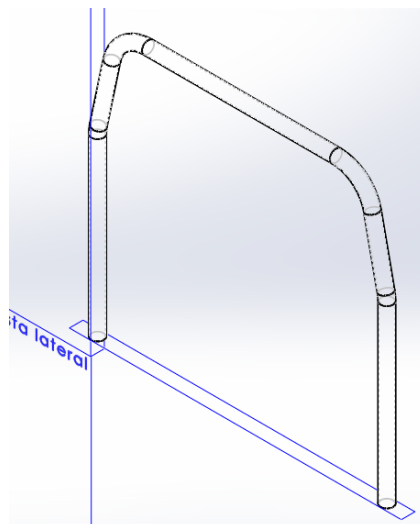


ILUSTRACIÓN 23. ASPECTO FINAL DEL PERFIL, UNA VEZ DOTADO DE

6.2.1.2 GEOMETRÍA DE LOS SEMIARCOS LATERALES

El proceso constructivo seguido para elaborar los semiarcos laterales es idéntico al seguido con el arco principal de la estructura de seguridad.

Primeramente, se selecciona la opción “Croquis 3D” y, seguidamente, se introducen los puntos base del perfil que seguirán estos elementos mediante el comando “Punto”. Destacar que el punto superior final no llegará hasta el arco principal con el objetivo de evitar una inclusión de una pieza sobre otra, lo cual produciría posteriores errores de simulación debido a errores en las uniones de los elementos.

El siguiente paso consiste en unir los puntos y redondear los vértices con un radio de curvatura de 125,0mm pues, ahora, el perfil empleado es más pequeño siendo, éste, de 40,0 x 2,0mm. De esta manera, el radio mínimo que podría usarse es de 120,0mm, sin embargo, para crear una concentración menor de tensiones en dichas uniones, debido a que se trata de uno de los componentes más críticos, se ha preferido aumentar en 5,0mm dicho radio de unión.

Una vez terminado el Boceto 3D, se procede a realizar la sección transversal de ambos elementos de igual forma que en el arco principal. Por ello, se creará un plano auxiliar de trabajo perpendicular, en su base, al perfil del semiarco lateral definido. Sobre dicho plano, se dibujará una circunferencia de 40,0mm usando el comando “Círculo”.

Finalmente, se realizará una operación de barrido para dotar de volumen a la pieza.

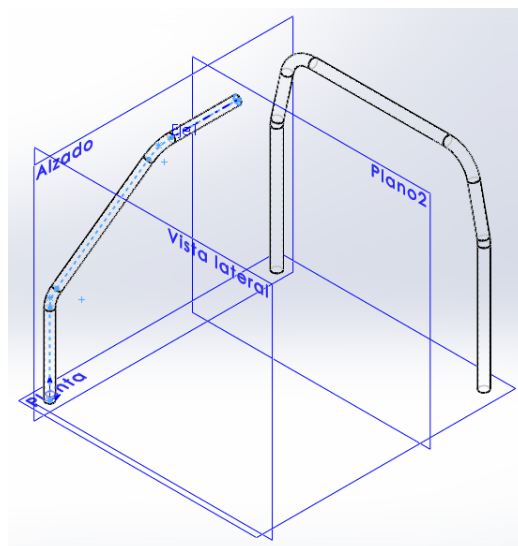


ILUSTRACIÓN 24. ASPECTO DEL SEMIARCO LATERAL PREVIA A SU FINALIZACIÓN POR EXTRUSIÓN.

Sin embargo, aún queda por realizar la unión entre el semiarco lateral y el arco principal. Para ello, se compartirá el Croquis 2D que define la sección transversal del semiarco lateral y se definirá una operación de “Extrusión”. Una vez seleccionado el

comando de extrusión, se define el perfil base del cual partirá el barrido y, a continuación, los dos cuerpos o sólidos que unirá la operación.

El resultado final de el proceso es la perfecta unión de las dos piezas tubulares, sin interferencia ninguna entre ellas.

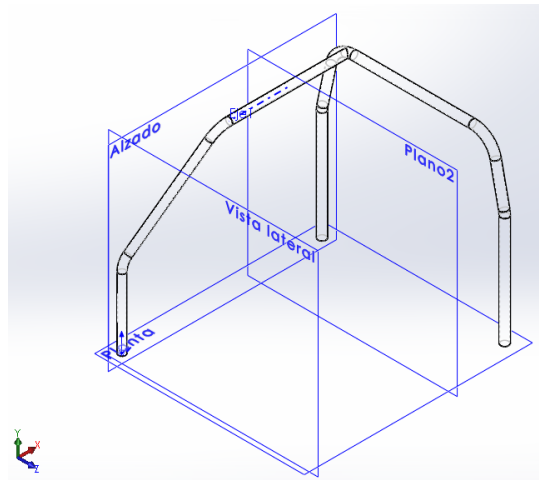


ILUSTRACIÓN 25. RESULTADO FINAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN SEMIARCO LATERAL.

Para realizar el semiarco lateral complementario se procede de forma idéntica. Así, una vez terminados los 2 semiarcos laterales, el conjunto actúa como una sola

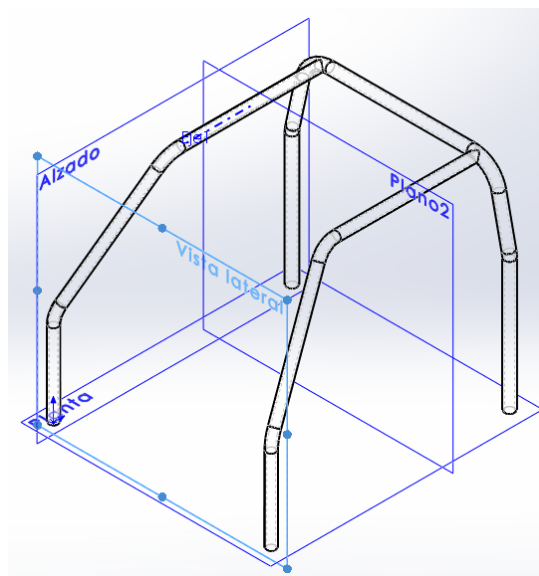


ILUSTRACIÓN 26. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA CON AMBOS SEMIARCOS LATERALES GENERADOS.

pieza.

6.2.1.3 GEOMETRÍA TIRANTE TRANSVERSAL FRONTAL

El tirante transversal frontal actúa como elemento de refuerzo de la parte frontal superior de la estructura de seguridad. Éste, evita que se produzca un pandeo excesivo en los pilares verticales frontales de los semiarcos laterales cuando hay un vuelco y, a su vez, una deformación lateral excesiva de los mismos en caso de impacto en el costado del vehículo.

Para su creación se procederá de la siguiente forma:

1. Crear un plano de trabajo auxiliar, paralelo al plano “Alzado” el cual se encuentre entre los dos semiarcos laterales, de forma que permita crear la sección transversal del tirante transversal frontal.

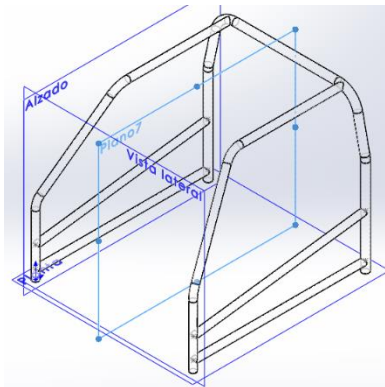


ILUSTRACIÓN 27. LOCALIZACIÓN DEL PLANO AUXILIAR DE TRABAJO (PLANO 7).

2. Iniciar un Croquis 2D sobre el plano de trabajo auxiliar recién creado.
3. Definir, mediante el comando “Círculo”, la sección circular hueca de la barra de dimensiones 40,0 x 2,0mm.
4. Con la sección bien definida, se procede a realizar la extrusión de la pieza hasta los dos sólidos contiguos.

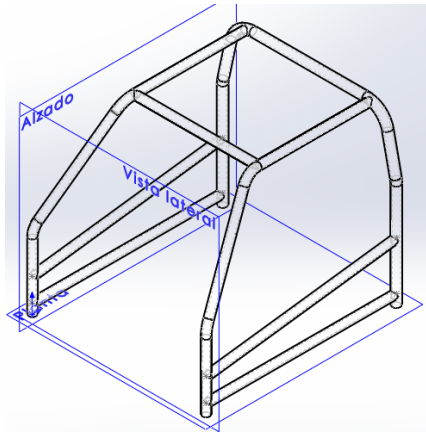


ILUSTRACIÓN 28. SEMBLANTE DE LA ESTRUCTURA CON EL NUEVO REFUERZO FRONTAL SUPERIOR.

6.2.1.4 GEOMETRÍA DE LOS REFUERZOS LATERALES.

Los tirantes longitudinales laterales de ambos lados se realizan de forma idéntica, de forma que se procederá a explicar la creación de los elementos de refuerzo laterales de un solo lado.

El primer elemento que se definirá es el refuerzo lateral inferior. Para ello, se realiza un “Croquis 3D” que permita incorporar los 2 puntos base que definen los extremos de la barra y, seguidamente, se usa la herramienta “Punto” que permite situarlos a su cota correspondiente respecto al conjunto general de la estructura.

Una vez terminado el Croquis 3D, se procede a colocar el plano auxiliar de trabajo. Puesto que ya se dispone del Plano Auxiliar 2, no resulta necesario introducir un nuevo plano. Sin embargo, para poder referencia correctamente el punto de intersección entre el plano y la barra, se añade un eje de trabajo auxiliar que une los dos puntos de referencia.

A continuación, se crea un Croquis 2D con la sección circular de 40,0 x 2,0mm que tiene el refuerzo.

Seguidamente, cuando se haya validado el croquis de la sección transversal de la barra se procede a dotar de volumen a la barra mediante un proceso de extrusión, siendo el punto de partida la sección definida en el Croquis 2D y realizando una doble extrusión, asimétrica, hasta las caras de los dos sólidos de los extremos

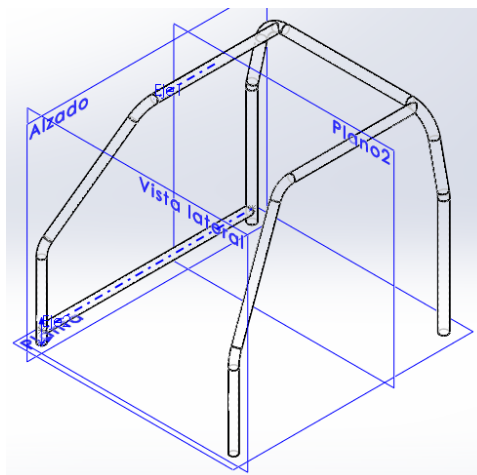


ILUSTRACIÓN 29. CREACIÓN DE LA BARRA INFERIOR DEL REFUERZO LATERAL.

Para realizar la barra superior del refuerzo lateral se procede de forma análoga al refuerzo inferior creando, en primer lugar, el Croquis 3D con los puntos extremos.

El siguiente paso consiste en hacer pasar el eje auxiliar de trabajo coincidente con la geometría de la barra para, así, poder introducir un plano de trabajo auxiliar, perpendicular a dicho eje. A dicho plano de trabajo se le añadirá otro con un desfase, arbitrario, de 500,0mm que permita situarlo entre los dos pilares verticales, el del semiarco lateral y el correspondiente al arco principal, el cual ayude a definir la sección para la posterior extrusión asimétrica.

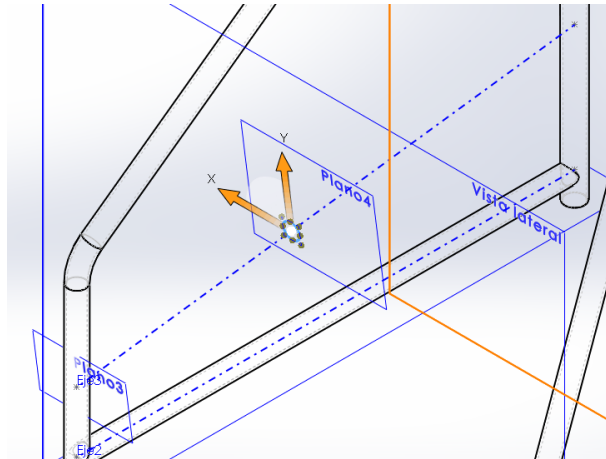


ILUSTRACIÓN30. DISPOSICIÓN ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS DE APOYO PARA EL DISEÑO.

Finalmente, se procede a realizar la extrusión de la barra seleccionando como perfil base el Croquis 2D de la sección y, realizando una extrusión hasta los dos sólidos contiguos.

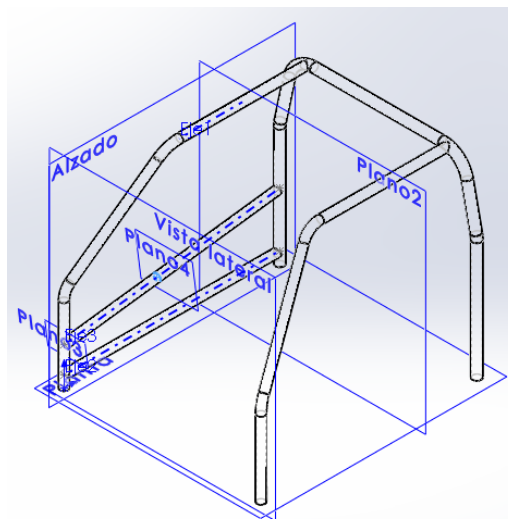


ILUSTRACIÓN 31. APARIENCIA FINAL DEL REFUERZO DE UN LATERAL TERMINADO.

Una vez repetido el mismo proceso en el lado opuesto de la estructura de seguridad, se obtiene el resultado siguiente.

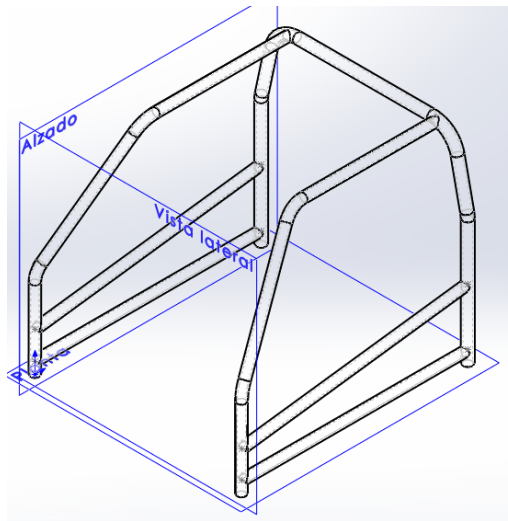


ILUSTRACIÓN 32. CONFIGURACIÓN FINAL UNA VEZ REALIZADOS AMBOS REFUERZOS LATERALES.

6.2.1.5 GEOMETRÍA DEL REFUERZO SUPERIOR.

Los refuerzos superiores del habitáculo de seguridad proporcionan un aumento de la rigidez de la estructura en caso de vuelco y, también, en caso de impacto lateral, evitando una deformación excesiva de los semiarcos laterales en dirección a la posición de los ocupantes.

Para su realización se ha elegido una configuración en “X” de forma que las uniones de los tirantes transversales se unen al arco principal en el mismo punto que los semiarcos laterales y a los semiarcos laterales en la misma unión que el tirante transversal frontal.

El proceso para realizar la geometría comienza con la introducción de los 2 puntos de referencia base que definirán una de las dos barras, en este caso, la que actúa como un sólido único no partido en el Croquis 3D. Se debe destacar que, debido a su geometría, uno de los refuerzos en “X” se encontrará partido en 2 sub-piezas para poder proceder a su instalación. Por ello, la FIA especifica que una deba ser un sólido único.

A continuación, se introduce un eje de trabajo que una los dos puntos y, seguidamente, igual que en los refuerzos laterales superiores, se coloca un plano de trabajo auxiliar, perpendicular al eje y, se desfasa con el objetivo de situarlo en un punto medio de lo que será el futuro refuerzo.

Así, cuando se hayan definido las geometrías empleando “Croquis 2D” y la herramienta “Círculo”, siguiendo el mismo procedimiento que en el resto de elementos explicados en apartados anteriores.

Finalmente se realizará una extrusión que dote de volumen a la barra.

Para crear la dos semibarras que completarán el refuerzo, se colocan con un Croquis 3D los dos puntos que funcionarán de referencia para el eje de trabajo auxiliar y, seguidamente con el eje ya colocado, se sitúa un primer plano auxiliar, perpendicular al eje y, seguidamente, se realizan dos desfases, para crear las secciones de las dos semibarras.

Para terminar, con la operación “Extruir Saliente/Base”, se dota de volumen a las barras.

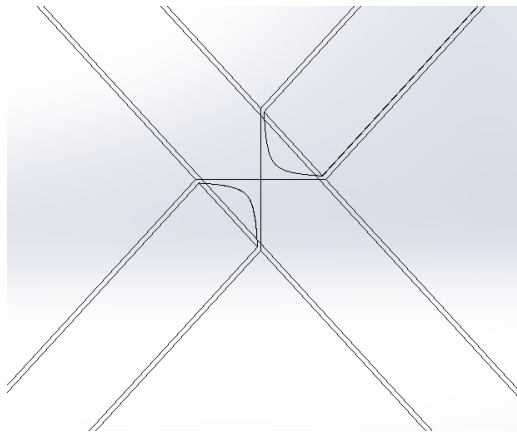


ILUSTRACIÓN 33. SE OBSERVA COMO UNA DE LAS DOS BARRAS DEL REFUERZO ESTÁ CONSTITUIDA POR UNA SOLA PIEZA.

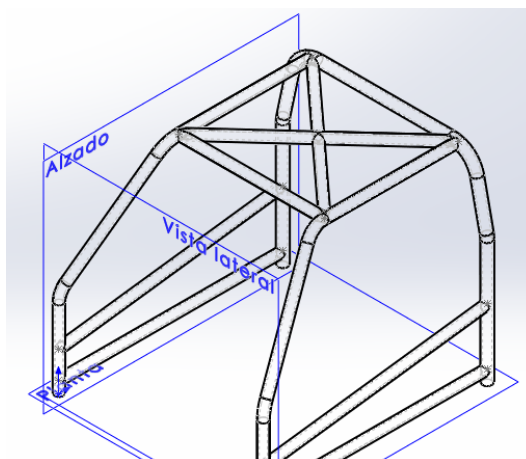


ILUSTRACIÓN 34. DISPOSICIÓN FINAL DEL REFUERZO EN "X" DE LA PARTE SUPERIOR DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD.

6.2.1.6 CREACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE Y LOS TIRANTES LONGITUDINALES TRASEROS

El diseño de los puntos de anclaje y los tirantes traseros es un proceso conjunto que permite delimitar correctamente la forma y longitud de los refuerzos traseros.

Primeramente, se realizarán los 4 puntos de anclaje delanteros, es decir, los correspondientes a los semiarcos laterales y al arco principal. Para ello, se empleará como plano de trabajo el llamado “Planta” que nos aparece por defecto al iniciar el diseño.

Sobre dicho plano, se crea un Croquis 2D que contiene la geometría de los 4 puntos de anclaje delanteros con la herramienta de trabajo “Rectángulo de Centro” y “Cota inteligente”. Cada uno de los puntos de anclaje tiene las dimensiones:

- EJE X: 140,0mm
- EJE Z: 87,0mm

El siguiente paso, consistirá en realizar los procesos de voluminado de los anclajes empleando la opción “Extruir Saliente/Base” definiendo, así, un espesor de la placa de 3,0mm en dirección (-Y).

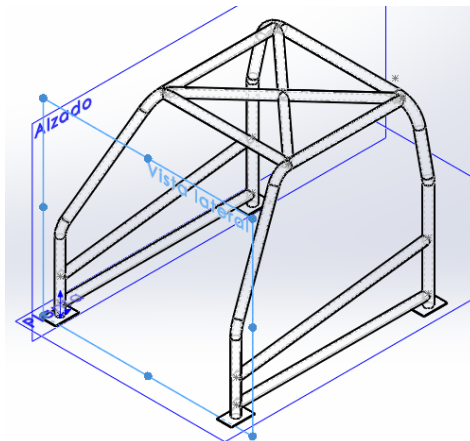


ILUSTRACIÓN 55. ESTRUCTURA CON LOS PUNTOS DE ANCLAJE DELANTEROS Y CENTRALES, TODOS ELLOS, DE IDÉNTICAS DIMENSIONES.

Ahora, se sitúa un nuevo plano de trabajo, paralelo al plano “Planta” y que contenga a los puntos que definen la parte inferior de los tirantes longitudinales traseros.

Con el plano auxiliar de trabajo ya situado, se procede a definir la geometría de los puntos de anclaje de los elementos de refuerzo traseros de la estructura de seguridad siguiendo el mismo proceso que con los puntos de anclaje delanteros.

Como siguiente operación, en los dos puntos inferiores de los tirantes traseros, se introducirá un plano paralelo al Plano “X-Z” sobre el cual poder dibujar la geometría de los puntos de anclaje que, para estos elementos de refuerzo, contarán con las dimensiones:

- EJE X: 115,0mm

- EJE Z: 70,0mm

De igual forma que con los puntos de anclaje delanteros, se realizará una extrusión en la dirección (-Y) con un espesor de 3,0mm.

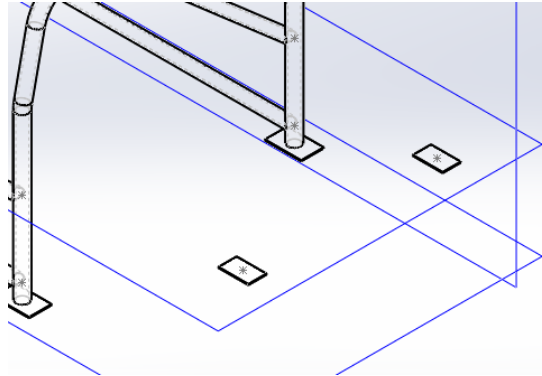


ILUSTRACIÓN 56. SITUACIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE DE LA ZONA TRASERA DE LA ESTRUCTURA.

Una vez definidos los puntos de anclaje traseros, se agregarán 2 ejes de trabajo auxiliares, uno para cada tirante que permitan introducir 2 planos de trabajo perpendiculares a ellos que se emplearán para definir la sección transversal de los refuerzos usando sendos “Croquis 2D”.

Finalmente, se realizará 2 extrusiones asimétricas que unan los pies de anclaje con la parte superior del arco principal.

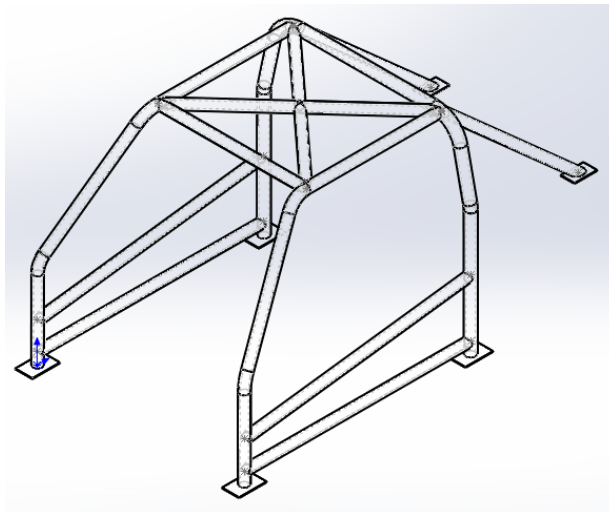


ILUSTRACIÓN 57. SEMBLANTE FINAL DEL HABITÁCULO CON LOS TIRANTES LONGITUDINAL TRASEROS INSTALADOS.

6.2.1.7 DEFINICIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Antes de proceder a realizar el ensamblaje de la prensa y la estructura y su posterior simulación, se deberá especificar el material que se empleará en la construcción de la estructura de seguridad.

Para ello, se pulsará con el botón derecho del ratón sobre “Material <sin especificar>” y, seguidamente se seleccionará la opción “Editar Material”. Una vez dentro del menú se elige la opción “Materiales Personalizados” para, a continuación, definir las propiedades mecánicas del material.

Aunque el programa SolidWorks, dentro de la opción “Acero (No Aleado)” de la libreta de materiales DIN, ofrece la posibilidad de introducir directamente el 25CrMo4 no se escogerá dicho material para el análisis. Esto es debido a que sus propiedades mecánicas definidas no se corresponden exactamente con las del material, siendo su resistencia a la tracción y su límite elástico inferiores a los valores reales.

6.3 PROCESO DE SIMULACIÓN

El proceso de simulación mediante el método de los elementos finitos que se realiza con la extensión de Simulación de Análisis Estático, incorporada en SolidWorks 2016, es la que permite verificar la aptitud o no de la estructura de seguridad diseñada, antes de su implantación en el vehículo.

6.3.1 ENSAYO 1.

6.3.1.1 MODELADO DE LA SIMULACIÓN

La definición del Modelo antes de realizar su análisis es un proceso fundamental en vistas a conseguir unos resultados fiables, puesto que una elección errónea de las condiciones de contorno y del modelado del ensayo llevaría a una falsedad en los resultados y, con ello, no se estaría simulando de forma correcta el ensayo parametrizado por la FIA, que es el que permite validar las estructuras de seguridad.

Este ensayo puede ser modelado de 3 formas principalmente:

- **MODELADO 1:** Colocar una fuerza puntual de 31.500 N, según la dirección descrita en la Normativa de la FIA, que actúe en el vértice, resultado de la unión de la barra transversal superior con el semiarco lateral.
- **MODELADO 2:** Aplicar la fuerza sobre una prensa dispuesta geoméricamente como se describe en la presentación del ensayo y que sea ésta la que transmita las cargas a la estructura.

- **MODELADO 3:** Disponer una fuerza uniformemente repartida por toda la superficie de la dobladura superior del semiarco lateral, superficie donde se produce la unión de los elementos de refuerzo laterales y superiores, según la dirección aproximada a la descrita en las condiciones del ensayo.

La primera opción, aunque no presente mayores inconvenientes a primera vista, no permite ser simulada. Como se ha descrito, la zona de aplicación de la fuerza sería el vértice de unión entre dos elementos tubulares. No obstante, cuando se procede a colocar la carga en SolidWorks se comprueba que el programa no acepta un vértice como zona de aplicación.

Por otro lado, los resultados obtenidos, si se usara esta primera configuración de modelado, no serían válidos pues la carga, al estar aplicada en un punto infinitamente pequeño, actuaría como un concentrador de tensiones obteniéndose así valores mucho mayores en dicha zona a los que en realidad se obtendrían en un ensayo destructivo convencional.

El proceso de Modelado 2, por simular el proceso real del ensayo destructivo, es el que proporciona unos resultados más acurados y, por tanto, el que debería ser usado para simular el habitáculo de seguridad. Sin embargo, por la configuración geométrica que este presenta no resulta posible conseguir una unión correcta entre la prensa y la estructura, debido a los ángulos (α) y (β) descritos en el Apartado 5.2.1. Esto obliga a subdividir el Ensayo en 2 pruebas individuales de forma que resulta mucho más difícil interpretar los resultados obtenidos.

Por ello, el sistema de modelado que se empleará es el Modelado 3 el cual, aun sin realizarse al 100% como estipula la Normativa FIA, pues solamente se orientará la fuerza los 25° que marca el ángulo (β), permite obtener resultados muy cercanos a los que serían obtenidos mediante un ensayo destructivo, pudiendo comprobarse, de esta manera, con el comportamiento de la Estructura con exactitud.

6.3.1.2 PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El proceso de simulación de este ensayo no requiere de la creación de un Ensamblaje, de forma que el primer paso consistirá en abrir el documento donde se encuentra la estructura base a simular.

A continuación, con la ayuda de la herramienta “Geometría de referencia”, se coloca un plano de trabajo auxiliar orientado con un ángulo de 25° respecto al plano “Planta” y se selecciona la opción “Invertir Equidistancia”.

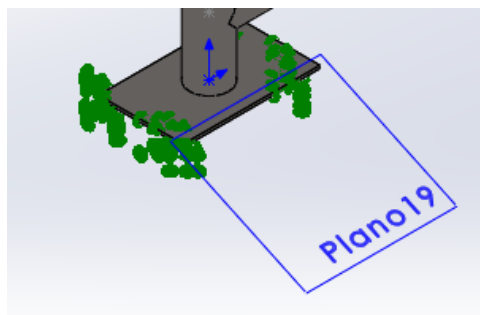


ILUSTRACIÓN 58. DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA QUE DEBERÁ POSEER EL PLANO DE TRABAJO AUXILIAR RESPECTO A CUALQUIERA DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE.

Cuando se dispone de dicho plano, se procede a realizar la Simulación. Para ello, se selecciona la opción “Simulation” que se encuentra en la parte superior del menú de herramientas y, una vez seleccionada la pestaña “Estudio”, se define un “Análisis Estático”.

Una vez desplegado el nuevo menú de la simulación hay que definir como son las condiciones de contorno que influirán en el ensayo.

- **SUJECIONES:** Como el ensayo debe representar de la manera más fiel las condiciones de trabajo de la estructura y, ésta, irá soldada y, a su vez, unida mediante uniones roscadas a la carrocería, las sujeciones que se deben definir son 6 Geometrías Rígidas, una en cada uno de los 6 puntos de anclaje que posee el habitáculo de seguridad.

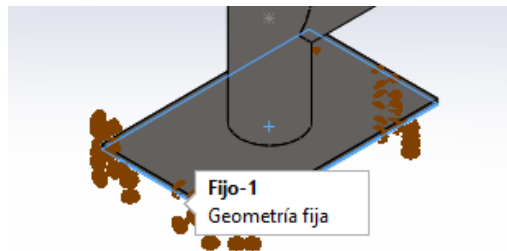


ILUSTRACIÓN 59. REPRESENTACIÓN VISUAL QUE DEBERÁ POSEER LA GEOMETRÍA SI HA SIDO PARAMETRIZADA DE FORMA CORRECTA.

- **CARGAS:** La carga, como se ha comentado anteriormente, será una Fuerza, uniformemente distribuida por la superficie de la doblez superior del Semiarco Lateral, con un valor de 31.500 N. Para aplicarla se selecciona, en primer lugar, la cara donde actuará y, a continuación, se elige la opción “Dirección Seleccionada” que nos obligará a seleccionar una referencia, la cual será el Plano Auxiliar creado anteriormente. Finalmente, se indica que la fuerza tendrá una dirección “Perpendicular” al plano de referencia.

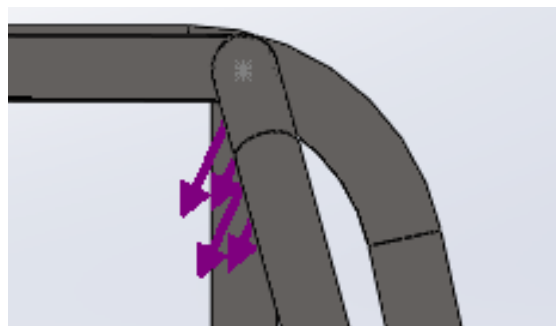


ILUSTRACIÓN 60. ORIENTACIÓN QUE DEBERÁ POSEER LA CARGA INTRODUCIDA SI EL PROCESO HA SIDO EJECUTADO DE FORMA CORRECTA.

- **MALLA:** Para realizar el mallado de la pieza se selecciona la opción “Crear Malla” y, seguidamente, se elige la opción “Malla Basada en Curvatura”, que permite crear un mayor número de elementos en zonas de mayor curvatura de forma automática. Además, se ajustará el parámetro “Densidad de Malla” seleccionando la opción “Fino”, para conseguir una mayor precisión en los resultados. Hay que tener en cuenta que cuanto más fino es el mallado más memoria ocupará la simulación de forma que no resulta adecuado generar un mallado extremadamente fino que impida la resolución del análisis.

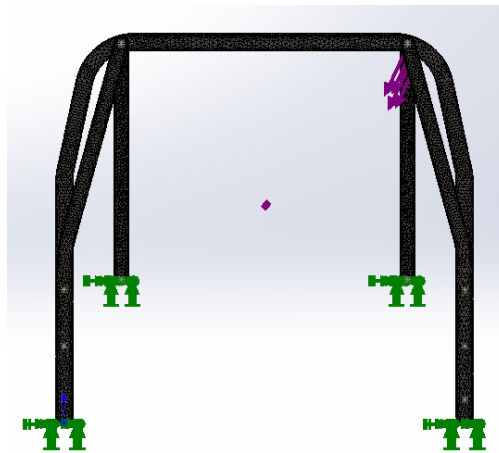


ILUSTRACIÓN 61. APARIENCIA FINAL DEL MODELO CON TODAS LAS CONDICIONES DE CONTORNO INTRODUCIDAS PREVIO A LA EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN.

6.3.1.3 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

6.3.1.3.1 CRITERIO DE ROTURA DE VON MISES

Se conoce como Criterio de Rotura a los criterios utilizados para determinar los esfuerzos elásticos admisibles en estructuras o componentes de máquinas. El punto de rotura puede establecerse de diversas maneras, bien para cuando las tensiones y las deformaciones dejan de ser proporcionales, bien cuando se alcance el límite de tracción.

Puesto que el Sólido Elástico se define como homogéneo, continuo e isótropo, puede realizarse el estudio tensional del cuerpo tomando como sistema de referencia las Tensiones Principales ($\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$).

El Criterio de Von Mises o Teoría de la Energía de Distorsión indica:

“En un punto de un sólido elástico se produce la rotura cuando el estado tensional es tal que la energía de distorsión unitaria, en el entorno de dicho punto, alcanza el valor de la energía de distorsión absorbida por unidad de volumen en el ensayo a rotura de tracción/compresión simple”.

Se calcula según la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2 - (\sigma_I \cdot \sigma_{II} + \sigma_{II} \cdot \sigma_{III} + \sigma_{III} \cdot \sigma_I)} \quad (8)$$

Para este proyecto, como tensión de rotura (σ_R) se establecerá a la resistencia a la tracción, propiedad definida en el Apartado 4.3.1.2., que es la tensión máxima que puede soportar un componente fabricado con un material dúctil sin producirse la fractura del material.

De esta manera, se deberá procurar, en todo momento, que la tensión máxima aparecida en cualquier punto de la estructura de seguridad, calculada a partir del Criterio de Von Mises, no sea mayor que la tensión de rotura, es decir:

$$\sigma_{VM} < \sigma_R \quad (9)$$

6.3.1.3.2 ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

Los resultados permiten contemplar cómo se producen fuertes concentraciones de tensiones en las zonas superiores donde se establecen las uniones entre distintos componentes, es decir, el semiarco lateral y el arco principal y, por supuesto, en la zona donde conectan el tirante transversal frontal con el refuerzo superior y el semiarco lateral

No obstante, es esta última unión la que se erige como zona más castigada por el ensayo pues, a lo largo del pilar vertical del Semiarcollateral, se observan las Tensiones de Von Mises más elevadas.

En general, se contempla como la estructura genera concentraciones de tensiones en las zonas donde se producen dobleces o uniones entre diferentes elementos, mientras que en el resto del entramado tubular las tensiones equivalentes generadas son relativamente bajas, raramente superando los 200,00 MPa.

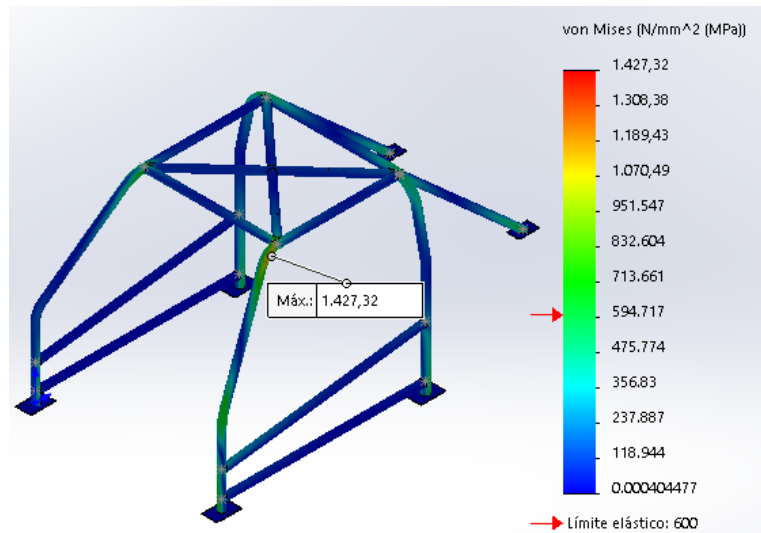


ILUSTRACIÓN 62. DISTRIBUCIÓN DE LAS TENSIONES EQUIVALENTES GENERADAS EN EL ENSAYO ANGULAR A LO LARGO DE TODA LA GEOMETRÍA.

Por un lado, se puede ver como la mayor Tensión de Von Mises en toda la estructura aparece en la zona de unión entre el semiarco lateral y el tirante transversal frontal, donde alcanza valores pico de 1.427,32 MPa

Sin embargo, en la doblez inferior del pilar vertical del semiarco lateral también existen Tensiones Máximas Equivalentes con valores muy superiores a la resistencia a la tracción del material, estableciéndose un valor límite de 1.179,70 MPa.

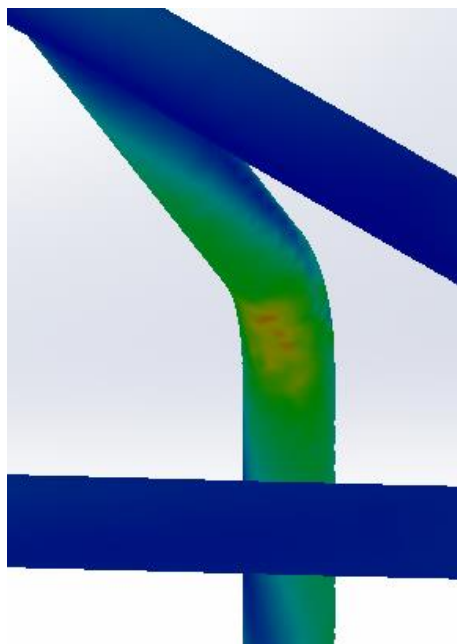


ILUSTRACIÓN 63. CONCENTRACIÓN DE TENSIONES EN LA ZONA INTERNA DE LA DOBLEZ INFERIOR DEL PILAR VERTICAL DEL SEMIARCO LATERAL.

Por otro lado, se observan, también, valores superiores a la resistencia de tracción en la zona donde conectan el arco principal con el semiarco lateral. Dicha zona posee una Tensión Equivalente máxima de 1.121,63 MPa

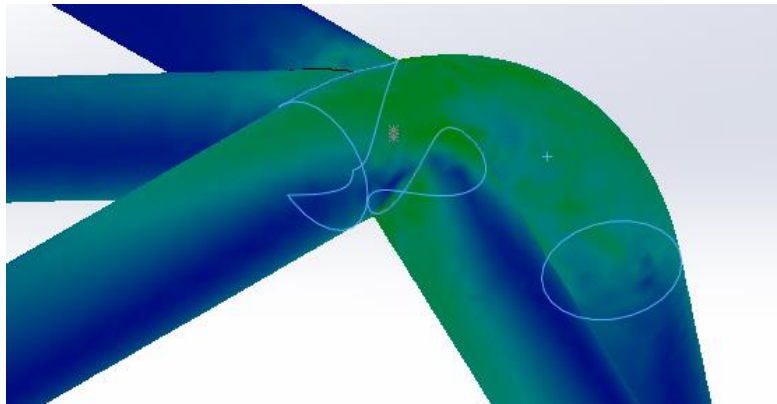


ILUSTRACIÓN 64. CONCENTRACIÓN DE TENSIONES EN LA CURVATURA SUPERIOR DEL ARCO PRINCIPAL.

Una vez terminado el análisis de las tensiones se concluye que el ensayo ha dado un resultado **NEGATIVO** ya que la Tensión Equivalente máxima que se observa es 1,5 veces, aproximadamente, superior al valor de la resistencia a la tracción del material.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.427,32 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (10)$$

6.3.1.4 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

El análisis de las deformaciones resulta fundamental cuando se pretende validar la aptitud de una estructura de seguridad, pues una mala interpretación puede dar lugar a deformaciones excesivas que pongan en peligro a los ocupantes del vehículo. Por ello, en el estudio de estas se intentará limitar, tanto como sea posible, aquellas deformaciones que se produzcan en dirección al piloto y copiloto, aun cuando estas estén dentro de los márgenes permitidos por la FIA o no se produzcan en la dirección de aplicación de la carga del ensayo.

De esta forma se estudiará, primeramente, la deformación total aparecida en la totalidad de la estructura, sin importar que dirección tome. Así, se puede observar que la flecha máxima aparece la zona de aplicación de la carga, doblez superior del semiarco lateral, y toma un valor de 35,7mm.

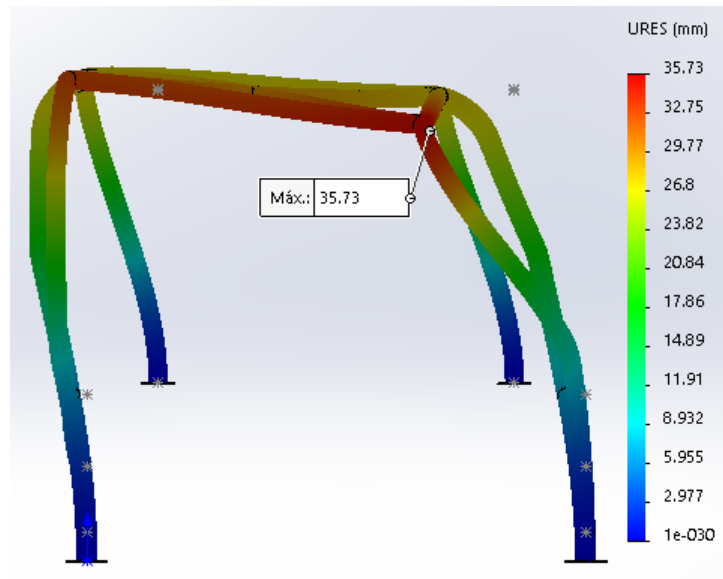


ILUSTRACIÓN 65. RESULTADO DE LA DEFORMADA DEL ENSAYO ANGULAR.

Otro aspecto reseñable es la poca rigidez que posee la estructura lateralmente, ya que el arco principal se pliega siguiendo un patrón muy similar a la zona delantera. Este hecho se debe a la furza que relizan los semiarcos laterales sobre la parte superior del arco principal lo que explica, a su vez, las elevadas tensiones aparecidas en el análisis anterior. Como se puede deducir, aunque las deformaciones máximas se encuentran ámpliamente dentro del límite establecido de 100,0mm, se deberá realizar una serie de modificaciones que incrementen la rigidez lateral del conjunto.

Como se ha comentado anteriormente, resulta fundamental analizar las deformaciones que se producen en dirección al piloto. De esta manera, se observa un desplazamiento de la zona superior del habitáculo en la componente (-Z) de 33,4mm

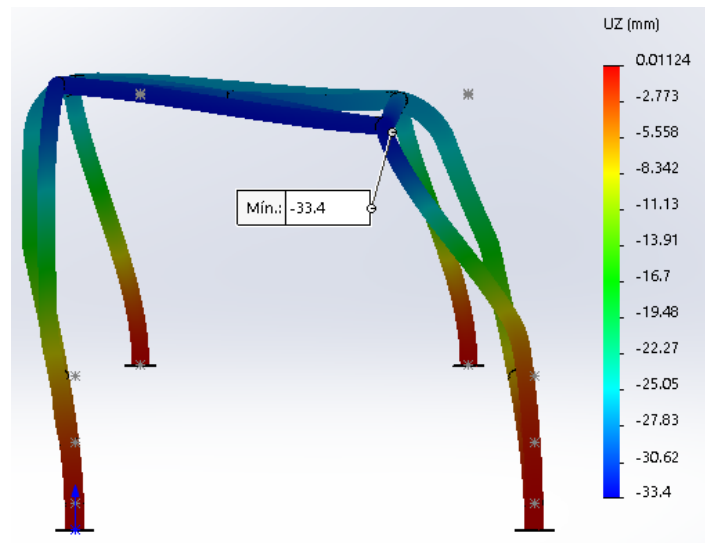


ILUSTRACIÓN 66. DEFORMADA EN LA COMPONENTE (Z).

Finalmente, se observa que la estructura sufre, también, una marcada deformación en la dirección (X) de 4,2mm aunque, en este caso, no se produce en la zona delantera sino en el lado opuesto del arco principal. Esto permite contemplar el buen funcionamiento del refuerzo en “X” situado en la parte superior que produce una transmisión de cargas mucho más homogénea a través de toda la estructura limitando, así, la deformación que se produciría en la zona frontal superior.

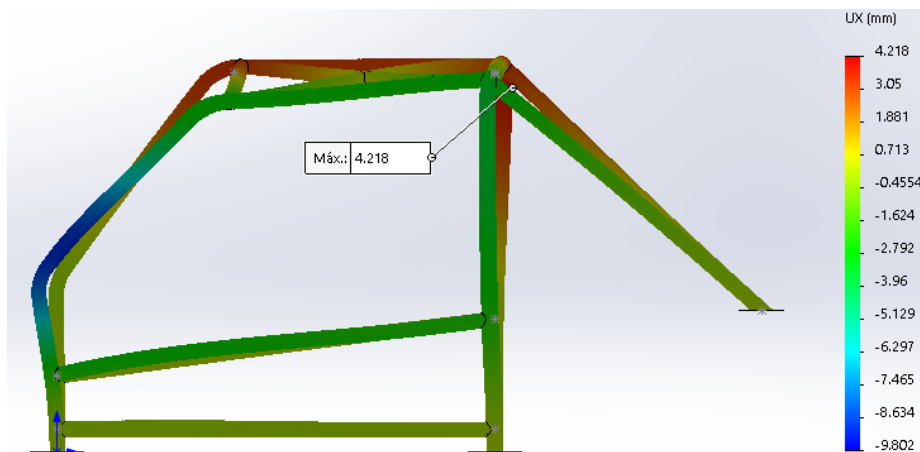


ILUSTRACIÓN 67. RESULTADO DE LA DEFORMACIÓN EXPERIMENTADA EN LA COMPONENTE "X".

De esta manera se concluye que el Análisis de las Deformaciones resulta **POSITIVO**, puesto que en ningún caso se supera la deformación máxima fijada de 100,0mm.

$$\varepsilon_{DIR.APLICACIÓN_{MÁX}} = 35,7mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 100,0mm \quad (11)$$

6.3.2 ENSAYO 2

6.3.2.1 MODELADO DE LA SIMULACIÓN

De la misma forma que ocurre con el primer Ensayo, existen fundamentalmente 3 formas de modelar el problema, según el grado de precisión que se pretenda conseguir mediante la realización del estudio:

- **MODELADO 1:** Definir una Carga Uniformemente Repartida en la parte superior del arco principal de valor igual a la fuerza total a aplicar en el ensayo, es decir, 67.500N.
- **MODELADO 2:** Definir la carga total a aplicar como 2 cargas puntuales, cada una con un valor de F/2, situadas en los puntos de unión del arco principal con el resto de elementos de la estructura.
- **MODELADO 3:** Crear un ensamblaje que conste de una prensa de aplicación de las cargas y de la estructura base y, sobre la prensa, aplicar la carga uniformemente distribuida de valor igual a la fuerza total a aplicar en el ensayo.

Así, una vez definidas las diferentes variantes se procede a elegir un proceso de modelado. Primeramente, se descarta el Modelado 1 pues, aunque proporcionaría resultados aceptablemente cercanos a la realidad, no es el modelo que mejor se aproxima a lo que sería el verdadero ensayo descrito por la Federación. Por otra parte, hay que descartar el segundo proceso de modelado debido a que la configuración de las fuerzas daría lugar a que la parte superior del arco principal se comportase como una viga biempotrada, proporcionando flechas en el centro de dicho componente mucho mayores que las que realmente aparecerían en un ensayo destructivo realizado con prensa.

Consecuentemente, la opción elegida es el proceso de Modelado 3.

6.3.2.2 DISEÑO DE LA PRENSA DEL ENSAYO VERTICAL SOBRE EL ARCO PRINCIPAL

El primer paso para su diseño consiste en establecer el mismo sistema de coordenadas que el usado para el habitáculo de seguridad, de forma que se eviten errores en la definición de sus dimensiones.

A continuación, hay que seleccionar la opción “Croquis 2D” donde se definirá la geometría visible desde la parte superior de la prensa, es decir, un rectángulo.

Una vez terminado el boceto se realizará una extrusión en la dirección (+Y) de dimensión igual al espesor de la prensa, es decir, 40,0mm.

Seguidamente, se colocará un plano de trabajo auxiliar, en la cara frontal de la pieza, usando la herramienta “Plano” y sobre él se realizará un “Croquis 2D” que contenga la geometría a partir de la cual poder definir la extrusión que dará lugar al “vaciado”.

Finalmente, se realizará una extrusión con la herramienta “Extruir Corte” que tenga como final la cara opuesta de la prensa, de forma que la entalla quede definida correctamente a través de toda la prensa.

Dicho elemento de aplicación de cargas cuenta con las dimensiones:

- LONGITUD: 1137,0mm. Dicha medida permite situar el extremo de la prensa a la misma distancia del S.R. que el punto más alejado de la Estructura de seguridad.
- ANCHURA: 250,0mm
- ESPESOR: 40,0mm.
- RADIO ENTALLA: Se empleará un radio de entalla 22,5mm, pero con el centro del orificio distanciado de la arista inferior 20,0mm elementos constructivos del habitáculo de seguridad.

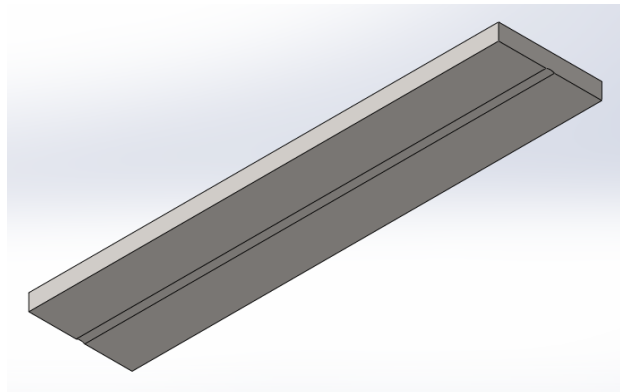


ILUSTRACIÓN 68. FORMA DE LA ENTALLA QUE POSEE LA PRENSA EN SU PARTE INFERIOR.

6.3.2.3 CREACIÓN DEL ENSAMBLAJE

El proceso de creación del ensamblaje comienza con la introducción de las dos piezas que forman el conjunto, es decir, la estructura de seguridad y la prensa de aplicación de las cargas.

En primer lugar se ha aplicado una Restricción de Coincidencia entre la “Cara 1” de la estructura base y la “Cara 2” de la prensa vertical. Dicha restricción se emplea para situar a la prensa simétrica, en dirección “Z”, respecto de la estructura de seguridad.

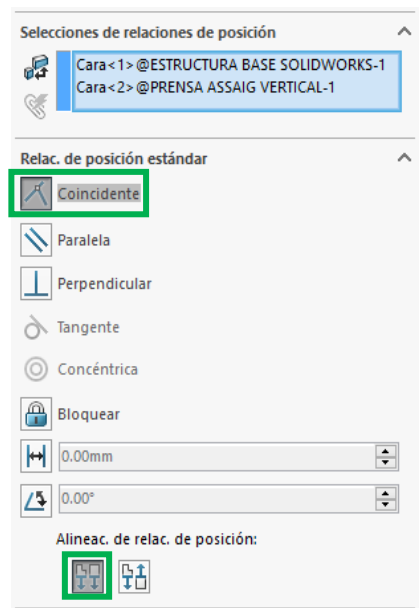


ILUSTRACIÓN 69. ESPECIFICACIONES PARA LA CREACIÓN DE LA RESTRICCIÓN DE COINCIDENCIA.

A continuación, se establece otra restricción al conjunto. En este caso se trata de una Restricción Concéntrica que afecta a la “Barra Superior” del arco principal y a la “Entalla” de la prensa vertical. Esta, permite que la muesca de la prensa encaje, longitudinalmente, con la parte superior de arco principal.

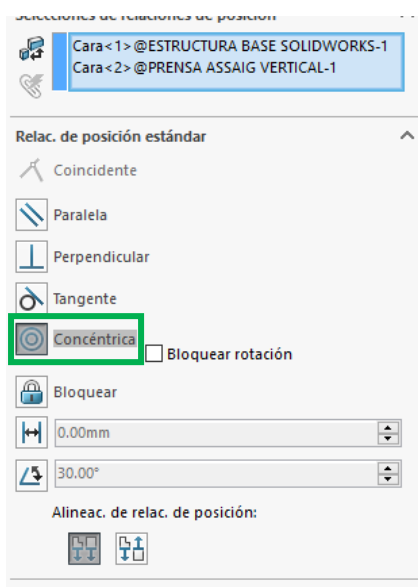


ILUSTRACIÓN 70. CONDICIONES PARA LA DEFINICIÓN DE LA RESTRICCIÓN CONCÉNTRICA.

Ahora, se define una tercera relación de posición. En este caso se establece que la cara superior de la prensa debe ser “Paralela” a la cara superior de punto de anclaje de forma que permanezca, en todo momento, en posición completamente vertical.

Finalmente, el ensamblaje del ensayo 2 debe tener este aspecto.

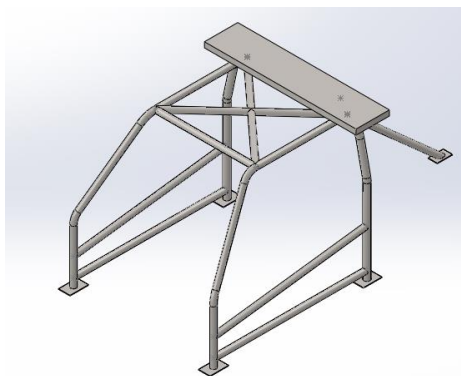


ILUSTRACIÓN 71. VISTA DEL CONJUNTO ENSAMBLADO PARA EL ENSAYO VERTICAL.

6.3.2.4 PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El proceso de creación de la simulación es idéntico al descrito en el Apartado 6.3.1.2.

De igual manera, una vez generado el archivo de simulación, resulta necesario definir las condiciones de contorno que regirán el ensayo.

- **CONEXIONES:** Para permitir una correcta transferencia de cargas entre la prensa y la estructura base se debe asegurar que existe una conexión de “Unión Rígida” entre la entalla y la parte superior de la barra transversal del arco principal.
- **SUJECIONES:** Se emplea la misma restricción de movimiento que en el Ensayo 1. Por ello, como el habitáculo se encuentra fijado al suelo del vehículo, se debe colocar una sujeción de “Geometría Fija” en cada uno de los 6 puntos de anclaje.
- **CARGAS EXTERNAS:** Se aplicará una carga uniformemente distribuida en toda la cara superior de la prensa con sentido de aplicación (-Y) y un valor de 67.500N.
- **MALLA:** Para generar la malla se procede de forma idéntica a como se realizó el mallado en el Ensayo 1.

6.3.2.5 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

Para poder realizar un correcto análisis de las tensiones producidas sobre la estructura hay que eliminar, en primer lugar, la visibilidad de la prensa de forma que los valores aparecidos en ella no influyan en el estudio y pueda dar lugar a interpretaciones erróneas. Para ello, se selecciona con el ratón el contorno de la misma y, a continuación, se pulsa la tecla “TAB”.

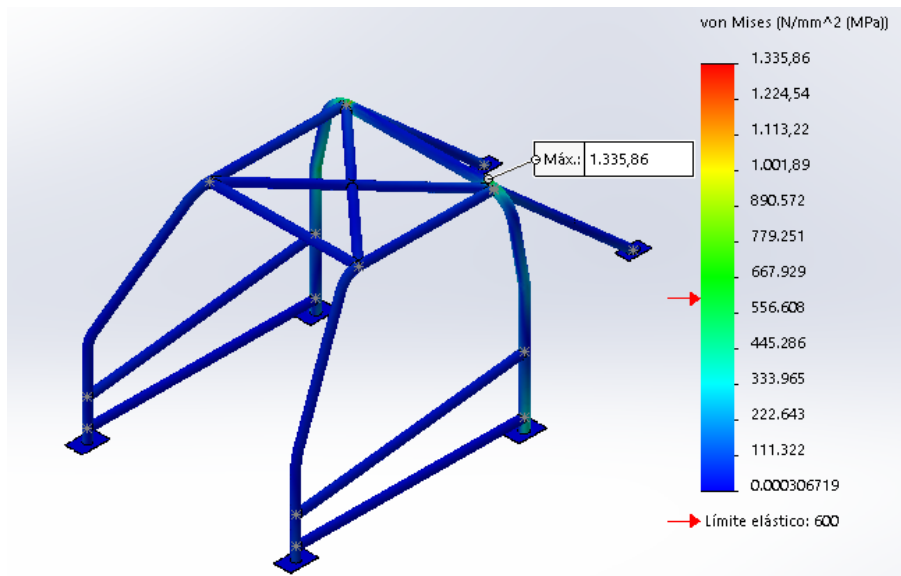


ILUSTRACIÓN 72. ANÁLISIS DE LAS TENSIONES DE VON MISES DEL ANÁLISIS VERTICAL.

Por un lado, se observa que las Tensiones Equivalentes máximas aparecidas en la parte superior del arco principal, donde se produce la unión de éste con los semiarcos laterales, el refuerzo en “X” de la parte superior y los tirantes traseros. En dicha zona, la Tensión de Von Mises obtenida es de 1.335,86 MPa (N/mm^2). No obstante, el resto de la estructura se mantiene prácticamente inalterable, pues la zona delantera a penas se encuentra solicitada.

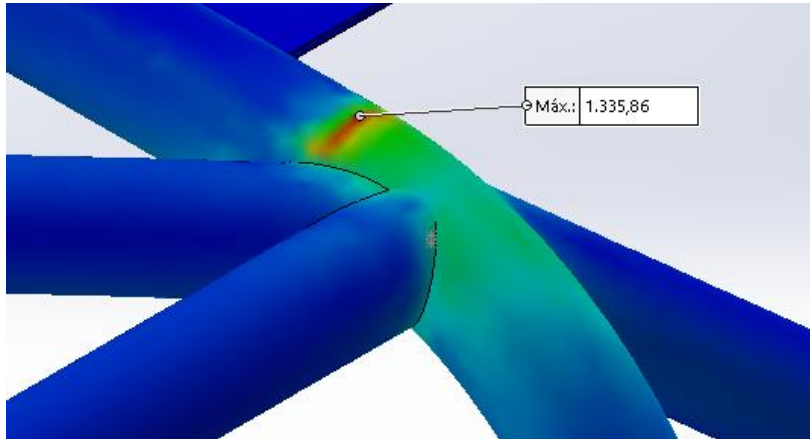


ILUSTRACIÓN 73. TENSIÓN MÁXIMA SITUADA EN LA CURVATURA SUPERIOR DEL ARCO PRINCIPAL.

Por otro lado, se puede contemplar una fuerte concentración de tensiones en la doblez realizada en el pilar vertical del arco principal, puesto que las curvaturas actúan como fuertes concentradores. De esta manera, en dicha zona se alcanza un valor máximo de 522,70 MPa.

De esta forma, los resultados de este ensayo son **NEGATIVOS** pues en la zona superior del arco principal de la estructura, para la carga aplicada, las tensiones equivalentes máximas resultantes se encuentran bastante por encima del límite que establece la resistencia a la tracción del material de 950,00 MPa.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.335,86 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (12)$$

Así, se concluye que será necesario llevar a cabo un refuerzo en la zona del arco principal con el objetivo que reducir la tensión equivalente máxima.

6.3.2.6 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Las deformaciones que presenta la estructura de seguridad al realizar el ensayo vertical resultan favorables en relación a las flechas máximas permitidas.

Destacan dos aspectos fundamentales del análisis. En primer lugar, se observa que la deformación máxima, generada en toda la estructura, se produce en el cambio de

dirección del pilar vertical del arco principal con un valor de 4,8mm que como bien se observaba en el análisis de las tensiones era la zona mayormente solicitada.

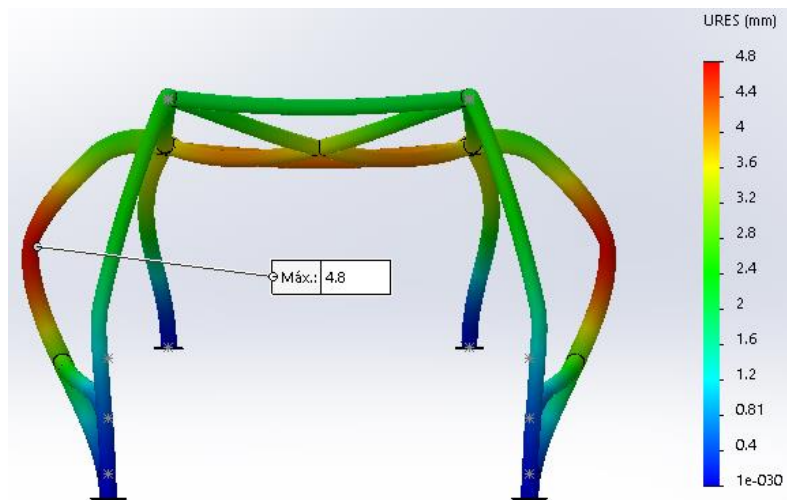


ILUSTRACIÓN 74. DEFORMADA VISTA DESDE LA PARTE FRONTAL DE LA ESTRUCTURA. SE OBSERVA LOS DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES.

Sin embargo, el resultado que se debe analizar es la deformación máxima acaecida en el arco principal en la dirección de aplicación de la fuerza, es decir, en la componente (-Y). Para ello, se selecciona la representación de las deformaciones que se producen solo en dicha dirección. Se puede contemplar que la máxima flecha se produce en el centro de barra transversal superior del arco principal, con una deformación en la dirección de aplicación, en valor absoluto, de 3,7mm.

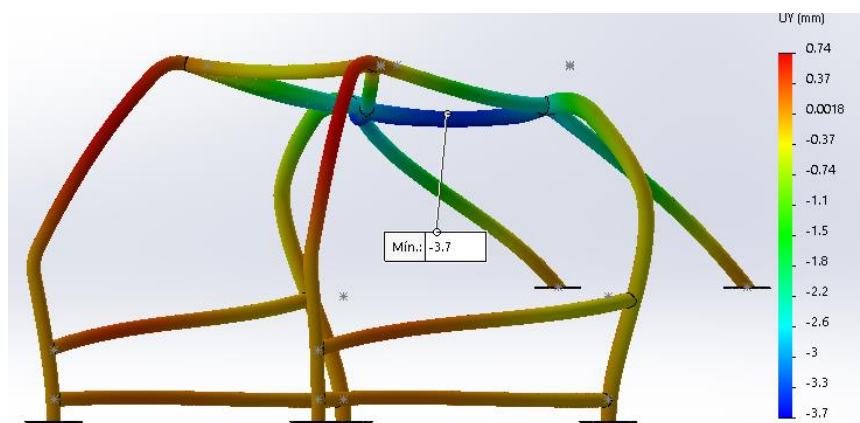


ILUSTRACIÓN 75. DEFORMACIONES EN LA COMPONENTE (Y).

De esta manera, los resultados del análisis son **POSITIVOS** puesto que la máxima deformación, en la dirección de aplicación de la fuerza, es menor que la flecha máxima admitida por la Normativa FIA de 50,0mm para dicho ensayo.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 3,7mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 50,0mm \quad (13)$$

7 MODIFICACIÓN 1

Al analizar los resultados de los ensayos anteriores se observa que los **ENSAYOS 1 y 2** han ofrecido resultados **NEGATIVOS** pues, en ambos, las tensiones equivalentes máximas se encontraban por encima del valor de la resistencia a tracción del 25CrMo4. No obstante, se observa que es en el Ensayo 1 donde se han obtenido los resultados más desfavorables con valores superiores en las tensiones de Von Mises y las deformaciones, lo cual demuestra que la zona más débil, estructuralmente hablando, es la parte delantera o lateral-delantera del Habitáculo.

En cuanto al estudio de la deformación, aun siendo sus resultados muy positivos en ambos ensayos, se observa que la falta de resistencia lateral en la parte delantera produce una deformación plástica del pilar hacia el interior del vehículo que puede resultar peligrosa para los ocupantes del vehículo en caso de colisión delantera a alta velocidad.

La Modificación 1 se centrará, por ello, en mejorar la rigidez de la estructura en su parte delantera, evitando así un exceso de flexión de sus elementos.

7.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

El objetivo principal es reducir el nivel de las tensiones y, a su vez, el desplazamiento que experimenta la estructura de seguridad durante la realización del ensayo angular sobre el pilar frontal del semiarco lateral. Por ello, se deberá reforzar la zona delantera para que trabaje mejor ante esfuerzos de flexo-compresión.

Existen 2 posibles maneras de solucionar el problema:

- **SOLUCIÓN 1:** Consistente en modificar las dimensiones de la sección del perfil que se emplea en la fabricación de los semiarcos laterales y del tirante transversal frontal de forma que se aumente la resistencia del perfil y, con ella, se disminuyan los esfuerzos que experimenta.

Dicha modificación de las propiedades resistentes de la sección es debida al aumento del Segundo Momento de Inercia (también llamado Segundo Momento de Área) que se produce al aumentar la sección de un perfil. Esta propiedad de los perfiles se encuentra íntimamente relacionada con las tensiones y deformaciones que experimenta un perfil al estar sometido a esfuerzos flectores de forma que, al aumentar el segundo momento de inercia, disminuyen las tensiones aparecidas en el perfil.

En el caso de un perfil circular hueco, el segundo momento de inercia de su sección transversal se calcula como:

$$I_{X,Y} = \frac{\pi}{4} \cdot [R_2^4 - R_1^4] \quad (14)$$

$$I_Z = \frac{\pi}{2} \cdot [R_2^4 - R_1^4] \quad (15)$$

Para reducir el nivel de los esfuerzos se empleará un perfil que aumenta tanto en diámetro externo como en espesor (42,0 x 3,0mm).

De esta manera, el segundo momento de inercia de la nueva sección (I_2) es:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot [R_{21}^4 - R_{11}^4]}{\frac{\pi}{4} \cdot [R_{22}^4 - R_{12}^4]} \quad (16)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot [20,0^4 - 18,0^4]}{\frac{\pi}{4} \cdot [21,0^4 - 18,0^4]} \quad (17)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 0,6148 \quad (18)$$

$$I_2 = 1,6267 \cdot I_1 \quad (19)$$

Consecuentemente, como el Módulo Resistente (W) es directamente proporcional al segundo momento de área y, a su vez, inversamente proporcional a las tensiones que aparecen ante esfuerzos de flexión, se deduce fácilmente que un aumento del diámetro o del espesor de la sección se traduce instantáneamente en un aumento de la resistencia del perfil y, con ello en una disminución de las tensiones equivalentes finales y las deformaciones.

- SOLUCIÓN 2: Se plantea la instalación de un nuevo elemento de refuerzo en la zona delantera de la estructura de seguridad. De esta forma, se colocará una barra de refuerzo en el pilar vertical frontal del semiarco lateral el cual una su base con la parte superior del mismo.

Dicho refuerzo se fabricará con los mismos perfiles tubulares que se emplean para la creación de los semiarcos laterales y el tirante transversal frontal (40,0 x 2,0mm).

Así mismo, para ambas soluciones, se añadirá una barra transversal frontal de refuerzo la cual permita aumentar la resistencia de la estructura de seguridad ante un posible impacto frontal o frontal-lateral la cual, con la configuración base, sería extremadamente deficiente.

Este nuevo elemento proporciona, además, un notable aumento de la rigidez torsional del chasis del vehículo en su parte delantera, lo que permite un comportamiento más estable del vehículo en curvas de media y alta velocidad.

El perfil que se empleará para su fabricación tendrá una sección de 42,0 x 3,0mm para la Solución 1 y de 40,0 x 2,0mm para la Solución 2.

7.2 ANÁLISIS DE LA PRIMERA SOLUCIÓN

7.2.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

El primer paso consiste en abrir el archivo existente donde está definida la estructura en su configuración base.

A continuación, se modificarán las secciones transversales de los elementos tubulares especificados anteriormente, es decir, el tirante transversal frontal y ambos semiarcos laterales, lo que permite cambiar el perfil de los tubos. Para ello se deben editar los “Croquis 2D” donde se ha definido la geometría transversal de cada elemento y, usando la herramienta “Cota Inteligente”, cambiar las medidas de los diámetros que definen el perfil circular hueco.

El siguiente paso será añadir la barra de refuerzo transversal frontal situada a media altura de los pilares frontales, justo antes del cambio de dirección inferior. Así, se colocará un plano de trabajo auxiliar entre los dos semiarcos laterales con la ayuda de la herramienta “Plano” y especificando un desfase arbitrario de 500,0mm respecto al plano “Alzado”.

Para definir la sección transversal se creará un nuevo “Croquis 2D” sobre el plano auxiliar empleado la opción “Círculo” y “Acotado Inteligente”.

Finalmente, se realiza una Extrusión y se acepta el modelo.

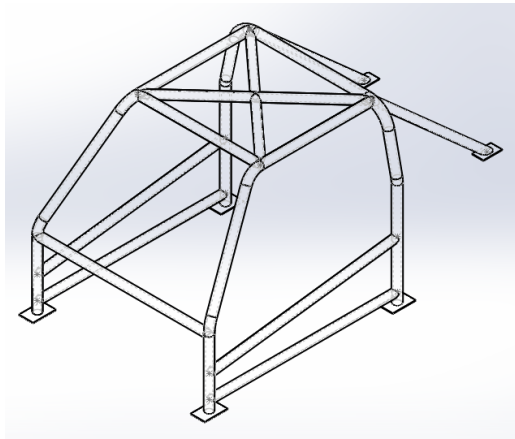


ILUSTRACIÓN 76. RESULTADO DE LA GEOMETRÍA TRAS LA GENERACIÓN DE LA SOLUCIÓN 1.

7.2.2 PROCESO DE SIMULACIÓN

7.2.2.1 ENSAYO 1

El Ensayo se define siguiendo el mismo proceso descrito en el Apartado 6.3.1.2.

7.2.2.1.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

La simulación de la distribución de las tensiones es similar a la obtenida en el Ensayo 1 de la estructura base observándose una fuerte acumulación de tensiones en dobleces y puntos de unión, con una tensión equivalente máxima focalizada en la zona superior del pilar frontal del semiarco lateral. De esta forma, se observa una reducción cercana a los 400 MPa en los valores máximos, pasando de los 1.427,32 MPa del Ensayo con la configuración inicial a los 1.055,35 MPa de este Ensayo.

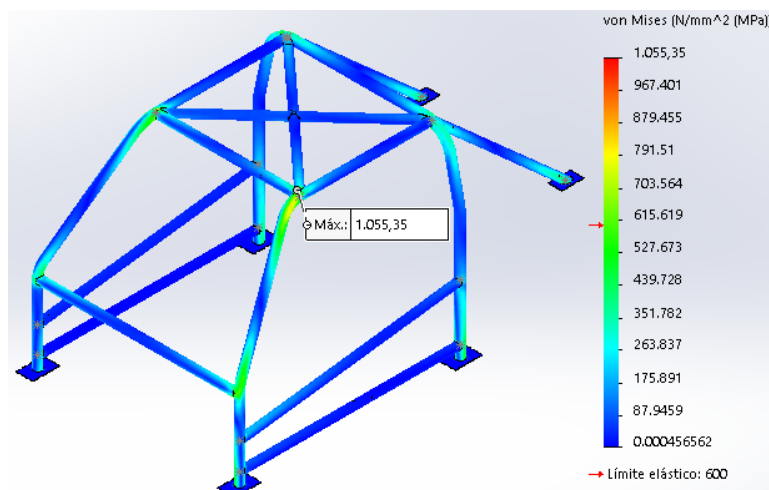


ILUSTRACIÓN 77. DISTRIBUCIÓN DE LAS TENSIONES DE VON MISES A TRAVÉS DE TODA LA GEOMETRÍA.

De la misma manera, se observa un decremento de los valores máximos de las tensiones equivalentes en las zonas de la doblez inferior del pilar frontal y en la doblez superior del arco principal resultando, éstos, admisibles para la validación positiva del habitáculo debido a que sus valores son inferiores a la resistencia a tracción del material.

En la doblez inferior del pilar frontal la tensión de Von Mises máxima se sitúa en 908,66 MPa mientras que en la zona superior del arco principal se observa una tensión equivalente máxima de 801,81 MPa.

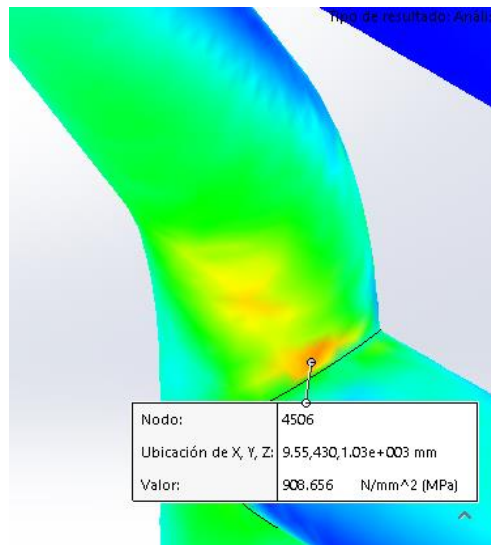


ILUSTRACIÓN 78. VALOR DE LA TENSIÓN ACAECIDA EN LA DOBLEZ FRONTAL INFERIOR.

Se puede observar como la nueva configuración trabaja absorbiendo una mayor cantidad de energía en la zona delantera, limitando el nivel de las tensiones en la zona trasera y, sobre todo, en la delantera.

No obstante, como las tensiones equivalentes máximas siguen situándose por encima de los valores límite, se concluye que el resultado del estudio es **NEGATIVO**.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.055,35 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (20)$$

7.2.2.1.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

El primer resultado que se puede extraer del análisis de las deformaciones es que siguen un patrón muy similar a las obtenidas en el Ensayo 1 de la configuración base. Así, se observa que la máxima flecha se encuentra en la parte curva superior del pilar frontal del semiarco lateral. Sin embargo, se debe recalcar que esta experimenta una

reducción mayor a los 10mm en su valor máximo, pasando de los 35,7mm del primer estudio a los 24,2mm actuales.

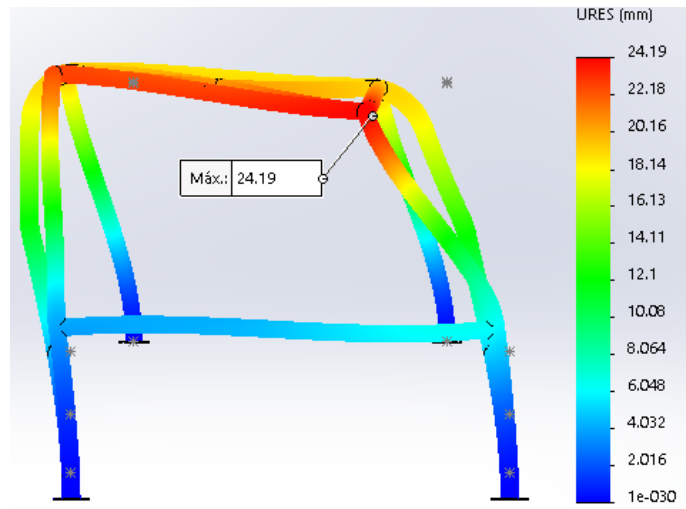


ILUSTRACIÓN 79. DEFORMADA DE LOS DESPLAZAMIENTO RESULTANTE DE LA SOLUCIÓN 1.

Por otro lado, siguiendo el patrón del Ensayo 1 anterior, la deformación máxima en la dirección (+X) se produce en el arco principal con un valor de 2,9mm. A pesar de ello, debido al aumento de energía que absorbe el semiarco lateral, el máximo valor de la deformación en la componente (X) se produce en la dirección (-X) en la parte curva inferior del pilar frontal y posee un valor de 5,6mm. Sin embargo, por estar dentro del rango de deformaciones permitido de 100,0mm y por producirse en dirección opuesta a la posición que ocupan los ocupantes del vehículo no resulta ser un resultado negativo que impida homologar el habitáculo de seguridad.

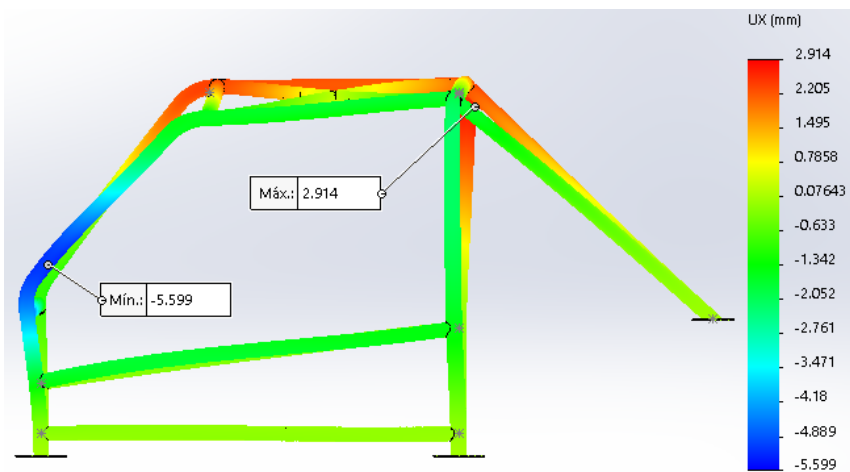


ILUSTRACIÓN 35. DEFORMADA EN LA COMPONENTE (X) DESDE VISTA LATERAL.

Analizando las deformaciones en la componente (Z), se contempla un proceso de deformación plástica en la dirección (-Z) que alcanza un valor pico de 22,8mm en la

parte central del tirante transversal superior reduciéndose, respecto al valor del primer diseño, entorno a 11mm. Como se contemplar, el aumento de rigidez del lateral de la estructura ha cambiado completamente su comportamiento, de forma que se ha reducido en gran manera la debilidad frente a un impacto frontal-lateral que poseía el semiarco lateral.

Esta nueva manera de comportarse se debe a la “debilidad” que posee el tirante transversal frente al pandeo.

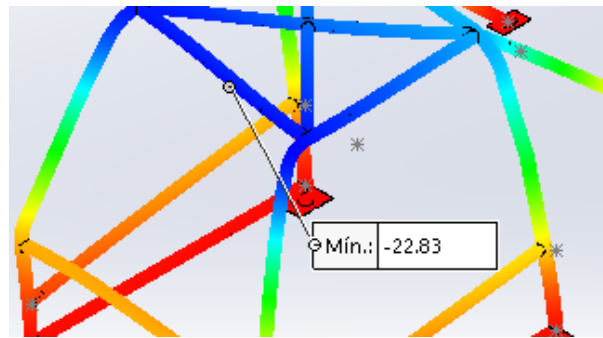


ILUSTRACIÓN 81. DEFORMACIÓN DE LA PARTE SUPERIOR EN LA COMPONENTE (Z).

Finalmente, interpretando la deformación en la componente (Y), realmente importante porque muestra si las deformaciones que aparecen está orientadas en dirección a los ocupantes, se observa que su deformación máxima, en valor absoluto, aparece en la dirección (-Y) en la zona superior del semiarco lateral con un valor de

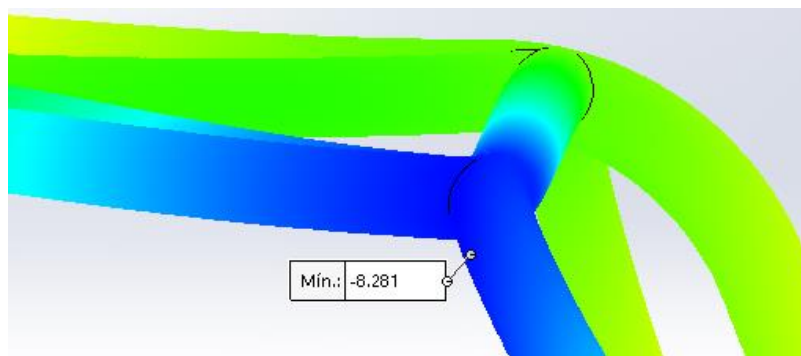


ILUSTRACIÓN 82. DETALLE DE LA DEFORMACIÓN EN LA COMPONENTE (Y) QUE EXPERIMENTA LA ZONA DONDE SE APLICA LA CARGA.

8,3mm.

De esta manera se concluye que los resultado de las deformaciones experimentadas por la estructura son muy **POSITIVOS**, reduciéndose entoro al 30% respecto a las deformaciones experimentadas en el primer ensayo angular.

$$\epsilon_{DIR.APLICACIÓN\ MÁX} = 24,2mm \ll \epsilon_{MÁX\ PERMITIDA} = 100,0mm \quad (21)$$

7.2.2.2 ENSAYO 2

Igual que ocurría en el Ensayo 1, las condiciones en las cuales se realizará el ensayo del nuevo modelo están ya definidas en los Apartados 6.2.2.2. a 6.2.2.4. Por ello, no se volverá a explicar todo el proceso de creación y se procederá, directamente, a realizar el estudio de los resultados.

7.2.2.2.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

Presenta una distribución de las tensiones idéntica a las calculadas en el Ensayo 2 con la configuración base. Consecuentemente, se observa que las tensiones máximas vuelven a aparecer en el área superior del arco principal, donde, nuevamente se sigue superando la tensión de la resistencia a tracción del material, habiendo incluso aumentado el valor máximo, pues, por la nueva configuración, el arco principal es ahora más vulnerable frente al resto de la estructura en su parte superior. Esto causa que la tensión equivalente máxima en dicha zona tenga un valor de 1.360,72 MPa.

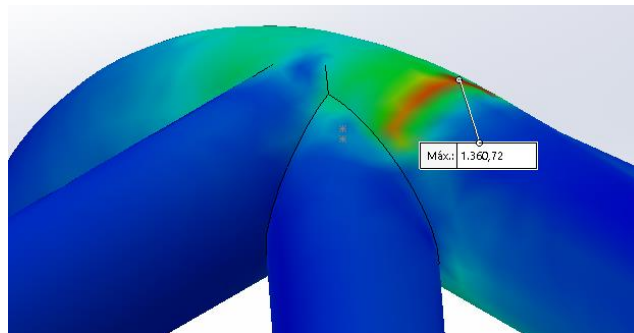


ILUSTRACIÓN 83. DETALLE DE LA DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES EN LA CURVATURA SUPERIOR DEL ARCO PRINCIPAL.

Por otro lado, vuelve a aparecer una concentración de tensiones, aunque de menor intensidad, en la zona de curvatura del pilar vertical del arco principal donde el valor de la tensión máxima equivalente es de 525,02 MPa.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.360,72 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (22)$$

Así, se concluye que el resultado del ensayo, en relación a las tensiones ocasionadas, sigue siendo **NEGATIVO** ya que, aunque menores respecto al primer ensayo vertical, las tensiones equivalentes siguen superando ampliamente la tensión admisible máxima de 950,00 MPa.

7.2.2.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Como se puede observar, los resultados obtenidos son semejantes a los obtenidos en el Apartado 6.3.2.6.

La deformada es prácticamente idéntica en cuanto a su comportamiento. Consecuentemente, la estructura sigue experimentando las mayores deformaciones en los cambios de dirección de los pilares del arco principal, donde la flecha mide, ahora, 4,7mm. De esta manera, aunque ligera, pues las deformaciones del ensayo anterior ya eran suficientemente pequeñas, se observa una reducción en la deformación plástica de dicho punto.

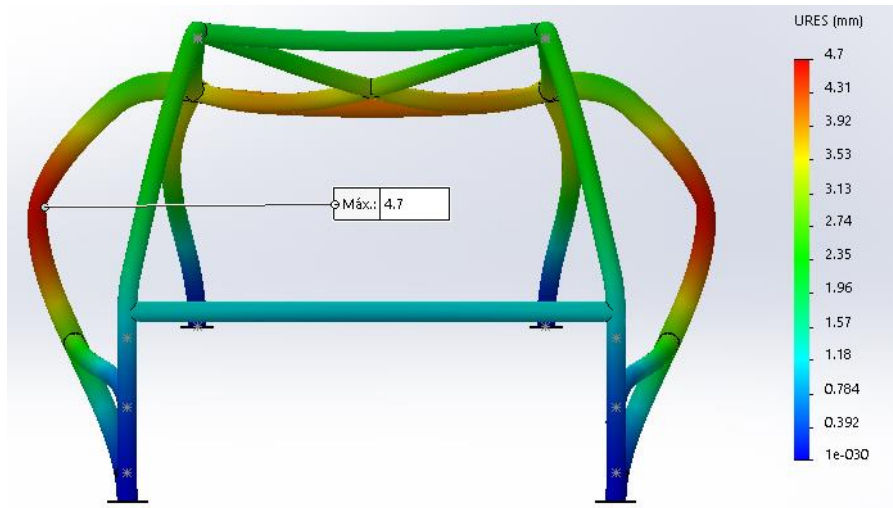


ILUSTRACIÓN 84. VISTA FRONTAL DE LA DEFORMADA GENERAL.

Por otro lado, la deformación vertical en la dirección de aplicación de la carga también se ha reducido del orden de 0,2mm, pasando de 3,7 a 3,5mm en la parte central superior del arco principal.

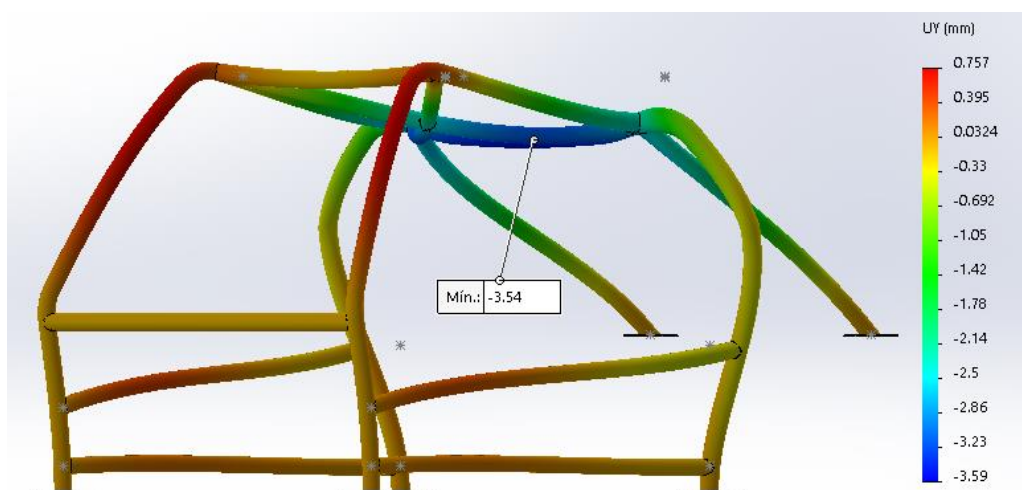


ILUSTRACIÓN 85. DEFORMACIÓN VERTICAL EXPERIMENTADA POR EL ARCO PRINCIPAL EN SU PARTE MEDIA SUPERIOR.

La poca influencia de los nuevos elementos de refuerzo en los resultados del ensayo se debe a que el refuerzo se encontraba orientado a mejorar el comportamiento estructural del entramado tubular en su parte delantera y no en la zona del arco principal. Aun así, el aumento de la sección del perfil ha conllevado un aumento de la energía absorbida por el resto de la Estructura de fombra que se ha logra reducir, aun más, las deformaciones experimentadas por el Arco Principal. Por ello, se concluye que los resultado del análisis son **POSITIVOS**.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 3,54mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 50,0mm \quad (23)$$

7.3 ANÁLISIS DE LA SEGUNDA SOLUCIÓN

7.3.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

Una vez abierto un nuevo documento “Pieza”, se inserta, como en el caso anterior, la estructura con la configuración base que sirve como punto de partida para la introducción de las modificaciones.

El primer elemento que se añadirá el pilar de refuerzo del parabrisas, que funciona como elemento rigidizador en la parte frontal de los semiarcos laterales. Para su construcción, idéntica en ambos lados del vehículo, se debe comenzar introduciendo un eje de trabajo auxiliar que una el punto base del pilar frontal del semiarco lateral con el punto de inicio de la barra longitudinal superior del semiarco lateral.

Seguidamente se introduce un plano de trabajo auxiliar, perpendicular al eje a través de uno de los puntos de referencia del eje y, a continuación, se realiza un desfase del plano hasta distancia arbitraria de 500,0mm para poder definir, sobre él, la sección transversal de la barra.

Una vez se ha completado la definición de la sección transversal sobre el plano recién introducido, se procede a realizar una “Extrusión Saliente/Base”. En la Dirección 1, se marcará la opción “Hasta Siguiente” y, para la Dirección 2 se selecciona la misma opción, “Hasta Siguiente”.

De esta forma se define uno de los dos pilares de refuerzo del parabrisas. Para realizar el otro, por tanto, se procederá de forma idéntica.

Para definir geoméricamente la barra frontal inferior transversal se procederá de la forma descrita en el Apartado 7.2.1.

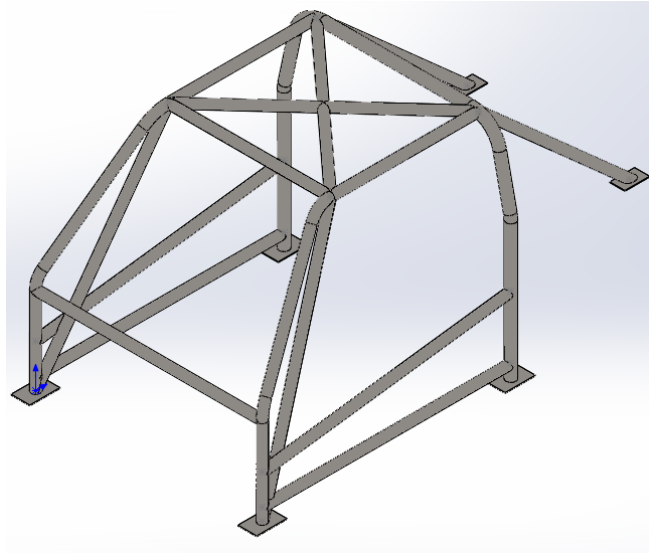


ILUSTRACIÓN 86. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA FINAL DE LA ESTRUCTURA TRAS LA INCORPORACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL 2.

7.3.2 PROCESO DE SIMULACIÓN

7.3.2.1 ENSAYO 1

7.3.2.1.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

El análisis de la segunda solución adoptada para mejorar el comportamiento delantero del entramado tubular arroja resultados semejantes a la primera propuesta de solución en tanto que a distribución de la tensión se refiere, observándose los picos de las tensiones equivalentes máximas en la zona de unión, sobre todo, en la parte superior de la estructura.

No obstante, en la segunda solución se obtiene un valor máximo en el ensayo de 1.127,50 MPa en la zona de unión del semiarco lateral con el refuerzo del parabrisas por los 1055,35 MPa que se alcanzaron en la primera propuesta de solución. Esto se debe a que la unión del refuerzo del parabrisas con el semiarco lateral actúa como un concentrador de tensiones, generando importantes esfuerzos de compresión.

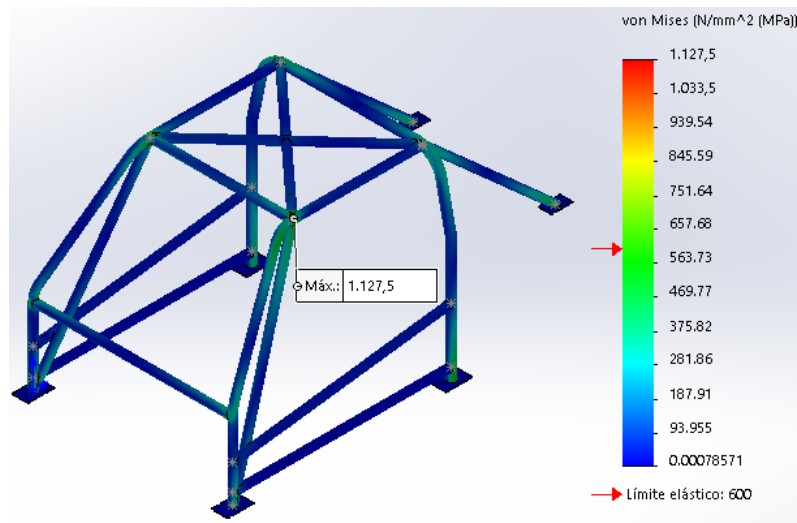


ILUSTRACIÓN 87. TENSIONES EQUIVALENTES GENERADAS DURANTE EL ENSAYO ANGULAR.

Como es deducible, esta solución no puede considerarse para nada positiva y habrá que buscar una nueva manera de reforzar la parte frontal de la geometría con el objetivo de reducir las máximas tensiones equivalentes por debajo del límite de la resistencia a tracción del material.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.127,50 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (24)$$

7.3.2.1.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Las deformaciones observadas, respecto a la propuesta de solución 1, muestran que se ha producido una variación respecto a la zona donde se obtienen las mayores flechas. En este caso, la mayor deformación no se obtiene en la zona de exterior donde se produce la unión entre el semiarco lateral y el tirante transversal frontal superior, sino que aparece en la zona media de la curvatura superior. Este hecho se debe al aumento de resistencia que experimenta la zona de unión de los elementos a causa del refuerzo del parabrisas. Dicha modificación explica, también, el ligero aumento de las tensiones equivalentes máximas, pues como se ha incrementado la resistencia de la zona, disminuyendo las deformaciones, las tensiones han debido de aumentar.

Consecuentemente, la nueva deformación máxima, acaecida en la zona media de la doblez superior del pilar frontal, posee un valor máximo de 25,0mm, muy inferior a la deformación máxima permitida.

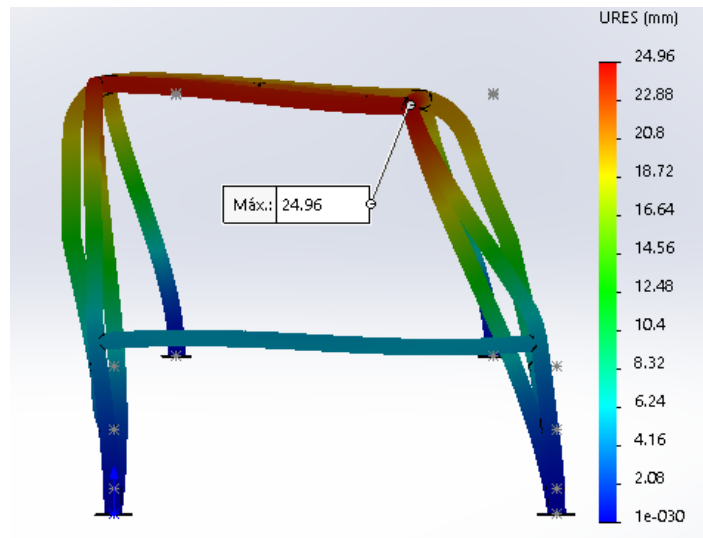


ILUSTRACIÓN 88. DEFORMADA GENERAL DEL ENSAYO ANGULAR DE LA SOLUCIÓN 2.

En tanto que al resto de deformaciones se refiere, se observa un comportamiento prácticamente idéntico al observado en la solución anterior con una deformación máxima en la componente (Z) de valor 24,6mm en dirección (-Z) y una flecha de la componente (Y), en dirección (-Y), de 5,0mm.

Así, puede observarse una importante reducción de la deformación vertical, más de 3mm, respecto a la solución propuesta 1. Este es el motivo que impulsa a instalar los refuerzos del parabrisas ya que, en caso de vuelco, protegen mucho más a

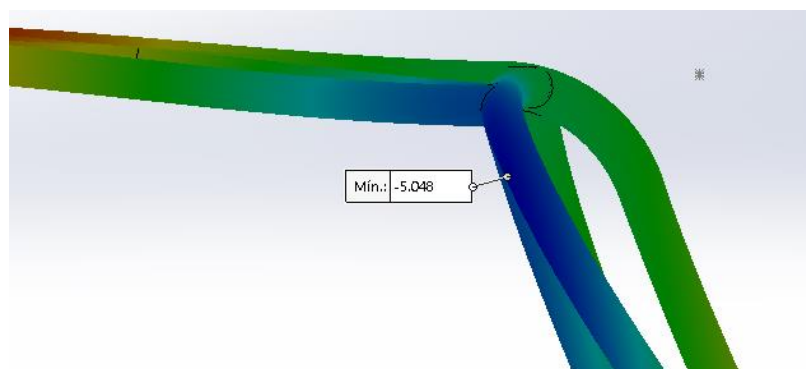


ILUSTRACIÓN 89. DEFORMACIÓN VERTICAL EXPERIMENTADA POR EL SEMIARCO LATERAL EN SU ZONA SUPERIOR.

los ocupantes que un aumento del espesor de los elementos.

De esta forma, aunque el resultado de la deformación máxima aumente respecto de la solución propuesta 1, el hecho de proporcionar mucha mayor protección frente a vuelcos y, sobre todo, el aumento de rigidez torsional generado, hacen de esta una mejor solución para el refuerzo de la zona delantera.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 25,0mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 100,0mm \quad (25)$$

7.3.2.2 ENSAYO 2

7.3.2.2.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

Los resultados de las tensiones obtenidas son prácticamente iguales en distribución a las que se recogieron en el Ensayo 2 de la Estructura que contaba con los espesores aumentados, con los valores máximos situados justo en la zona superior de la barra superior del arco principal, donde termina la doblez.

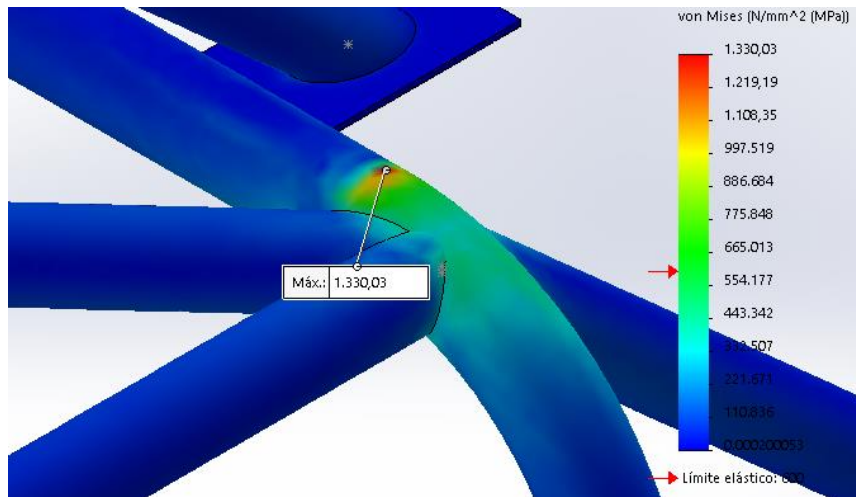


ILUSTRACIÓN 90. TENSION MÁXIMA GENERADA EN LA CURVATURA SUPERIOR DEL ARCO PRINCIPAL EN EL ENSAYO VERTICAL.

En cuanto a las tensiones equivalentes del pilar vertical del arco principal, en ambas configuraciones se ha logrado disminuir la tensión que aparece en las dobleces inferiores pues, para esta nueva geometría, la tensión máxima es de 488,57 MPa.

Por otro lado se observa que, a diferencia de la configuración con el espesor de los semiarcos laterales aumentado, en esta nueva disposición geométrica la tensión de Von Mises en la barra superior del arco principal sí ha disminuido, aunque muy ligeramente, hasta los 1.330,03 MPa.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.330,03 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (26)$$

De esta manera, todo y que se ha mejorado ligeramente el comportamiento general de la parte trasera, los resultados siguen siendo **NEGATIVOS**.

7.3.2.2.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Las deformaciones experimentadas en dicho ensayo obedecen el mismo patrón que en los ensayos verticales anteriores, es decir, la flecha máxima generada en toda la estructura de seguridad aparece en al dobléz del pilar vertical del arco principal con un valor máximo de aproximadamente 4,6mm.

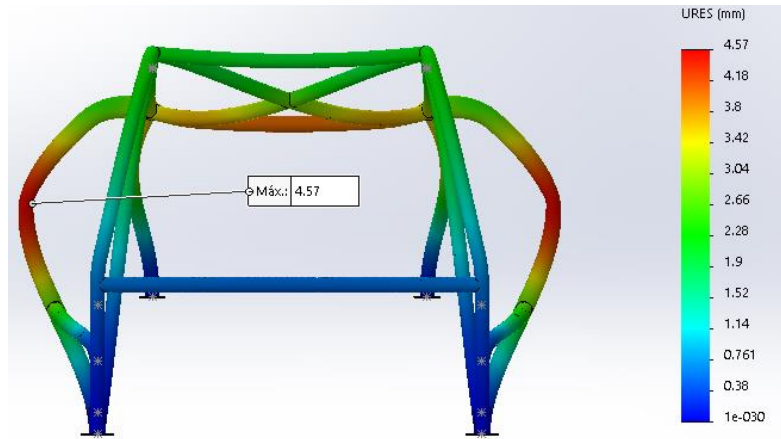


ILUSTRACIÓN 91. RESULTADO DE LA DEFORMADA GENERAL OBTENIDA EN EL ENSAYO VERTICAL.

Finalmente, la deformación máxima en la dirección de aplicación de la carga se encuentra en el centro de la barra superior del arco principal, siguiendo una distribución idéntica a la generada en los ensayos verticales anteriores, y tiene un valor de 3,5mm.

De esta manera se observa una reducción en las deformaciones muy parecida a la conseguida con el aumento de espesor de los tubos haciendo, así, que el resultado del ensayo sea muy **POSITIVO**.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 3,5mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 50,00mm \quad (27)$$

7.4 SOLUCIÓN ADOPTADA

Como se observa, las soluciones adoptadas mejoran, ambas, el comportamiento de la estructura en cuanto a deformaciones se refiere, pues la incorporación de los pilares del parabrisas limita en gran medida las deformaciones frontales en la dirección (-Y) mientras que el aumento de espesor y diámetro externo del perfil consigue reducir en mayor manera las deformaciones absolutas experimentadas por el habitáculo.

Si, en cambio, hacemos caso a las tensiones equivalentes de cada ensayo, vemos que el aumento de la sección de los perfiles permite reducir en casi 80 MPa más la tensiones de Von Mises máximas en la zona delantera de la estructura. En cambio, la inclusión del pilar del parabrisas genera una reducción de las mismas pero en la zona superior del arco principal.

Puesto que en ambos casos resulta necesario reducir el nivel de las tensiones equivalentes máximas que se obtienen en cada uno de los ensayos se va a adoptar la medida de incorporar, conjuntamente, ambas soluciones.

De esta manera, se pretende estudiar si con esta nueva configuración frontal se consigue reducir, sin necesidad de añadir más refuerzos en la parte delantera, las tensiones de Von Mises que aparecen en la parte superior del semiarco lateral.

8 MODIFICACIÓN 2

Debido a que los resultados de las tensiones equivalentes máximas en la zona delantera, como bien se ha comentado en los estudios de las anteriores soluciones propuestas, muestran valores todavía superiores a los límites establecidos y con el fin de evitar introducir nuevos elementos de refuerzo en los laterales, que pudiere dificultar la evacuación del vehículo en caso de accidente, se plantea la posibilidad de combinar ambas formas de refuerzo en la parte frontal de la estructura.

8.1 PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

8.1.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

El primer paso será abrir el documento donde se encuentra definida la Modificación 1 con la Solución propuesta 2, es decir, la que contiene los pilares del parabrisas. Esto, permite aligerar el proceso de creación del nuevo modelo pues resulta más rápido modificar los croquis que contienen las secciones de los elementos que no volver a definir la geometría del refuerzo del pilar del parabrisas.

Seguidamente, se modificarán las secciones de los perfiles de los semiarcos laterales, del tirante transversal superior y del tirante transversal frontal inferior, hasta conseguir una sección de 42,0 x 3,0mm. Para ello se seguirá el mismo procedimiento descrito en el Apartado 7.2.1.

Como el vehículo posee un peso muy bajo, situándolo bastante por debajo del mínimo establecido, conseguir la Estructura de seguridad más ligera posible no es la prioridad, por el contrario, se buscará ofrecer el máximo nivel de seguridad posible a los ocupantes del vehículo. De esta manera, ambos refuerzos del parabrisas verán aumentadas las secciones de sus secciones hasta conseguir el mismo perfil (42,0 x 3,0mm) que el resto de elementos dispuestos en la parte delantera del habitáculo.

8.1.2 PROCESO DE SIMULACIÓN

8.1.2.1 ENSAYO 1

8.1.2.1.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

El objetivo de la segunda modificación residía, fundamentalmente, en la reducción de las tensiones equivalentes que aparecían en la zona de unión de la doblez superior del semiarco lateral.

De esta manera, se observa como la acción combinada de ambas soluciones ha dado como resultado una notable disminución de las tensiones que se concentraban en dicha zona. Así, se pasa de los 1.055,35 MPa, que era el mejor resultado hasta la fecha, a los 823,90 MPa de este ensayo, más de 100 MPa por debajo del límite establecido.

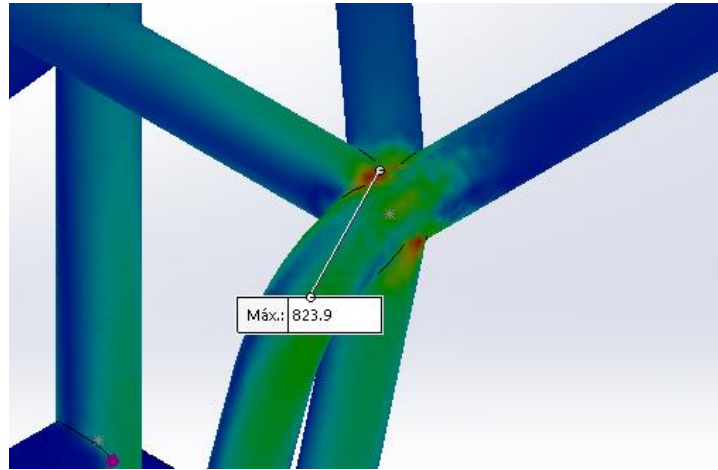


ILUSTRACIÓN 92. DETALLE DE LAS TENSIONES EQUIVALENTES OBTENIDAS EN LA ZONA DE UNIÓN SUPERIOR DELANTERA.

Asimismo, se observa cómo trabaja el refuerzo del parabrisas, soportando las solicitaciones a compresión a que se encuentra sometida la estructura en su parte delantera. Por ello, surgen elevadas tensiones en su unión con el semiarco lateral, aunque son menores que la tensión de Von Mises máxima aparecida en la totalidad del conjunto.

Por otro lado, el resto de elementos no sufre mayores problemas ya que raramente se superan los 480 MPa en las otras partes del entramado tubular donde existe una concentración de tensión.

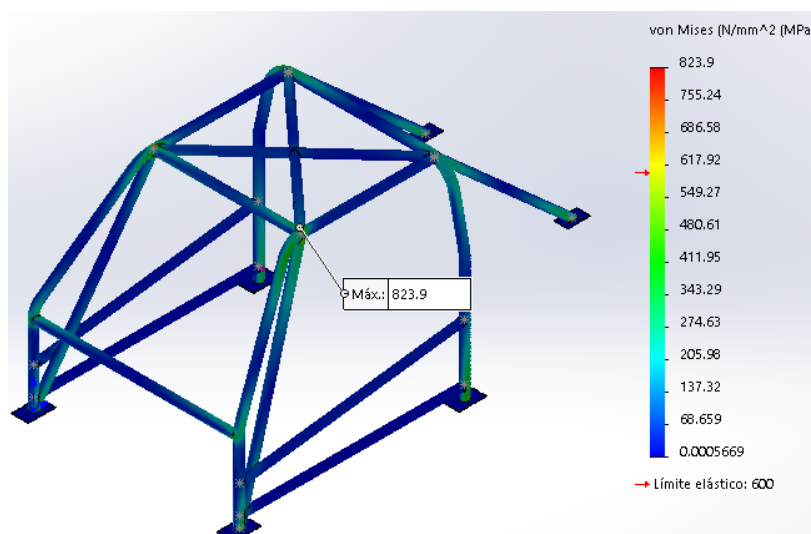


ILUSTRACIÓN 93. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LA ESTRUCTURA FRENTE A TENSIONES DURANTE EL ENSAYO ANGULAR.

Este hecho habla muy bien del nuevo comportamiento del conjunto pues es capaz de distribuir la energía total del ensayo de forma bastante homogénea a todo el conjunto, evitando así forzar alguna zona en particular.

Finalmente, se concluye que el ensayo angular de la parte frontal arroja resultados **POSITIVOS** que permiten, ahora sí, dar por válida esta configuración geométrica para la zona frontal de la estructura.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 823,90 \text{ MPa} < \sigma_R \quad (28)$$

8.1.2.1.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Observando el análisis de la deformada de la estructura, se ve cómo el valor máximo se ha reducido entorno al 50% en comparación con el análisis de la estructura base, pasando de 35,7mm a 19,2mm.

Asimismo, con el trabajo conjunto de las dos soluciones planteadas en el Apartado 7, se consigue una reducción de 5mm respecto al mejor resultado conseguido con anterioridad.

No obstante, la forma de trabajar que posee el habitáculo se mantiene inalterable, de forma que puede observarse como la zona delantera conserva una misma manera de deformarse.

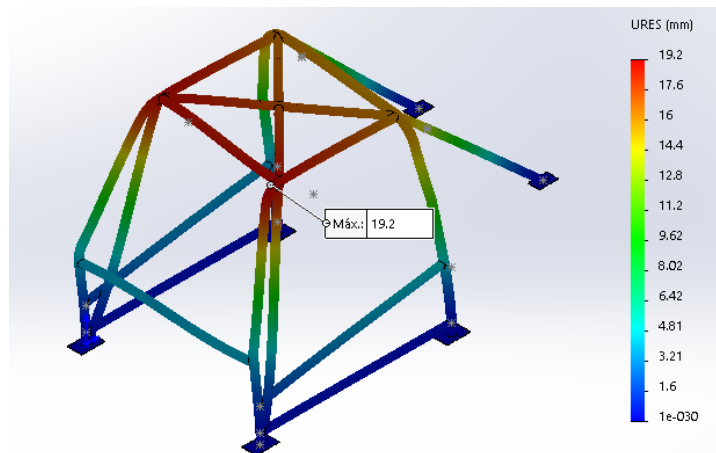


ILUSTRACIÓN 94. DEFORMADA RESULTANTE DEL ENSAYO FRONTAL ANGULAR.

En cuanto a la deformación vertical máxima, acaecida en dirección (-Y), se ha conseguido reducir, aún más, su valor fijándose, éste, en los 3,8mm y, nuevamente, se encuentra desplazado de la zona de unión de los elementos superiores lo que refuerza la elección de instalar los refuerzos del parabrisas, ya con ello se consigue reforzar de forma efectiva la zona más desfavorable, a priori, de todo el entramado estructural.

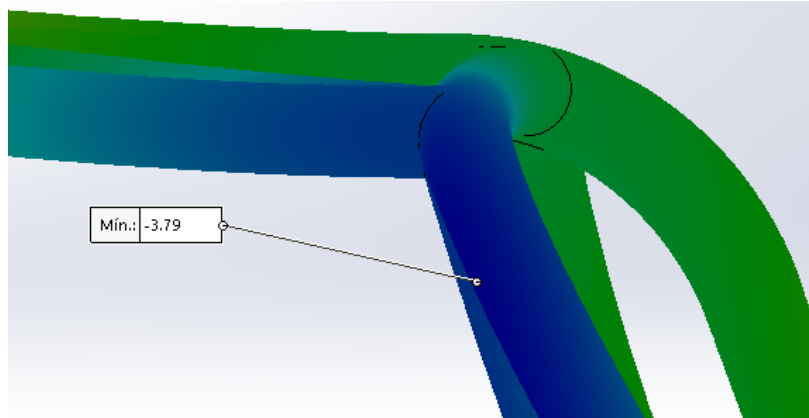


ILUSTRACIÓN 95. VISTA FRONTAL EN DETALLE DE LA DEFORMACIÓN VERTICAL DE LA CURVATURA SUPERIOR DEL SEMIARCO LATERAL.

Finalmente, la flecha máxima que se obtiene en la componente (Z), aparece en dirección a los ocupantes del vehículo, es decir, en dirección negativa de la componente (-Z) y posee un valor de 19,0mm lo que, nuevamente, apoya la elección de emplear una solución final combinada de las dos soluciones propuestas en el Apartado 7.

$$\varepsilon_{DIR.APLICACIÓN_{MÁX}} = 19,2mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 100,0mm \quad (29)$$

8.1.2.2 ENSAYO 2

8.1.2.2.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

Aunque el objetivo de la segunda modificación no era mejorar el comportamiento de la parte trasera y, en particular, del arco principal siempre es importante asegurar que las mejoras o la introducción de nuevos elementos en una zona en particular de la estructura no producen una disminución de las propiedades resistentes en otras zonas del conjunto.

De esta forma se puede ver cómo, una vez reforzada la geometría de la zona delantera, en la parte central y trasera se sigue produciendo un comportamiento, no correcto, pero si aceptable en comparación a los resultados de estudios anteriores, pues vemos que no solo no han empeorado sus características resistentes, sino que, incluso, se ha logrado una mejora notable con una disminución de alrededor 200 MPa en los valores máximos. Este hecho es debido a la mayor cantidad de energía que son capaces de absorber los elementos estructurales laterales.

Así, la tensión equivalente máxima obtenida tiene un valor de 1.131,90 MPa y se sitúa, como en el resto de configuraciones estudiadas, en la zona de unión superior del arco principal.

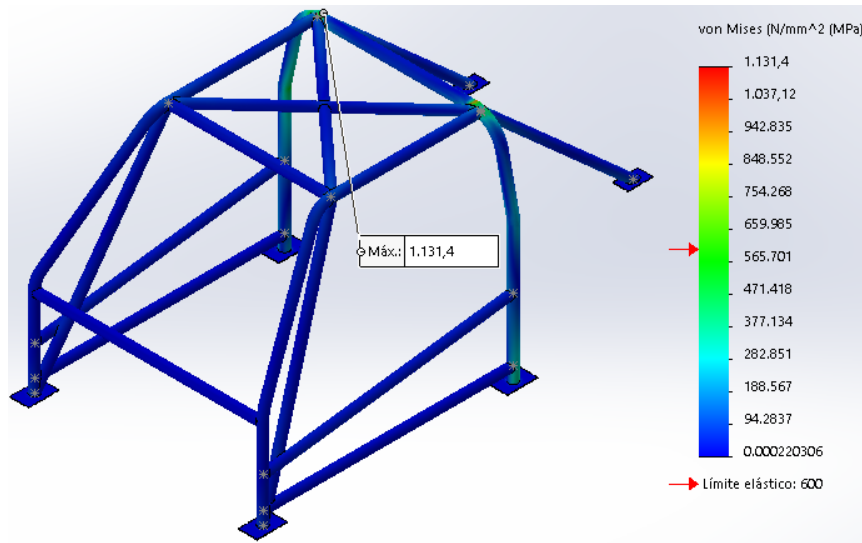


ILUSTRACIÓN 96. DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LAS TENSIONES EN LA ESTRUCTURA DURANTE EL ENSAYO VERTICAL.

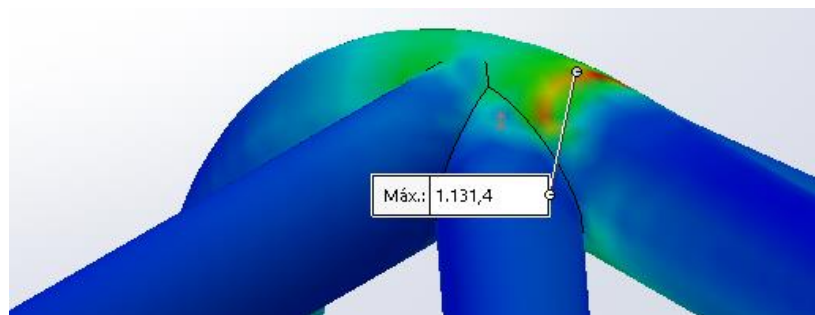


ILUSTRACIÓN 97. VISTA EN DETALLE DE LA TENSION DE VON MISES EN LA CURVATURA SUPERIOR DEL ARCO PRINCIPAL.

Resulta destacable, además, el bajo nivel de esfuerzo al cual se encuentra sometido el resto de la estructura, pues, a excepción del arco principal y la zona de los tirantes longitudinales traseros que configuran la zona menos resistente de todo el entramado tubular, en ninguna otra parte aparecen concentraciones de tensiones mayores a los 200 MPa. Este hecho habla muy bien de la forma de distribuir los esfuerzos que posee toda a zona delantera.

No obstante, el resultado general del ensayo es **NEGATIVO** pues se siguen superando los valores máximos permitidos para las tensiones de Von Mises.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 1.131,40 \text{ MPa} > \sigma_R \quad (30)$$

8.1.2.2.2 ANALISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

La distribución de las deformaciones sigue exactamente el mismo patrón que el resto de ensayos verticales realizados en las configuraciones anteriores.

Se observa que la deformación máxima ha disminuido ligeramente en relación al mejor de todos los resultados obtenidos con anterioridad, pasando de 4,6mm a 4,5mm.

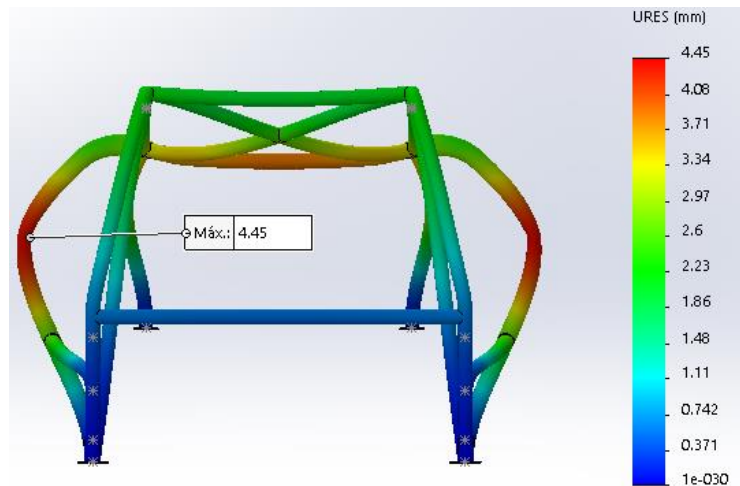


ILUSTRACIÓN 98. PATRÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DEFORMADA RESULTANTE.

En cuanto a la deformación vertical que experimenta el arco principal, disminuye entorno a 0,1mm hasta situarse en los 3,4mm

Como sucede en el resto de estudios, los resultados obtenidos son tremendamente **POSITIVOS**.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 3,4mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 50,0mm \quad (31)$$

9 MODIFICACIÓN 3

El modelo estructural sigue presentando una serie de problemas que impide que sea homologable a día de hoy por un ADN. Por un lado, no posee aún todos los elementos de instalación obligatorios que se exigen para nuevas homologaciones a partir del 01.01.2017. Por otro lado, las tensiones equivalentes máximas que aparecen en la parte superior del arco principal, durante la realización del Ensayo 2, siguen siendo muy elevadas pues superan ampliamente los 950,00 MPa que es el límite marcado por el valor de la resistencia a la tracción del material.

9.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Como es obligatorio por el Reglamento FIA se va a proceder a la instalación de un refuerzo interior en el arco principal en forma de “X” y, a su vez, de un refuerzo diagonal que una los 2 tirantes longitudinales traseros. Dichos elementos tienen, además, la finalidad de rebajar el nivel de tensiones que aparece en la barra transversal superior del arco principal, gracias a una mejor distribución de los esfuerzos hacia la zona inferior de la estructura y puntos de anclaje que, a su vez, disiparán esta energía al resto del chasis.

Además, debido a la necesidad de incorporar una zona de anclaje para los arneses de seguridad, sobre los tirantes longitudinales traseros se va a colocar una barra transversal que permita cumplir, a su vez, las exigencias geométricas de instalación de los mismos.

9.2 PROCESO DE SIMULACIÓN

9.2.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

Para comenzar, se abrirá el archivo que recoge la Modificación 2 con la combinación de las dos soluciones anteriormente planteadas, pues ha resultado ser la opción escogida para mejorar la parte delantera del habitáculo de seguridad.

A continuación, se define la geometría del refuerzo en “X” que posee el arco principal. Para ello se situará, en primer lugar, un eje auxiliar de trabajo que una los dos puntos extremos del refuerzo situados, uno en el centro de la placa de anclaje y otro en el centro de la barra donde se unen todos los elementos superiores de la estructura. El siguiente paso consiste, como en el resto de elementos, en situar un plano de trabajo auxiliar, perpendicular al eje y, desfasarlo 500,0mm para poder definir sobre él la sección del perfil tubular de 40,0 x 2,0mm a través de un “Croquis 2D”. Una vez terminada la definición de la sección se realiza una Extrusión, dotando así de volumen a la barra.

El proceso de creación de la barra complementaria del refuerzo es exactamente el mismo que acaba de ser descrito.

Para crear el refuerzo diagonal de los tirantes longitudinales traseros se trabajará de forma análoga. Se empieza situando un eje de trabajo auxiliar que une el pie de anclaje con la unión superior opuesta del refuerzo trasero. seguidamente, se situa el plano auxiliar de trabajo sobre el cual definir la sección transversal de la barra de 40,0 x 2,0mm y, finalmente, una vez concluido el Croquis 2D se procede a extruir la sección para dar lugar al refuerzo diagonal.

Para concluir la Modificación de la parte trasera se procede a instalar una barra transversal que una los dos tirantes longitudinales traseros y sobre la cual poder sujetar los arneses de seguridad del piloto y el copiloto.

Teniendo en cuenta la configuración geométrica de los bacquets, la altura de salida de los tirantes superiores de los arneses es de 640,0mm respecto a la cota 0 de la estructura de seguridad, y las especificaciones que debe seguir la instalación de los arneses (Apartado 3.2.1.), se situará la nueva barra a una altura de 200,0mm sobre la base superior de los puntos de anclaje traseros.

El proceso de creación de este elemento de soporte comienza con la introducción de un plano auxiliar de trabajo que contenga al eje de uno de los tirantes longitudinales traseros y que, a su vez, sea paralelo al Plano “Alzado”. Dicho plano se deberá desfasar 75,0mm para poder definir, sin interferencias, la sección de la barra mediante un “Croquis 2D”.

Para poder definir la geometría de la sección se empleará, en primer lugar, la herramienta “Línea Constructiva” y se acotará hasta los 200,0mm en dirección (+Y), desde la base superior del punto de anclaje trasero. A continuación, se introducirá otra línea de trabajo auxiliar, perpendicular que intersecte al eje de trabajo. De esta manera, sobre el punto de intersección se genera la sección circular hueca de la barra con “Círculo”.

Finalmente, como el resto de elementos, se realizará un proceso de extrusión que dote de volumen a la barra.

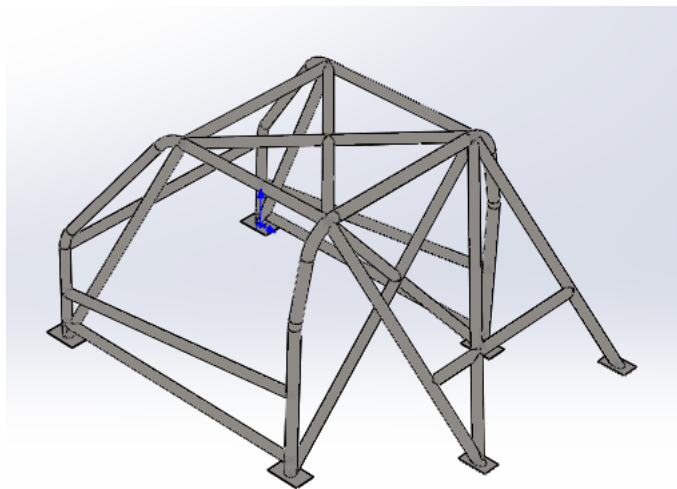


ILUSTRACIÓN 99. GEOMETRÍA DEFINITIVA DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD CON LA SOLUCIÓN

9.2.2 PROCESO DE SIMULACIÓN

9.2.2.1 ENSAYO 1

9.2.2.1.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

Los resultados que se han obtenido con el ensayo angular hablan, fantásticamente, del nuevo comportamiento que posee la geometría con los refuerzos introducidos, ya que se observa una transmisión de cargas muy regular al conjunto de toda la estructura, evitando de esta manera elevadas concentraciones puntuales de tensiones. Consecuentemente, se ha logrado reducir de manera sorprendente la tensión máxima equivalente de la zona delantera hasta los 288,70 MPa logrando, de esta manera, un comportamiento muy fiable frente a la fractura de los perfiles en caso de impacto frontal o lateral.

Este hecho se debe a la absorción de energía que realiza el refuerzo en “X” del arco principal. Dicho elemento, que trabaja a tracción evita un pandeo excesivo del arco principal a causa de la transmisión de cargas, de ahí que se observen valores medios-altos de tensiones a lo largo de la barra diagonal que une la parte superior izquierda del arco principal con el punto de anclaje derecho.

Asimismo, hay que reseñar que la función resistente del refuerzo del pilar del parabrisas es excelente la cual, trabajando a compresión, absorbe una gran cantidad de energía que, de no estar dicho refuerzo, debería ser absorbida por completo por el

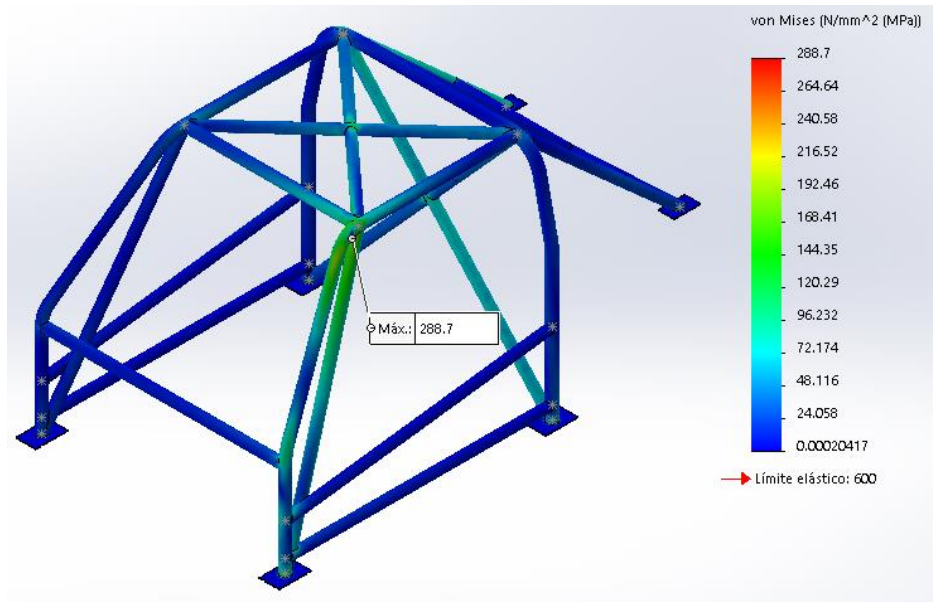


ILUSTRACIÓN 100. DISTRIBUCIÓN DE LAS TENSIONES DURANTE EL ENSAYO semiarco lateral aumentando, así, su nivel de tensiones equivalentes máximas.

En cuanto a los resultados solo cabe destacar que son extremadamente **POSITIVOS**, no necesitando así, incorporar ningún elemento extra de refuerzo para limitar los esfuerzos acaecidos en la parte frontal de la estructura.

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 288,70 \text{ MPa} \ll \sigma_R \quad (32)$$

9.2.2.1.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

En concordancia a los resultados del análisis de las tensiones, se obtiene unos valores para el estudio de las deformaciones tremendamente positivos.

De esta manera, se consigue reducir alrededor de 16mm las deformaciones máximas experimentadas en la zona del pilar frontal del semiarco lateral, situándose en los 2,3mm. Este hecho garantiza que los ocupantes del vehículo no serán golpeados, en ningún momento, por los elementos exteriores de la carrocería a causa de impactos frontales y/o vuelco.

Se da, de esta forma, por **SATISFACTORIO** el análisis de las deformaciones.

$$\varepsilon_{DIR.APLICACIÓN_{MÁX}} = 2,3mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 100,0mm \quad (33)$$

9.2.2.2 ENSAYO 2

9.2.2.2.1 ANÁLISIS DE LAS TENSIONES RESULTANTES

El análisis de las tensiones de este ensayo resulta fundamental para comprender como trabaja el refuerzo en “X” del arco principal.

Primeramente, se observa como el nuevo refuerzo “absorbe” gran cantidad de energía, evitando que sea el arco principal el que deba soportarla. Para ello, lo que hace el nuevo elemento de soporte es distribuir la energía hasta otras zonas de la estructura como los puntos de anclaje y, por consiguiente, al resto del chasis del vehículo.

Este hecho es observable de dos maneras. Por un lado, la tensión de Von Mises de la zona donde se encuentra la doblez superior del arco principal ha experimentado una acusada reducción de sus valores máximos, situándose, éstos, en un valor máximo de 811,85 MPa, lo que supone un decremento de más de 300 MPa en relación al mejor resultado obtenido en todos los ensayos anteriores. Por otro lado, se ve como ha aumentado, notablemente, el valor de las tensiones equivalentes que aparecen en la zona de los puntos de anclaje del arco principal debido a la transmisión de cargas que realiza el refuerzo interior del mismo desde la zona de unión de los elementos superiores hasta la zona más baja de la estructura.

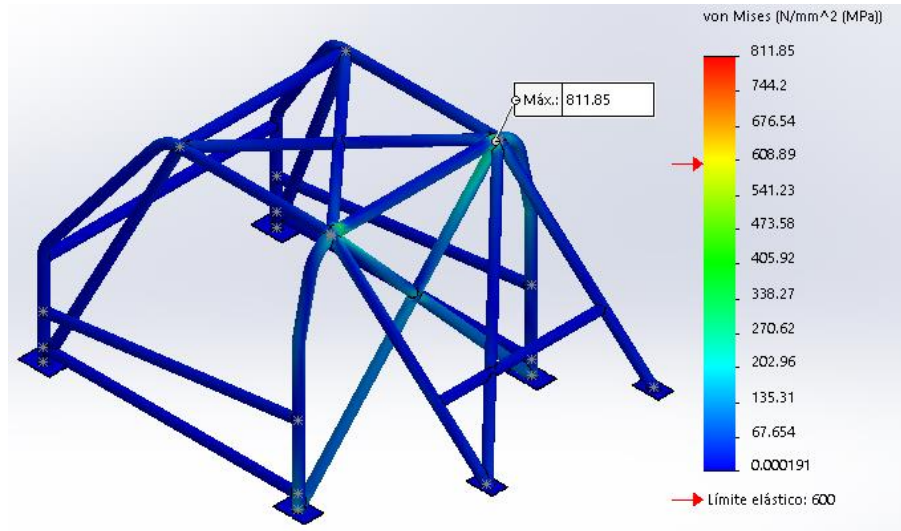


ILUSTRACIÓN 101. RESULTADO GENERAL DE LAS TENSIONES EQUIVALENTES DEL ENSAYO VERTICAL.

Además, observando todo el refuerzo en “X” se contempla como se mantiene una concentración bastante alta, relativamente hablando, respecto al resto de la estructura, sobre todo en la parte delantera, que apenas se encuentra solicitada, obteniéndose concentraciones de tensiones inferiores a los 100 MPa en todo momento.

Consecuentemente, se concluye que, por primera vez, el resultado del ensayo vertical arroja un resultado **POSITIVO** en vistas de proceder a la homologación de la estructura ya que, en todo momento, las tensiones máximas equivalentes se mantienen inferiores al límite establecido de 950,00 MPa

$$\sigma_{VM_{MÁX}} = 811,85 \text{ MPa} < \sigma_R \quad (34)$$

9.2.2.2 ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES RESULTANTES

Estudiando los resultados de las deformaciones obtenidas se pueden sacar dos conclusiones claras que hablan muy bien del nuevo comportamiento del habitáculo de seguridad.

Primeramente, se puede contemplar una enorme rigidez y resistencia de toda la zona inferior del entramado tubular el cual, a pesar de la elevada fuerza aplicada durante el ensayo, apenas sufre deformaciones observables, no superando nunca 1mm de deformación.

También se puede ver como son los 2 refuerzos en “X” instalados, el del arco principal y el refuerzo de la parte superior, los que absorben y redistribuyen la mayor parte de la energía del ensayo experimentando, de esta manera, una deformación considerable.

Sin embargo, sí que se aprecia una reducción de las flechas máximas muy importante. De esta forma, la mayor deformación que sufre la estructura de seguridad, la cual se sigue situando en la doblez inferior del arco principal, ha visto reducido a la mitad su valor máximo en relación al mejor resultado obtenido en cualquier ensayo anterior realizado, pasando de 4,5mm a 2,0mm.

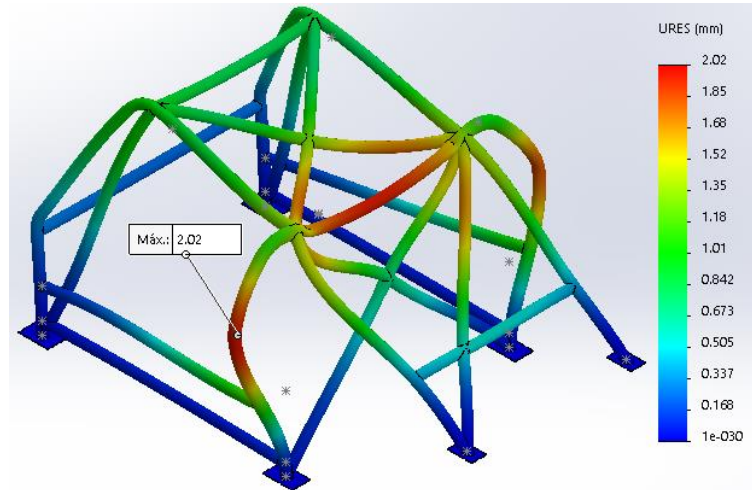


ILUSTRACIÓN 102. DEFORMADA RESULTANTE DEL ENSAYO VERTICAL.

En cuanto a la deformación vertical que aparece en la dirección de aplicación de la carga, valor que se debe a analizar para validar la homologación de una estructura de seguridad, el valor máximo observable se sitúa en la zona media superior del arco principal con un valor inferior a 1,8mm.

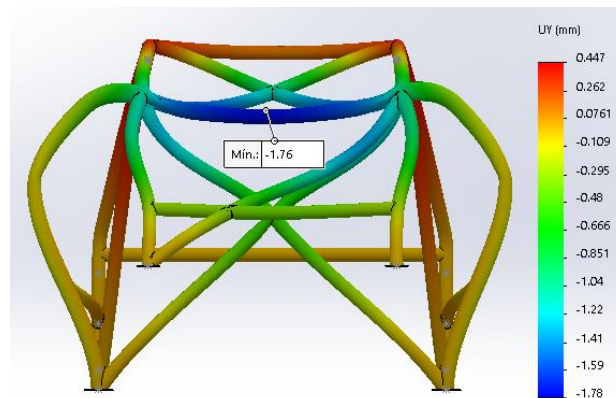


ILUSTRACIÓN 103. VISTA TRASERA DE LA DEFORMADA SEGÚN LA COMPONENTE (Y).

Estos resultados garantizan que el diseño creado es completamente seguro en caso de vuelco. Consecuentemente, se da por **SUPERADO** el Ensayo.

$$\varepsilon_{Y_{MÁX}} = 1,8mm \ll \varepsilon_{MÁX_{PERMITIDA}} = 50,0mm \quad (35)$$

10 ADAPTACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANCLAJE

Como se ha comentado en el Apartado 4.2, los puntos de anclaje de la estructura de seguridad se fijarán al chasis combinando dos métodos de anclaje. Por un lado, se soldará la parte inferior de la placa al chasis a través de un proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), según lo redactado en el Apartado 4.5.

Por otro lado, se añadirá un total de 4 uniones roscadas, métrica M8 según calidad ISO8.8, para cada uno de los puntos de anclaje de la parte delantera y central del habitáculo. En cuanto a los puntos de anclaje traseros, se colocará un total de 3 uniones roscadas, de igual métrica y especificaciones que en la zona delantera.

Su proceso de creación comienza con la introducción de un Croquis 2D sobre la superficie superior del punto de anclaje. A continuación, si dispone empleando el comando “Círculo” y “Cota Inteligente” las geometrías a extruir para realizar los taladrados.

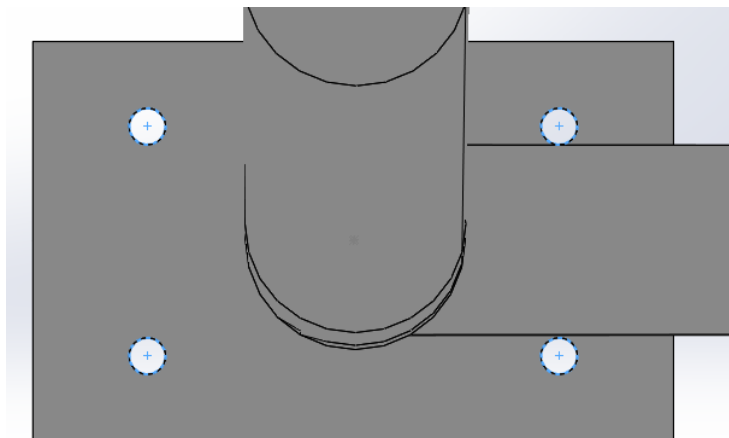


ILUSTRACIÓN 104. VISTA DEL PUNTO DE ANCLAJE EMPLEADO EN LA PARTE DELANTERA Y CENTRAL DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD UNA VEZ INSTALADO.

11 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

Concluido el diseño de la geometría, la solución adoptada, de forma definitiva, es

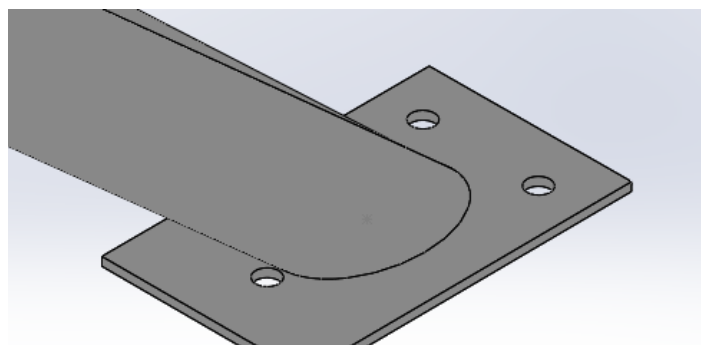


ILUSTRACIÓN 105. VISTA GENERAL DEL PUNTO DE ANCLAJE, YA INSTALADO, EMPLEADO PARA LA FIJACIÓN DE LOS TIRANTES LOGITUDINALES TRASEROS

la planteada en la Modificación 3.

11.1 PERFILES FINALES

La estructura se define a partir de perfiles circulares con 3 geometrías distintas, 45,0x2,5mm, 42,0x3,0mm y 40,0x2,0mm.

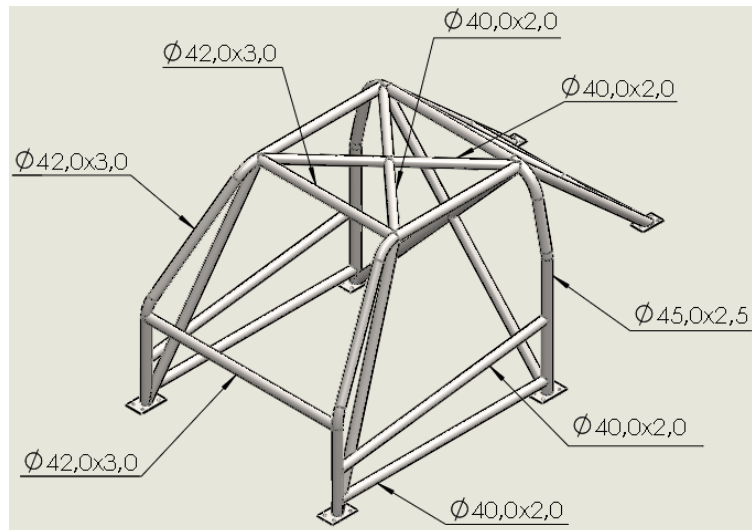


ILUSTRACIÓN 106. PERFILES EMPLEADOS EN LA ZONA DELANTERA DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD.

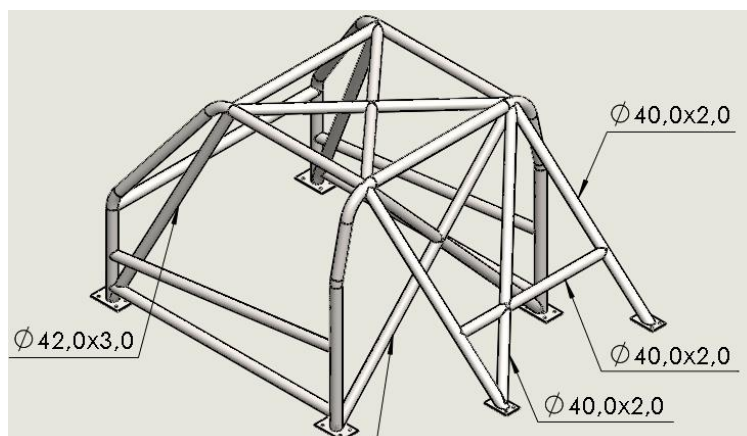


ILUSTRACIÓN 107. PERFILES EMPLEADOS EN LA ZONA TRASERA DEL HABITÁCULO.

11.2 DIMENSIONES DEFINITIVAS

La configuración geométrica del habitáculo posee unas dimensiones totales de 1.850X1.050x1.000mm:

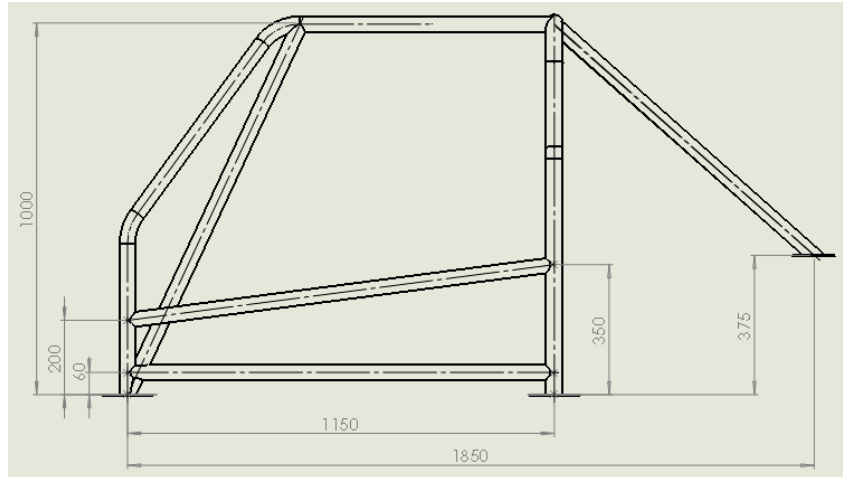


ILUSTRACIÓN 108. DIMENSIONES GENERALES EN LAS COMPONENTES (X) E

11.3 PROPIEDADES FÍSICAS

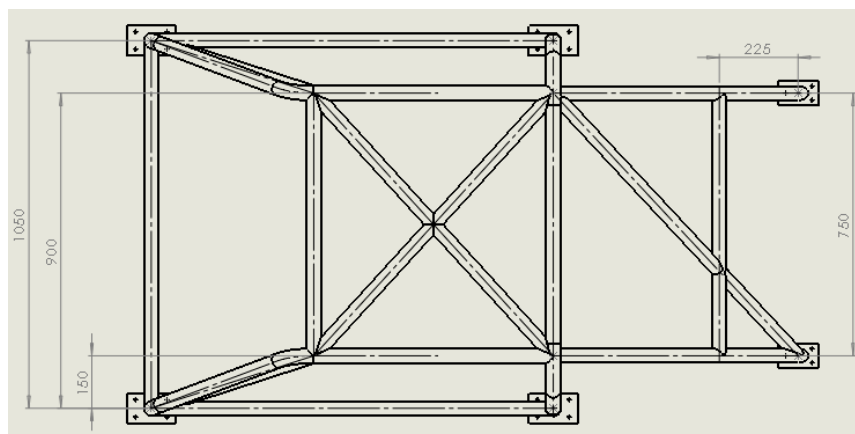


ILUSTRACIÓN 109. DIMENSIONES GENERALES EN LAS COMPONENTES (X) Y

Masa = 53.97 kilogramos
Volumen = 0.01 metros cúbicos
Área de superficie = 5724477.09 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)
X = 736.97
Y = 566.01
Z = 525.13

ILUSTRACIÓN 110. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD EN SU CONFIGURACIÓN DEFINITIVA.

Se observa como el centro de gravedad de la estructura es bastante neutro situándose, aproximadamente, en el punto medio del entramado tubular. Esto, supone un aspecto muy positivo de cara a la maniobrabilidad del coche, pues no producirá un fuerte desajuste en la dinámica del vehículo, dando lugar a un comportamiento relativamente neutro en su conducción.

Esto se debe a que un reparto de pesos orientado hacia la zona delantera del vehículo da lugar a un coche con tendencia al subviraje mientras que si se sitúa mucho peso en la zaga del vehículo se tiende más a provocar un efecto de sobreviraje ya que la inercia, en la zona trasera, aumenta y ésta “empuja” al eje trasero del coche hacia el exterior del viraje.

12 CONCLUSIÓN

Durante la realización del proyecto se ha observado lo sencillo y rápido que resulta crear y analizar, en condiciones reales de funcionamiento, el comportamiento de un producto de ingeniería, que en este caso se trata de un sistema estructural multitubular. Esto se debe a la agilidad para trabajar que ofrecen los softwares CAD y CAE, los cuales permiten definir la geometría del producto para poder realizar los ensayos deseados a continuación. De esta manera, observando los resultados de los análisis, se pueden realizar modificaciones que mejoren el comportamiento o las prestaciones del diseño de partida.

El proceso de estudio de la estructura de seguridad comenzó con la definición de una geometría básica que incluía solamente los elementos esenciales con los perfiles mínimos permitidos. se incluía también el posterior estudio (realizado a través de un análisis estático) de su comportamiento frente a las cargas definidas en los 2 ensayos FIA, de obligado cumplimiento para su homologación. Puesto que los resultados fueron claramente fallidos en relación a las tensiones máximas equivalentes obtenidas, se introdujeron una serie de mejoras en la estructura hasta obtener un diseño (el definido en la Modificación 3) que rebajase el nivel de las tensiones de Von Mises por debajo del límite del valor de la resistencia a tracción del material (950,00 MPa).

De esta forma, se obtienen unos resultados excelentes de acuerdo con los objetivos planteados en la Introducción. Resulta evidente el hecho de que podría haberse realizado un diseño más preciso de la geometría, buscando minimizar el peso final de la estructura. No obstante, no era este el objetivo principal del proyecto, sino que se buscaba generar una configuración del producto que ofreciese el máximo grado de protección a los ocupantes del vehículo, ya que se trata de un diseño que servirá para proteger a los alumnos que compitan en representación del equipo oficial de rally de la Universitat Politècnica de València, SRT UPV.

Personalmente, la ejecución desde cero de un proyecto de ingeniería, destinado a ser implantado en un futuro cercano en un vehículo de competición, ha resultado una experiencia enormemente enriquecedora y gratificante. Por un lado, he aprendido a recopilar la información y normativa necesarias para el desarrollo de cualquier proyecto, de forma que pudiese adaptar desde el principio el diseño del producto a los cánones que se exigen, así como organizar el conjunto de documentos que conforman un proyecto de ingeniería. Por otro lado, he conseguido desarrollar mis habilidades en el uso de softwares CAD y CAE, herramientas necesarias hoy en día en cualquier proyecto de ingeniería. Asimismo, he comprobado lo duro que resulta tratar con proveedores para conseguir presupuestos acerca del suministro de material y conseguir colaboración pues, siendo todavía un alumno, ha sido complicado convencer a las empresas de la futura ejecución material del proyecto.

Realmente pienso que ha valido la pena realizar este proyecto como trabajo de final de grado (TFG) pues me ha permitido desarrollar en gran medida mis habilidades de síntesis de información, seleccionando solamente la normativa válida. Además, he adquirido un mayor grado de autosuficiencia, realizando búsquedas de información acerca de los temas de los que no disponía del conocimiento necesario, como es la ejecución de las soldaduras o la modificación de las propiedades resistentes de los perfiles por el aumento de sección.

En cuanto al resultado final, resulta enormemente gratificante ver como un diseño personal, ejecutado a partir de los conocimientos adquiridos durante los estudios del grado, será ejecutado de forma material e instalado en un vehículo que competirá la temporada próxima en el Campeonato de Rally de la CV. Esto me ha demostrado que con esfuerzo y trabajo se pueden conseguir los objetivos que uno se plantee, pues no hay cosa más ilusionante para mí que poder realizar un trabajo relacionado con el motorsport y, más si cabe, de verlo implantado en un vehículo que yo mismo pilotaré.

Finalmente, como objetivos futuros, me planteo mejorar las propiedades físicas y resistentes de la estructura a partir del diseño definitivo del proyecto de cara a su instalación en temporadas futuras. Ello implica que se llegue a reducir su peso total y se aumente el grado de rigidez que proporciona al vehículo.

13 BIBLIOGRAFÍA

1. Federación Internacional de Automovilismo. [en línea]. Anexo J del Reglamento FIA. 2016 <<http://www.fia.com/regulations/>>. [Consulta: 11 noviembre 2016]
2. CopiRally [en línea]: *Equipamiento de Seguridad Obligatorio*. <<http://www.copirally.com/merca-copirally/equipamiento-del-copiloto/>>. [Consulta: 20 febrero 2017]
3. IngeMecánica [en línea]. <<http://ingemecanica.com>>. [Consulta: 4 abril 2017]
4. MiSEAT127 [en línea]: *especificaciones técnicas del SEAT127 de 2ª Serie*. <<http://miseat127.es/webantigua/id246.htm>>. [Consulta: 20 febrero 2017]
5. AENOR [en línea]: *normas UNE-EN ISO*. <<http://www.ca.aenor.es/aenor/normas/>>. [Consulta: 5 febrero 2017]
6. Gil, Hermógenes (2005). Soldadura, Principios, técnica y equipos. Barcelona. CEAC. [Consulta: 28 marzo 2017]
7. Reina Gómez, Manuel (1988). Soldadura de los Aceros. Aplicaciones. Madrid. Graficas Lormo. [Consulta: 28 marzo 2017]
8. Niemann, G. (1987). Elementos de Máquinas. Volumen I. Barcelona. LABOR. [Consulta: durante todo el proyecto]
9. García Mateos, A. (1974). Dibujo de Proyectos. Bilbao. Ediciones URMO. [Consulta: junio 2017]
10. Gasch Molina, Isabel; Gasch Salvador, Manuel; Galdón Ribes, José Luis; Martín Concepción, Pedro Efrén; Ferrer Ballerster, Ignacio (2013). Resistencia de Materiales. Editorial Universitat Politècnica de València. [Consulta: abril 2017]
11. Callister, William D. (2009). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. AUTOR-EDITOR. [Consulta: marzo-abril 2017]



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE LA JAULA DE
SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE
COMPETICIÓN – PLIEGO DE
CONDICIONES**

Autor

Albert Morales Chover

Director del proyecto

Pedro Efrén Martín Concepción



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Departamento de Estudio de los Medios Continuos y Teoría de
Estructuras

València, junio de 2017

ÍNDICE

1	PLIEGO DE CONDICIONES	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	1
1.3	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	1
2	OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	2
2.1	OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	2
2.2	ÁMBITO DE APLICACIÓN	2
2.3	ELEMENTOS DEL PROYECTO	2
2.4	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE REFERENCIA	3
	A. NORMATIVA DISEÑO Y HOMOLOGACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD	4
	B. NORMATIVA RELATIVA A LA SEGURIDAD DE INSTALACIÓN	6
3	CONDICIONES GENERALES	8
3.1	CONDICIONES FACULTATIVAS	8
	3.1.1 OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA	8
	3.1.2 OBLIGACIONES DEL INGENIERO DIRECTOR DEL PROYECTO	8
3.2	CONDICIONES DE EJECUCIÓN	9
	3.2.1 CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	9
	3.2.2 DEFECTOS EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	9
	3.2.3 DEFECTOS EN LOS MATERIALES DE SUMINISTRO	9
	3.2.4 ENSAYOS	10
	3.2.5 NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD	10
3.3	CONDICIONES ECONÓMICAS	10
	3.3.1 PRECIOS ACORDADOS	11
	3.3.2 CÁLCULO DE COSTES	11
	3.3.3 COMPENSACIONES ECONÓMICAS	11
3.4	CONDICIONES DE LOS MATERIALES	12
	3.4.1 PERFILERÍA	12
	3.4.2 UNIONES ROSCADAS	13
	3.4.3 PROTECCIÓN IGNÍFUGA	13
	3.4.4 PROTECCIÓN DE LAS BARRAS	13
3.5	CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA	14
	3.5.1 MATERIAL Y PERFILES	14
	3.5.2 SOLDADURAS	14
3.6	CONDICIONES DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	15
	3.6.1 PROCESO DE MONTAJE	15
	A. PUNTOS DE ANCLAJE	16
	B. ARCO PRINCIPAL Y REFUERZO INTERIOR	16
	C. SEMIARCOS LATERALES	16
	D. REFUERZOS LATERALES	17
	E. REFUERZO SUPERIOR EN “X”	17
	F. TIRANTES TRANSVERSALES FRONTALES	17
	G. REFUERZO DEL PILAR DEL PARABRISAS	17
	H. REFUERZOS LONGITUDINALES TRASEROS	18
	I. REFUERZO DIAGONAL TRASERO Y ANCLAJE DE LOS ARNESES	18

3.7	CONDICIONES DE APLICACIÓN DE LA PROTECCIÓN TÉRMICA DE LA ESTRUCTURA	18
3.7.1	<i>APLICACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN IGNÍFUGA</i>	19
3.7.2	<i>APLICACIÓN DE LA PINTURA IGNÍFUGA</i>	19
3.8	CONDICIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	19
4	BIBLIOGRAFÍA	20

1 PLIEGO DE CONDICIONES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Pliego de Condiciones de un proyecto es el documento más relevante, desde el punto de vista legal y contractual, a la hora de realizar su ejecución material.

La función del Pliego de Condiciones es regular las relaciones entre el contratista y el director del proyecto señalando los derechos, obligaciones y responsabilidades mutuas con el fin de evitar costosas e innecesarias discusiones logrando, de esta manera, una toma rápida y eficaz de las decisiones de ejecución del proyecto. Para ello, el Pliego recoge las exigencias de naturaleza técnica y legal por las cuales se rige el correcto desarrollo del trabajo.

De esta forma, el Pliego de Condiciones no debe contradecir las leyes, normas y/u ordenanzas nacionales o locales sino complementarlas en aquellos aspectos específicos donde quede ambigüedad alguna. Por este motivo, se abre la posibilidad de consultar a expertos jurídicos cuando las características y condiciones especiales del proyecto así lo requieran.

En su desarrollo resulta aconsejable seguir un proceso de redacción similar al del resto de documentos del proyecto; es decir, comenzando por la definición de los aspectos más generales para terminar con las especificaciones más concretas. De esta manera, se suele dividir la redacción del documento en 3 capítulos o apartados:

- Descripción general del proyecto.
- Condiciones generales.
- Condiciones particulares.

1.2 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

El Pliego de Condiciones Generales recoge, básicamente, una descripción del contenido del proyecto y, a su vez, de sus principales características, así como de los aspectos legales y administrativos que envuelven su puesta en marcha.

1.3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

Recoge el conjunto de especificaciones técnicas sobre los materiales y el equipo que resulta necesario para la realización material del proyecto.

2 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

Se describe de forma general el ámbito y el alcance del proyecto, desarrollando las distintas unidades constructivas.

2.1 OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

En este documento se aborda el Pliego de Condiciones que regirá el diseño e instalación posterior de una Estructura de Seguridad para un vehículo modelo SEAT 127. De esta forma, se recogerán las exigencias de índole técnica y legal que rigen la correcta ejecución del proyecto. Por dicho motivo, se incluye el conjunto de leyes y normas que se han contemplado para su redacción, así como una referencia a todos aquellos aspectos inesperados en la ejecución del proyecto como unidades de obra no contempladas, a priori, o retrasos en los plazos de ejecución del encargo. Consecuentemente, se buscará la claridad y la concisión a la hora de elaborar el documento. No obstante, la repetición de apartados en el Pliego de Condiciones en referencia al total del proyecto, no supone ningún problema pues es preferible la reiteración de conceptos antes que el olvido de información, la cual puede llevar a graves problemas de entendimiento entre los diferentes integrantes del proyecto y acarrear situaciones desagradables de índole legal.

2.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

El presente Pliego de Condiciones se refiere al estudio y construcción de un Habitáculo de Seguridad para ser instalado en un vehículo de competición, modelo SEAT 127 propiedad del equipo de rally de la Universitat Politècnica de València.

Todo ello, se halla reglamentado según el Artículo 253-8 del Anexo J de la FIA donde se recogen las especificaciones técnicas que deberá cumplir una Estructura de Seguridad en relación a su instalación en un vehículo perteneciente al Grupo A, N o R-GT. Quedan, como consecuencia, excluidas las estructuras realizadas con aceros al carbono, aceros aleados o con propiedades especiales como los aceros inoxidables por no cumplir los requerimientos relacionados con la composición química que deben cumplir los aceros. Así mismo, quedarán excluidas de toda posibilidad de homologación aquellos diseños planteados con materiales compuestos como la fibra de carbono o la fibra de vidrio por poseer una muy baja ductilidad, dando como resultado fracturas en los componentes sin posibilidad de deformación plástica, la cual permite absorber de forma más progresiva la energía del impacto.

2.3 ELEMENTOS DEL PROYECTO

Los elementos fundamentales que definen el desarrollo del proyecto son:

- **VEHÍCULO:** El vehículo que se pretende rigidizar, aumentando su nivel de seguridad en caso de impacto o vuelco, es un SEAT 127 de 2ª Serie. Dicha montura posee unas dimensiones exteriores de 3.595 x 1.527 x

1.370mm con una batalla de 2.225mm y su peso, en vacío, se sitúa en 720Kg aproximadamente.

La estructura portante del vehículo se compone de una carrocería monocasco, elaborada como una sola pieza conjunta, fabricada en acero.

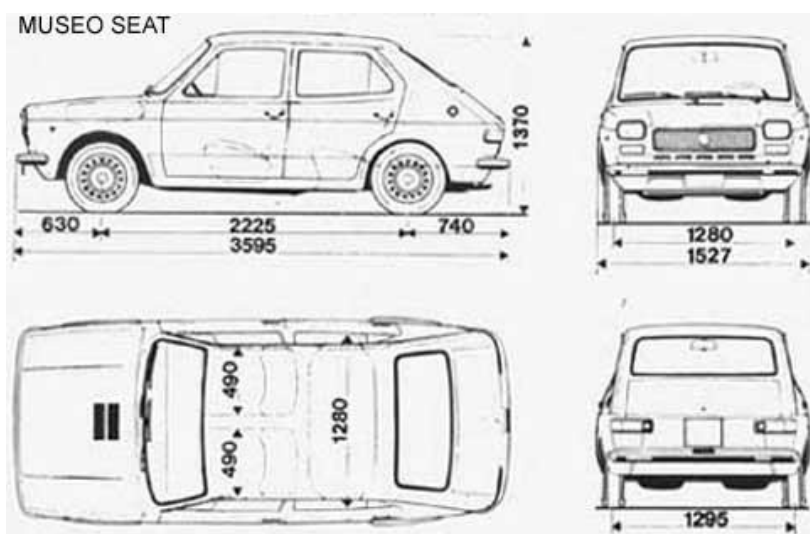


ILUSTRACIÓN 1. MEDIDAS EXTERIORES DEL SEAT 127 DE 2ª SERIE.

- **ESTRUCTURA DE SEGURIDAD:** La Estructura contará con unas dimensiones exteriores de 1.850 x 1.050 x 1.000mm y se fabricará, íntegramente, en 25CrMo4 que cumple con todas las limitaciones impuestas por la reglamentación además de poseer una buena soldabilidad, propiedad fundamental para poder ensamblar los distintos elementos que componen la estructura en su conjunto.
- **TALLER:** El espacio donde se realizará el ensamblaje y la instalación de los distintos elementos que conforman el Habitáculo es un taller situado en L'Elia, València, que dispone de todos los permisos en relación a materia de seguridad para poder realizar soldaduras y trabajos en vehículos.
Dicho taller dispone de un elevador y de todo el material de trabajo necesario para desmontar por completo el interior del vehículo de forma que se pueda proceder a trabajar en él.

2.4 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE REFERENCIA

Antes de iniciar el proceso de diseño encargado a la dirección facultativa se deberá recopilar toda la normativa existente en relación a las especificaciones técnicas que tiene que reunir dicho diseño, así como la posterior reglamentación que se deba respetar durante la construcción e instalación de la Estructura de Seguridad en el vehículo en su estancia en taller.

Por ello, en caso de duda acerca de la legalidad de un aspecto de proyecto, se puede y se debe recurrir al asesoramiento legal por parte de juristas o expertos en la materia.

A. NORMATIVA DISEÑO Y HOMOLOGACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

- **ANEXO J 2016-ARTÍCULO 253.8. Estructuras de Seguridad (Grupo A, N, RGT). 04/03/2016. Federación Internacional de Automovilismo FIA.**

Regula la disposición geométrica de los distintos elementos que configuran la Estructura de Seguridad completa, estableciendo los perfiles mínimos que deberán usarse para cada uno de los componentes, así como las pruebas que se tendrán que realizar al diseño para conseguir su homologación.

Estipula, también, las propiedades mecánicas y químicas que debe cumplir el material de fabricación para poder validar el diseño. De esta manera, aunque se consigan resultados positivos en relación a las tensiones equivalentes y deformaciones obtenidas, si dicho material no se ajusta a los cánones estipulados, el diseño no se considerará homologable.

- **FIA STANDARD 8853-2016. Arnese de Seguridad. 15/10/2016. Federación Internacional de Automovilismo FIA.**

Esclarece cómo es la disposición geométrica que debe seguir la colocación de los arneses de seguridad una vez instalados en el vehículo junto al resto de modificaciones. Así mismo, recoge como se deberán realizar los anclajes a la Estructura de seguridad.

- **UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenido en ensayos de reacción al fuego.**

Es la normativa que deberán cumplir aquellos productos que se empleen durante el proyecto para elaborar el recubrimiento resistente de la Estructura en caso de incendio. Resulta fundamental asegurar un buen comportamiento aislante pues no es deseable una reducción de las propiedades mecánicas de la protección a causa de las elevadas temperaturas, que pueda suponer un peligro para los ocupantes en caso de accidente inmediatamente seguido.

- **UNE-EN 13381-4:2014. Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales. Parte 4: Protección pasiva aplicada a elementos de acero. 10/09/2016.**
- **UNE 48282:1994. Pinturas y barnices. Evaluación del rendimiento superficial específico. 04/02/1994. Revisado el 16/05/2014.**

Regula la superficie que puede ser protegida por cantidad volumétrica de producto asegurando, en todo momento, que no se produce una pérdida de protección por errores en el proceso de imprimado.

- **UNE 48283:2005. Pinturas y barnices. Ensayo de repintado después del secado. 1/02/2005. Revisado el 16/05/2014.**

Esclarece como se debe realizar el proceso de aplicación de la capa de repintado para asegurar la máxima protección.

- **UNE 48301:1999. Pinturas y barnices. Tiempos de secado total al tacto. 28/04/1999. Revisado el 16/05/2014.**

Regula el tiempo que debe transcurrir entre la aplicación de las diferentes capas de imprimación para asegurar una protección contra elevadas temperaturas óptima.

- **UNE-EN ISO 8501-2:2002. Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 2: Grados de preparación de sustratos de acero previamente pintados, después de la eliminación localizada de recubrimientos anteriores. Revisado el 30/10/2002.**

Establece como se debe proceder para acondicionar la superficie del acero que compone la Estructura y de las soldaduras antes de realizar la aplicación de la imprimación permitiendo, así, una adecuada adherencia de la protección sobre la superficie.

- **UNE-EN ISO 898-1:2015. Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino. Revisado el 25/03/2015.**

Establece como calcular las propiedades mecánicas de los elementos que conforman las uniones roscadas, a partir de su nomenclatura.

- **ISO 581:2005. Principios generales de los procesos de soldadura.**

Se establece el método, las características geométricas y los materiales de aporte según que metales se desea soldar.

- **AWS-A.5.5 Sistema de clasificación de electrodos.**

Establece tanto las disposiciones geométricas como químicas que debe reunir el electrodo que se ha de empelar según las características de los elementos a soldar.

- **REAL DECRETO 866/2010, de 2 de julio de 2010, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.**

Según se recoge en el Artículo 1 del REAL DECRETO 866/2010:

“Constituye el objeto de este real decreto la regulación del procedimiento para la realización y tramitación de las reformas efectuadas en vehículos después de su matriculación definitiva en España con el fin de garantizar que tras la reforma se siguen cumpliendo los requisitos técnicos exigidos para su circulación.”

Se hace referencia a las autoridades competentes en materia de homologación, las Autoridades Deportivas Nacionales (ADN), y a los requerimientos técnicos que deberá cumplir la modificación que se desee realizar en el vehículo.

El ámbito de aplicación de la norma va dirigido, según el Artículo 2 del documento, a los vehículos acordes a las siguientes condiciones:

“1. Este real decreto se aplicará a todos los vehículos matriculados definitivamente y remolques ligeros (categoría O1) autorizados a circular.”

“2. Este real decreto no se aplicará a los vehículos antes de su matriculación definitiva. Las modificaciones efectuadas en los vehículos antes de su matriculación definitiva deberán estar incluidas en la homologación de tipo o tramitarse a través del procedimiento de homologación individual.”

B. NORMATIVA RELATIVA A LA SEGURIDAD DE INSTALACIÓN

- **REAL DECRETO 1692/2007, de 14 de diciembre de 2007, por el que se establece el título de Técnico en Soldadura y Calderería y se fijan sus enseñanzas mínimas.**

El objeto del Real Decreto establece la finalidad que se persigue con la promulgación de la norma:

“1. El presente real decreto tiene por objeto el establecimiento del título de Técnico en Soldadura y Calderería, con carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, así como de sus correspondientes enseñanzas mínimas.”

“2. Lo dispuesto en este real decreto sustituye a la regulación del título de la misma denominación contenido en el Real Decreto 1657/1994, de 22 de julio.”

Según queda recogido:

“La competencia general de este título consiste en ejecutar los procesos de fabricación, montaje y reparación de elementos de calderería, tuberías, estructuras metálicas y carpintería metálica aplicando las técnicas de soldeo, mecanizado y conformado, y cumpliendo con las especificaciones de calidad, prevención de riesgos laborales y protección ambiental.”

Será de obligado cumplimiento dicha norma para el ensamblaje e instalación de la Estructura de Seguridad en el vehículo para evitar, así, defectos en la elaboración de los cordones de soldadura que puedan perjudicar a la resistencia total del conjunto.

- **ISO 4850:1979. Protección ocular para soldadura y otras técnicas relacionadas**

Establece las condiciones mínimas de seguridad que se respetarán, por el técnico especialista, durante la realización de los procesos de soldadura.

- **REAL DECRETO 455/2010, de 16 de abril, por el que se modifica el REAL DECRETO 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regulan la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos automóviles, de sus equipos y componentes.**

Dispone toda documentación que deberá poseer la instalación, en relación a materia de seguridad y legalidad, para realizar trabajos de reparación y modificación de automóviles con plena garantía de seguridad.

- **NTP 494. Soldadura eléctrica al arco: Normas de seguridad. Año 1998.**

No constituye una disposición legal de obligado cumplimiento. No obstante, como guía de buenas prácticas establecida por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales se recomendará realizar los procesos de soldadura de acorde a los términos establecidos en el documento.

3 CONDICIONES GENERALES

Según lo especificado en el Apartado 1.2., se debe describir de forma clara todas las condiciones de índole facultativa, económica y legal que regirán el completo desarrollo del proyecto acordado por el contratista y el ingeniero encargado de la dirección del mismo.

3.1 CONDICIONES FACULTATIVAS

Las condiciones facultativas establecen y regulan las relaciones entre la Contrata y la Dirección facultativa, derivadas de la ejecución técnica del proyecto.

3.1.1 OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

Será de obligado cumplimiento por parte del contratista, el equipo de rally de la Universitat Politècnica de València Smash Rally Team UPV (SRT UPV):

- Asegurar un total cumplimiento de la normativa vigente en términos de seguridad laboral en el espacio de trabajo.
- Comprobar que las propiedades de los materiales proporcionados por el suministrador se encuentran de acorde a las especificadas en el Pliego de Condiciones.
- Velar por el seguimiento de los plazos de ejecución material del proyecto.
- Supervisar el proceso de construcción de la Estructura, asegurando que se realiza según se recoge en el Pliego de Condiciones.
- Garantizar la actualización de la documentación técnica del vehículo, donde quede recogida la modificación de rigidez de la Estructura. Para ello, una vez instalado el Habitáculo en el vehículo se deberá realizar una homologación de la reforma a través de una Autoridad Deportiva Nacional.

3.1.2 OBLIGACIONES DEL INGENIERO DIRECTOR DEL PROYECTO

Se define al ingeniero director como el máximo responsable de la ejecución del proyecto. De esta manera, debe establecer los plazos de ejecución y la calidad de los procesos de construcción a la vez que esclarece las condiciones de seguridad que se deberán respetar por parte de los responsables de la ejecución material del proyecto.

Consecuentemente, las funciones principales del mismo son:

- Elaborar un diseño que garantice un comportamiento adecuado del componente de acore, en todo momento, a la normativa establecida acerca de los materiales y características que la misma debe reunir para considerarse un diseño válido.
- Establecer el proceso de ejecución del proyecto.
- Supervisar un correcto desarrollo en la realización material de proyecto.

- Asistir técnicamente, tantas veces como sea necesario, al contratista para asegura un correcto montaje del producto.

3.2 CONDICIONES DE EJECUCIÓN

3.2.1 *CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS*

Los trabajos se ejecutarán, estrictamente, en sujeción a lo estipulado en el proyecto o, en su defecto, en las modificaciones puntuales que pueda realizar el director del proyecto durante su elaboración material a causa de imprevistos siempre que las mismas cuenten con el visto bueno de ambas partes y queden recogidas por escrito.

3.2.2 *DEFECTOS EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS*

En la ejecución material del proyecto se empleará, de forma obligatoria, el material fijado en el Pliego de Condiciones pues, por normativa, no se puede realizar una sustitución del mismo puesto que implicaría un cambio radical de las propiedades mecánicas del material con la consiguiente modificación del comportamiento general de la Estructura. Así mismo, invalidaría el proceso de soldadura pues, el mismo, ha sido escogido en función del material que se emplea en la creación del sistema tubular.

En cuanto a defectos en el montaje se deberá ser estrictamente cauteloso en el momento de realizar los mecanizados de los perfiles, dotándolos de su forma definitiva, y en los procesos de soldadura pues, un defecto en el proceso de ensamblaje invalidaría todo el conjunto, haciendo necesaria la instalación completa de otra Estructura completamente nueva.

Será el contratista el que deba asegurar la correcta ejecución de los trabajos de ensamblaje de la estructura, pudiendo ser aconsejado por el director técnico del proyecto en todo momento si fuere necesario.

3.2.3 *DEFECTOS EN LOS MATERIALES DE SUMINISTRO*

Como queda especificado en el Apartado 3.1.1., será obligación del contratista asegurar que los perfiles y materiales necesarios para la elaboración material del proyecto cumplen con sus características resistentes y que no existen defectos en su microestructura que puedan mermar las propiedades mecánicas finales del producto.

En caso de observar algún defecto será el contratista el responsable de asegurar la sustitución de los materiales por otros que se adapten a lo establecido en el proyecto, estando en su peno de derecho de cambiar de suministrador en último caso¹.

¹ Cualquier cambio en el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) a causa de un cambio de suministrador será responsabilidad única y exclusiva, del contratista, eximiendo de toda responsabilidad al director técnico del proyecto.

3.2.4 ENSAYOS

Para asegurar la aptitud de los materiales y componentes usados en la elaboración de la Estructura de Seguridad, el Contratista se encuentra en pleno de derecho a realizar todos los Ensayos que creyere necesarios, corriendo a su cuenta todos los gastos ocasionados por los mismos.

Por otro lado, se realizará una comprobación de todos los cordones de soldadura, con la finalidad de detectar micro-grietas o defectos de penetración del material en la unión. Para ello, se establece una doble comprobación.

En primer lugar, el operario comprobará el comportamiento mecánico de la soldadura, del metal base y de la ZAT a través de un Ensayo de Dureza no destructivo Brinell empleado durómetros portátiles. Por las características de la aleación, aceros al Cromo-Molibdeno con un % en Peso de Cromo menor al 2%, el valor máximo de dureza permitido es de 225. De esta manera, valores superiores invalidarían la operación debiéndose de realizar nuevamente.

Si los resultados del Ensayo de Dureza han resultado positivos, de deberá realizar una segunda comprobación para asegura la inexistencia de micro-grietas que puedan debilitar la unión empleando la inspección por partículas magnéticas².

3.2.5 NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD

Durante la completa ejecución material del proyecto, entendiéndose con ello el proceso de ensamblaje de los diferentes componentes de la estructura y su posterior instalación en el vehículo, todo operario que trabaje en él, deberá respetar, de forma obligatoria y sin excepción, todas las normas básicas de seguridad relacionadas con las actividades de origen mecánico realizadas en taller, así como de elaboración de procesos de soldadura.

Así mismo, los operarios vestirán, durante la plena totalidad del proceso, la ropa de protección que se recogen según la norma **ISO 4850:1979** y el **REAL DECRETO 455/2010, de 16 de abril**.

3.3 CONDICIONES ECONÓMICAS

En la definición de cualquier proyecto resulta fundamental regular las relaciones económicas entre el contratista, el ingeniero responsable del proyecto y las contratadas a terceros, como suministradores o empresas de apoyo auxiliar para la ejecución del proyecto.

Se establece el derecho que poseen todos los intervinientes del proyecto a percibir las cantidades previamente acordadas por su correcta intervención en el proceso de ejecución de acuerdo a las condiciones contractuales estipuladas en el contrato.

² Sí está permitida, corriendo los gastos extras a cuenta del Contratista, la inspección radiográfica. NO se permitirán las inspecciones con líquidos penetrantes ni ultrasonidos.

3.3.1 *PRECIOS ACORDADOS*

El conjunto de precios unitarios de las unidades de obra a los que se hace referencia, tanto en la medición como en la valoración del proyecto, dentro de este mismo documento, incluyen en todo momento los costes de suministro y empleo de todos los materiales intervinientes que son necesarios para la ejecución final del proyecto³.

De forma análoga se incluirá, en los costes de las unidades de obra, los costes relacionados con mano de obra, maquinaria, medidas de protección y gastos generales derivados de los procesos necesarios para acondicionar las unidades de obra según queda acordado que se entregarán en el Pliego de Condiciones.

3.3.2 *CÁLCULO DE COSTES*

El precio final de la Estructura de Seguridad, Precio de la Contrata, viene dado por la suma total de los costes que se recogen en el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), del Beneficio Industrial y de las tasas establecidas para actividades de origen industrial.

Los costes que se integran en el Presupuesto de Ejecución Material son los derivados de los materiales empleados en la fabricación del producto y de la mano de obra⁴ necesaria para su ensamblaje y posterior instalación en el vehículo.

El Beneficio Industrial recoge el margen de ganancias que obtiene el Ingeniero Técnico, responsable de realizar el proyecto, por la ejecución del mismo. Se fija un Beneficio Industrial⁵ del 7% sobre coste del Presupuesto de Ejecución Material del proyecto.

La tasa imponible del 21%, correspondiente al IVA (Impuesto sobre Valor Añadido), se aplica a la suma total de los costes recogidos en el Presupuesto de Ejecución Material y del beneficio Industrial.

3.3.3 *COMPENSACIONES ECONÓMICAS*

Según queda establecido en el presente apartado, se deberá compensar económicamente al director técnico en caso de abandono del proyecto por parte del contratista, debiendo abonar éste un importe igual a los gastos ocasionados hasta la fecha al primero más una cantidad igual de 50% del total de gastos hasta el momento ocasionados, a modo de compensación por daños y perjuicios.

En caso de recibir el contratista, por parte del suministrador, materiales no acordes a las condiciones especificadas, éste se encuentra en pleno derecho de exigir la sustitución de la partida completa sin obligación ninguna de compensar

³ Queda incluido el coste relativo de los ensayos realizados **por el suministrador** para asegurar la calidad de los componentes.

⁴ Los costes de mano de obra incluyen el coste de la maquinaria necesaria para mecanizar los materiales

⁵ Se establece un valor del 7% de acorde a los márgenes de beneficios observados en el mercado actual.

económicamente a la empresa suministradora por ello. En caso extremo, se permite realizar una sustitución de la empresa de suministro sin tener que compensar a la primera.⁶

3.4 CONDICIONES DE LOS MATERIALES

Los materiales empleados deberán reunir las condiciones que se especifican en el presente capítulo del Pliego, permitiendo rechazar aquellos que la dirección facultativa considere que no cumplen con las especificaciones acordadas o aquellos que, tras estudios de comprobación realizados por el Contratista, muestren un comportamiento inadecuado.

3.4.1 PERFILERÍA

La perfilería constituye el material para la elaboración de la geometría de la Estructura de Seguridad. Como material de partida se empleará, según **Norma ISO**, el 25CrMo4 que posee la siguiente composición química:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,250	0,250	0,650	0,035	0,040	0,950	0,200

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL 25CrMo4 EN % EN PESO DE CADA ELEMENTO DE ALEACIÓN.

La aleación deberá poseer unas características mecánicas mínimas:

- Resistencia a la Tracción de 950,00 MPa (N/mm^2).
- Límite Elástico superior o igual 600,00 MPa.
- Módulo Elástico (Módulo de Young) de $212,0 \cdot 10^3$ MPa.
- Elongación a la Fractura del 15,0%.
- Reducción de su área transversal del 60,0%.
- Densidad $7.800 Kg/m^3$.

Se empleará un total de tres perfiles diferentes:

- Perfil de sección **45,0 x 2,0mm**: Para la construcción del Arco Principal.
- Perfil de sección **42,0 x 3,0mm**: Para la realización de los Semiarcos Laterales, de los Refuerzos del Pilar del Parabrisas, del Tirante Transversal Frontal Inferior y para el Tirante Transversal Frontal Superior.
- Perfil de sección **40,0 x 2,0mm**: Empleado en los Refuerzos Laterales, en el Refuerzo Superior en “X”, en el Refuerzo Interior del Arco Principal, en la elaboración de los Tirantes Longitudinales Traseros y en la Barra de Anclaje Transversal de los arneses de seguridad.

⁶ Siempre que pueda demostrarse la incapacidad de la primera de suministrar los materiales según las condiciones estipuladas en el Apartado 3.4.

Los perfiles poseerán un acabado superficial pulido.

3.4.2 UNIONES ROSCADAS

En las Uniones Roscadas utilizadas para anclar la Estructura de Seguridad al chasis se empleará Pernos de cabeza Hexagonal, métrica M8 y calidad ISO 8.8, según **Norma ISO 898-1:2015**, con una longitud pasante de 16,0mm y fabricados en acero inoxidable, con el fin de evitar el desgaste por corrosión de la unión al estar en contacto con la parte exterior inferior del vehículo.

De esta manera, los pernos deberán poseer una Resistencia a la Rotura de 800,00 MPa y, un valor para el Límite Elástico de 640,00 MPa.

Así mismo, las contratueras de fijación serán de métrica M8 con acoplamiento de nylon y realizadas en acero inoxidable.

3.4.3 PROTECCIÓN IGNÍFUGA

Para proteger externamente la Estructura de Seguridad se empleará una imprimación ignífuga que permita mantener las propiedades resistentes en caso de incendio en el interior del vehículo.

Se aplicará, en primer lugar, una capa de imprimación ignífuga, se acorde a la norma **UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010**, sobre la estructura metálica que proporcione una protección frente a la corrosión.

Posteriormente, se incluirá una protección ignífuga mediante la aplicación de una pintura intumescente que posea una resistencia al fuego certificada de acorde a la norma **UNE-ENV 13381-4**.

3.4.4 PROTECCIÓN DE LAS BARRAS

Las barras que se encuentren en una zona próxima a la posición de los ocupantes, deberán llevar un revestimiento acolchado de protección que amortigüe la energía en caso de impacto de los ocupantes del vehículo con ellas.

Para ello, se emplearán fundas de acolchado aterciopelado de la marca OMP.

Los elementos estructurales que se deberá recubrir son:

- Tirante Transversal Frontal Superior.
- Barra superior de los Refuerzos Laterales.
- Zona delantera del Refuerzo en Configuración en “X” de la parte superior de la estructura.
- Parte Superior del Semiarco Lateral.

3.5 CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

3.5.1 MATERIAL Y PERFILES

De acorde a lo descrito en el Apartado 3.4.1., el material empleado para los perfiles que constituyen los diferentes elementos de la estructura será un acero no aleado de contenido medio en carbono, el 25CrMo4 según **Norma ISO** o F222 según nomenclatura **UNE**.

3.5.2 SOLDADURAS

Para una correcta realización de los cordones de soldadura de los perfiles de 25CrMo4 se debe realizar un proceso mixto. De esta manera, se definirá un cordón de raíz mediante el proceso TIG (Tungsten Inert Gas) y, a continuación, se procederá con las pasadas de relleno usando el método de soldadura SMAW, llamada también MMA (Manual Metal Arc).

Para la realización del cordón de raíz, realizado con el método TIG, se tendrán en cuenta las siguientes disposiciones:

- Como material de aporte se emplea electrodos de 25CrMo4.
- Realizar un precalentamiento de la zona de la soldadura con soplete oxiacetilénico, hasta una temperatura de 220°C.
- Mantener una temperatura mínima igual a la temperatura de precalentamiento durante la realización de las distintas pasadas. De esta forma, hay que evitar, en todo momento, descensos repentinos de la temperatura del cordón que pueda favorecer la aparición de estructuras internas de elevada dureza que debiliten y fragilicen la unión.
- Si se produce una interrupción del proceso de soldadura, no continuar el proceso hasta no conseguir una temperatura homogénea en la zona de la soldadura igual a la temperatura de precalentamiento.
- Al final del proceso de soldadura, realizar un post-calentamiento manteniendo una temperatura en la zona del cordón de soldadura igual a la temperatura de precalentamiento durante un tiempo mínimo de 30 min y, seguidamente, reducir la temperatura de forma gradual y progresiva hasta la temperatura ambiente.
- Se empleará, como material para el electrodo no consumible, una aleación de Tungsteno (W) y Torio (Th) de punta afilada, contando el cono con una altura 2 veces el diámetro del electrodo, de forma que se garantice un comportamiento óptimo del flujo del arco eléctrico entre la pieza y el electrodo, permitiendo una penetración adecuada del cordón de soldadura.
- Como el cordón deberá ser de geometría ancha y poca penetración, pues se pretende soldar perfiles circulares huecos, el gas inerte que se empleará durante el proceso de soldeo, para garantizar la neutralidad química del proceso, es el Helio (He).

- La corriente empleada para generar el arco eléctrico será una fuente de corriente continua y el equipo se configurará de forma que el electrodo no consumible se conecte al polo negativo y, la pieza base quede como polo positivo.

En cuanto al proceso SMAW, se respetarán las premisas siguientes:

- Según la **Norma AWS-A.5.5**, se empleará, para la soldadura de 25CrMo4, un Electrodo revestido E8018-B2L, que cuenta con un revestimiento Básico de Gran Rendimiento.
- Se empleará una fuente de corriente continua en la creación del arco eléctrico y se fijará el electrodo al polo positivo.
- Secar antes de cada uso todos los electrodos, para evitar que contengan trazas de agua en su composición⁷.
- Se puede realizar la operación de soldadura según cualquier posición de soldeo.

3.6 CONDICIONES DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

El montaje de la Estructura de Seguridad deberá ser realizado por el contratista en un espacio debidamente acondicionado, según las disposiciones recogidas en el **REAL DECRETO 455/2010, de 16 de abril**, y por personal cualificado en la realización de operaciones de soldadura de acorde a la normativa establecida en el **REAL DECRETO 1692/2007, de 14 de diciembre de 2007**.

Previa a su mecanización o instalación en el vehículo, cada perfil deberá ser revisado con el fin de descartar defectos superficiales o en sus propiedades mecánicas y, en caso que presentaren defectos en su acabado superficial, podrán ser pulidos con el fin de amoldarse a las especificaciones recogidas en el presente Pliego.

3.6.1 PROCESO DE MONTAJE

Durante el proceso de ejecución de la estructura deberá seguirse un orden y respetarse una serie de pautas que, en ningún caso, podrán ser obviadas por el contratista⁸.

Previo al proceso de instalación de la Estructura de Seguridad en el vehículo, se procederá a retirar cualquier elemento interior que pueda haber dentro del mismo y, una vez vaciado, se realizará una operación de decapado y pulido de la pintura interior de la carrocería para asegurar una soldadura adecuada entre los Puntos de Anclaje del Habitáculo y la zona inferior de la carrocería.

⁷ Como consecuencia de la higroscopicidad del material tiende a absorber la humedad ambiente.

⁸ El no respeto del orden fijado en Apartado 3.6.1 del presente Pliego puede ocasionar graves problemas de debilidad estructural.

A. PUNTOS DE ANCLAJE

Los puntos de anclaje se elaborarán usando chapa de acero de 3,0mm de espesor.

El primer paso consistirá en definir la geometría mediante un marcador de acero y, a continuación, empleando una cortadora radial, se generarán de forma definitiva las piezas.

Seguidamente, empleando un taladro con broca para aceros no aleados, se definirán los orificios para las uniones roscadas.

Finalmente, se realizará un pulido de la superficie y se limpiará con disolvente para eliminar cualquier rastro de impurezas que pueda quedar.

B. ARCO PRINCIPAL Y REFUERZO INTERIOR

En primer lugar, empleando una dobladora hidráulica, se conformará la geometría de las dobleces que posee el Arco Principal, de sección 45,0 x 2,5mm, en sus pilares verticales laterales y en la barra transversal superior. Dichas operaciones poseen un radio de curvatura de 135,0mm.

El Arco principal deberá ser, constitutivamente, una sola pieza sin soldaduras intermedias.

Cuando se posea la geometría terminada, se soldarán, siguiendo las pautas descritas en el Apartado 3.5.2., los Puntos de Anclaje centrales al Arco Principal. Dichos elementos deberán haber sido mecanizados, con su configuración geométrica definitiva, anteriormente a su adición al conjunto.

Una vez anexionados los Puntos de Anclaje se procederá a la instalación, a través de una operación de soldeo, de los 2 tirantes diagonales que conforman el Refuerzo Interior del Arco Principal.

Finalmente, se procede a la instalación definitiva del conjunto de elementos que conforma la zona del Arco Principal dentro del vehículo a través de un proceso de soldadura de los Puntos de Anclaje con el chasis y posterior adición de las uniones roscadas.

C. SEMIARCOS LATERALES

Los perfiles tubulares que conforman los Semiarcos Laterales deberán ser mecanizados, de igual forma que el Arco Principal, empleando una dobladora hidráulica. Dicho elemento posee dos dobleces, según las cotas indicadas en los planos, de radio 125,0mm.

Seguidamente, empleando una operación de soldadura se fija el Punto de Anclaje delantero en la base del pilar vertical de Semiarco Lateral.

Para terminar, se sitúan ambos refuerzos laterales en su posición definitiva dentro del vehículo a través de soldeo entre el Arco principal y los Semiarco Laterales. Para la fijación de los Puntos de Anclaje al chasis se emplea el mismo proceso que ha sido descrito para la fijación de los Puntos de Anclaje del Arco Principal.

D. REFUERZOS LATERALES

Para comenzar, se mecaniza el extremo de cada tubo de forma que permita la unión soldada con el resto de elementos. Para ello, empleando una cortadora se realiza un arco de radio 45,0mm en un extremo y otro de radio 42,0mm en el otro extremo, en cada una de las cuatro barras que conformarán los dos refuerzos laterales.

Seguidamente, se procede a pulir el extremo mecanizado, eliminando cualquier rebaba metálica que pueda haber quedado de forma residual.

Finalmente, se procede a su instalación en el vehículo mediante una soldadura que fije el extremo con el arco de 45,0mm con el Arco Principal y el extremo con la muesca de 42,0mm al pilar vertical del Semiarco Lateral, situándose en las cotas estipuladas en plano.

E. REFUERZO SUPERIOR EN "X"

Se mecaniza, igual que en el caso de los refuerzos laterales, los extremos de los perfiles, dotándolos de sendas geometrías y se prepara la superficie para ser soldada, eliminando cualquier defecto de mecanizado que pueda quedar.

A continuación, fuera del vehículo, se dota al conjunto que compone todo el refuerzo superior de su geometría definitiva, antes de ser anexionada al resto de elementos ya instalados.

Por último, se suelda todo el refuerzo al conjunto ya existente.

F. TIRANTES TRANSVERSALES FRONTALES

El orden de instalación de los mismos es indistinto pues sus características resistentes finales no variarán en función del orden de colocación. Así mismo, el orden de colocación tampoco influye en el proceso de aneji3n de futuros refuerzos.

El proceso de instalación es idéntico para ambos Refuerzos, debiendo mecanizarse sus extremos, en primer lugar, para, a continuación, proceder a su instalación definitiva en el vehículo a través de dos operaciones de soldeo, una en cada uno de sus extremos.

G. REFUERZO DEL PILAR DEL PARABRISAS

En primer término, se deberá mecanizar los Refuerzos Laterales de forma que se permita la incorporación, en una sola pieza, del Refuerzo del Pilar del Parabrisas. Para ello, se proyectará la geometría del pilar sobre los refuerzos ya instalados y, empleando un marcador de perfiles metálicos, se delimita la zona que es necesario mecanizar.

A continuación, empleando una cortadora de precisión, se genera la geometría y, como es obligatorio, se acondiciona la superficie de forma que permita realizar uniones de soldadura sin generar defectos en ella que puedan aumentar su dureza y, con ella, la fragilidad de la unión.

En último término, se procede a realizar la unión del refuerzo del Parabrisas al resto de elementos de la Estructura. De esta manera, cada uno de los pilares contará con un total de 4 puntos de unión, uno por unión con cada una de las barras que constituyen el refuerzo Lateral y, una en su base y su parte superior, donde se une con el Semiarco Lateral.

H. REFUERZOS LONGITUDINALES TRASEROS

Primeramente, se realizará la geometría plana inferior que poseen ambos refuerzos traseros empleando una cortadora para, a continuación, pulirla superficie de corte y eliminar cualquier defecto de corte que pueda quedar en la zona.

Seguidamente, se soldará el extremo inferior de cada tubo al Punto de Anclaje Trasero correspondiente.

Una vez semielaborado el conjunto, se realizará la placa de refuerzo, en chapa de acero de 3,0mm, a la cual se unirá el Punto de Anclaje trasero pues la geometría del pilar de la suspensión trasera no permite un anclado directo de los Puntos de Anclaje. Para ello, se seguirán las disposiciones establecidas en el **Artículo 8.3.2.6. del Anexo J de la FIA**.

Cuando se ha instalado la placa de refuerzo en el vehículo se procede a soldar la barra de Longitudinal Trasera sobre el conjunto ya instalado de la Estructura de Seguridad.

I. REFUERZO DIAGONAL TRASERO Y ANCLAJE DE LOS ARNESES

La instalación de dicho refuerzo requiere de un mecanizado previo de sus extremos, de forma que pueda encajarse al resto de la geometría ya existente. Para ello, se mecanizará la pieza como el resto de refuerzo ya instalados.

Seguidamente, se procede a soldar el Refuerzo Diagonal Trasero anclando, visto desde el alzado trasero del vehículo, el extremo superior sobre el Refuerzo Longitudinal derecho y, su extremo inferior sobre el Punto de Anclaje opuesto.

Para terminar, se fijará a través de soldeo, a una altura de 200,0mm sobre la base superior del Punto de Anclaje Trasero, la Barra de Anclaje de los Arnese de Seguridad.

3.7 CONDICIONES DE APLICACIÓN DE LA PROTECCIÓN TÉRMICA DE LA ESTRUCTURA

Cuando se posee la Estructura completamente instalada en el interior del vehículo se procederá a aplicar una protección ignífuga que garantice un comportamiento mecánico mínimo del Habitáculo en caso de incendio durante un accidente.

La protección ignífuga se encuentra compuesta por un conjunto de 2 productos que deberán aplicarse según lo descrito en el presente Pliego de Condiciones.

3.7.1 APLICACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN IGNÍFUGA

La primera capa que deberá aplicarse es una imprimación polivalente ignífuga que proporcione protección anticorrosiva al acero de acorde a lo establecido en la **Norma UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010**.

Se deberá realizar, previo al proceso de aplicación, una preparación de la superficie del acero según lo recogido en la **Norma UNE-EN ISO 8501-2:2002**. De esta forma, las soldaduras o las zonas que puedan estar dañada, superficialmente, después del proceso de montaje, deberán sanearse empleando cepillos de alambre hasta el grado ST2. Para concluir, se desengrasará toda la superficie a través de agua toda la Estructura.

Secar, convenientemente, toda la superficie antes de aplicar la imprimación.

El proceso de imprimación deberá realizarse, de forma obligatoria, a una temperatura ambiente comprendida entre 10-30°C y con una humedad relativa(% H.R.) en el ambiente inferior al 80%.

La imprimación se aplicará mediante brocha o rodillo en un total de 2 pasadas, cada una de ellas con un espesor de 40µm.

El tiempo de secado de cada capa es de 30 minutos y, entre pasadas, se dejará un intervalo de tiempo no menor a 120 minutos (2 horas).

3.7.2 APLICACIÓN DE LA PINTURA IGNÍFUGA

Sobre la capa de imprimación, se aplicará otra capa de protección empleando pintura ignífuga ofreciendo, así, una protección de hasta 120 minutos frente a elevadas temperaturas, según la Norma **UNE-EN 13381-4:2014**.

Antes de proceder a la aplicación de la pintura, se deberá asegurar una limpieza correcta de las superficies a proteger, no habiendo restos de polvo, grasa aceite o agua.

La pintura se aplicará mediante brocha con una temperatura ambiente comprendida entre los 5-35°C y una humedad relativa menor al 80%.

Se realizarán un total de 3 pasadas, hasta conseguir un espesor total de 800 micras, debiendo esperar un mínimo de 24 horas entre cada repintado.

3.8 CONDICIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

Una vez en homologada y registrada en el pasaporte técnico del vehículo la modificación estructural de la carrocería la instalación deberá ser revisada después de cada Rally.

La estructura tendrá una vigencia máxima de 5 años desde su fecha de instalación, debiendo ser sustituida, si se sigue compitiendo con el mismo vehículo, aunque esta no haya sufrido nunca daños.

En caso de accidente se sustituirá, de forma OBLIGATORIA, toda la Estructura de Seguridad quedando, además, registrado en el pasaporte técnico del vehículo dicha sustitución e incidente.

4 BIBLIOGRAFÍA

1. MiSEAT127 [en línea]: *especificaciones técnicas del SEAT127 de 2ª Serie*. <<http://miseat127.es/webantigua/id246.htm>>. [Consulta: 20 febrero 2017]
2. AENOR [en línea]: *normas UNE-EN ISO*. <<http://www.ca.aenor.es/aenor/normas/>>. [Consulta: 5 febrero 2017]
3. Federación Internacional de Automovilismo. [en línea]. Anexo J del Reglamento FIA. 2016 <<http://www.fia.com/regulations/>>. [Consulta: 11 noviembre 2016]
4. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [en línea]. BOE 6754-2010. REAL DECRETO 455/2010, de 16 de abril. <<https://www.boe.es/boe/dias/2010/04/29/pdfs/BOE-A-2010-6754.pdf>>. [Consulta: 22 mayo 2017]
5. Ministerio de la Presidencia [en línea]. BOE 11154-2010. REAL DECRETO 866/2010, de 2 de julio. <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-11154>. [Consulta: 22 mayo 2017]
6. Ministerio de Educación [en línea]. BOE 13253-2009. REAL DECRETO 1692/2007, de 10 de agosto. <<https://www.boe.es/boe/dias/2009/08/10/pdfs/BOE-A-2009-13253.pdf>>. [Consulta: 25 mayo 2017]
7. Reina Gómez, Manuel (1988). Soldadura de los Aceros. Aplicaciones. Madrid. Graficas Lormo. [Consulta: 28 marzo 2017]
8. Gil, Hermógenes (2005). Soldadura, Principios, técnica y equipos. Barcelona. CEAC. [Consulta: 28 marzo 2017]
9. GT2i Componentes [en línea]. Accesorio estructuras de seguridad para vehículos de competición. <<http://www.gt2i.es/accesorios-de-montaje-competicion/1673-espuma-funda-de-proteccion-arco-omp-azul-longitud-1-metro.html>>. [Consulta 2 junio 2017]
10. IngeMecánica [en línea]. <<http://ingemecanica.com>>. [Consulta: 4 abril 2017]



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE LA JAULA DE
SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE
COMPETICIÓN – PRESUPUESTO**

Autor

Albert Morales Chover

Director del proyecto

Pedro Efrén Martín Concepción



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Departamento del Estudio de los Medios Continuos y Teoría de
Estructuras

València, junio de 2017

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 DESGLOSE DE COSTES	2
1.1 COSTE MANO DE OBRA	2
1.2 COSTE MATERIALES	3
2 PRESUPUESTO FINAL	5
2.1 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	5
2.2 BENEFICIO INDUSTRIAL	5
2.3 COSTE FINAL DE VENTA	6
3 BIBLIOGRAFÍA	7

INTRODUCCIÓN

El objetivo que persigue el siguiente documento es ofrecer, de forma aproximada, un valor final al producto diseñado. De esta forma, se estudiará tanto los costes de material, necesario para su futura construcción, como el coste de mano de obra, donde se incluirá el coste de diseño y el de posterior fabricación.

Consecuentemente, la finalidad de este documento es ofrecer, en este caso, un recuento de los recursos empleados y su coste evitando, así, que la futura exportación, a terceros, del proyecto resulte en un balance económico negativo, ocasionando pérdidas, para el creador de dicho producto.

Por ello, resulta fundamental realizar un registro exacto de los recursos empleados para su desarrollo.

1 DESGLOSE DE COSTES

Como se ha comentado, el coste de elaboración se subdividirá en dos apartados claramente diferenciados.

Por un lado, se realizará el cálculo del coste base de fabricación, suponiendo que solamente se va a fabricar una sola Estructura de Seguridad a partir del diseño realizado. Por otro lado, se incluirá una estimación aproximada del coste material del producto, partiendo de los datos proporcionados por el suministrador.

1.1 COSTE MANO DE OBRA

Los costes de la mano de obra incluyen tanto el coste del tiempo invertido en el diseño y optimización del producto como el coste del tiempo que es necesario, a posteriori, para su ensamblaje e instalación en el vehículo.

De esta forma, se procede a elaborar una tabla donde quede constancia de las horas empleadas en cada fase de desarrollo del producto, así como de su coste asociado.

PROCESO	TIPO DE MANO DE OBRA	Nº HORAS TOTALES DEL PROCESO	COSTE / HORA (€)	COSTE TOTAL (€)
Diseño Producto	Ingeniero	85	15,00	1.275,00
Simulación y Análisis del Diseño	Ingeniero	130	15,00	1.950,00
Montaje Estructura	Operario 1 ^a Taller	45	40,00	1.800,00
SUBTOTAL				5.025,00

TABLA 1. COSTES ASOCIADOS A LA MANO DE OBRA¹.

Consecuentemente, se obtiene un costo total de mano de obra, a falta de imponderables, de 5.025,00€.

¹ Costes proporcionados por consulta al Director del Proyecto. Los precios son aproximados a los valores que podrían encontrarse, en la actualidad, en el mundo laboral.

1.2 COSTE MATERIALES

Para la obtención del coste de los materiales, utilizados en la construcción del producto, se ha empleado el coste por unidad proporcionado por el suministrador de cada material.

PRODUCTO	COSTE UNITARIO² (€)	UNIDADES TOTALES POR ESTRUCTURA³	COSTE TOTAL (€)
Perfil 25CrMo4 45,0x2,5mm	15,950	4,5	71,775
Perfil 25CrMo4 42,0x3,0mm	16,950	11,5	194,925
Perfil 25CrMo4 40,0x2,0mm	12,950	14,0	181,300
Perno Fijación Plano Hexagonal M8x20mm Calidad ISO 8.8	0,397	18	7,146
Contratuera Plana de Acero Inox. Acoplamiento de Nylon, M8	0,278	18	5,004
Chapa de Acero e=3mm	16,530	0,06482	1,071
Imprimación Polivalente Ignífuga B-s2, d0 4 litros	49,100	1	49,100
Esmalte Satinado Ignífugo B-s2, d0 4 litros	84,700	1	84,700
Espuma Protección del Arco OMP 1 metro	44,800	5,5	246,400

² Las unidades para cada producto son: (m) para los perfiles de 25CrMo4, (Ud). Para los elementos que conforman las uniones roscadas y protección ignífuga y (m^2) para las chapa de acero.

³ Las unidades referentes a los perfiles y fundas de protección se han redondeado al alza, para permitir mecanizados en los extremos y realizar operaciones de doblado en los componentes.

Licencia Estudiante SolidWorks 2016 x64	0	1	0
Licencia Microsoft Office 2016	0	1	0
SUBTOTAL			841,78

TABLA 2. COSTES ASOCIADOS A LOS MATERIALES.

Se concluye, por tanto, que el costo total, sin imposables, asociado a los materiales necesarios para la fabricación de un solo producto es 841,78€.

2 PRESUPUESTO FINAL

Con los costes descompuestos según su naturaleza se procede a calcular el costo final del producto que permitiría ponerlo en venta sin ocasionar pérdidas de fabricación.

2.1 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL

El presupuesto de ejecución material (PEM) recoge los costes asociados a la mano de obra y los materiales empleados en la ejecución del proyecto, en este caso, la elaboración de una Estructura de Seguridad para un vehículo de competición.

NATURALEZA DEL COSTE	COSTE (€)
MANO DE OBRA	5.025,000
MATERIALES	841,781
SUBTOTAL	5.866,781

TABLA 3. RESUMEN DE LOS COSTES ASOCIADOS AL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.

2.2 BENEFICIO INDUSTRIAL

El coste final de producto sin impuestos condensará los costes asociados a la mano de obra, a los materiales necesarios de fabricación y a la adición de un Beneficio Industrial del 7%.

Dicho margen de beneficios, que se adjudica el responsable de ejecución del proyecto, se calcula una vez se obtiene el PEM. De esta manera, con un PEM estimado en 5.866,781€, se obtiene un Beneficio Industrial a sumar de 410,675€.

NATURALEZA DEL COSTE	COSTE (€)
PEM	5.866,781
BENEFICIO INDUSTRIAL (7%)	410,675
SUBTOTAL	6.277,456

TABLA 4. RESUMEN COSTES APLICADO EL BENEFICIO INDUSTRIAL DEL 7% AL PEM.

Consecuentemente, el Coste Final del producto, sin imposables, es de 6.277,46€.

2.3 COSTE FINAL DE VENTA

Como todo producto puesto a la venta, se deberá añadir el impuesto sobre el valor añadido del componente (IVA) que, para productos de origen industrial, se fija en el 21%.

NATURALEZA DEL COSTE	COSTE (€)
COSTE SIN IMPONIBLES	6.277,456
I.V.A. (21%)	1.318,266
SUBTOTAL	7.595,722

TABLA 5. PRECIO FINAL DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD APLICADOS LOS IMPONIBLES.

De esta manera, con un sobrecoste a causa del IVA de 1.318,266€, el valor final de venta del producto al público se fija en **7.595,95€⁴**

⁴ El precio final ha sido redondeado al alza para evitar precios poco adecuado en vistas a su venta.

3 BIBLIOGRAFÍA

1. RS [en línea]: *catálogo de productos de RS-España*. <http://es.rs-online.com/web/p/tuercas-de-bloqueo/0521951/?origin=PSF_431984|acc> [Consulta: 31 mayo 2017]
2. RS [en línea]: *catálogo de productos de RS-España*. <http://es.rs-online.com/web/p/products/0520201/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA--google--PLA_ES_ES_Fijaciones_Y_Sujeciones--Tornillos_Y_Pernos&mkwid=sz4RssNEw_dc|pcrid|88860996561|pkw||pmt||prd|0520201> [Consulta: 31 mayo 2017]
3. CONSTRUINFO [en línea]: *catálogo de perfiles laminados*. <<http://www.construinfo.com/FICHAP.ASP?CODIGO1=UNIT&CODIGO2=MCG>> [Consulta: 1 junio 2017]
4. ChassisParts [en línea]. <<https://chassisparts.com>>. [Consulta: 2 junio 2017]
5. Pinturas Villares [en línea]. <<https://www.pinturasvillares.es>>. [Consulta: 29 mayo 2017]
6. LUIS JURADO [en línea] <<http://www.luisjurado.es/2016/11/22/la-ficha-de-los-presupuestos-de-obra/>> [Consulta: 1 junio 2017]
7. Descarga de Software de la UPV [en línea]. València: Universitat Politècnica de València, 2016. <<http://software.upv.es/>> [Consulta 23 noviembre 2016]



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE LA JAULA DE
SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE
COMPETICIÓN – PLANOS**

Autor

Albert Morales Chover

Director del proyecto

Pedro Efrén Martín Concepción



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Departamento de Estudio de los Medios Continuos y Teoría de
Estructuras

València, junio de 2017

ÍNDICE

1. PLANO DE CONJUNTO
2. PLANO CONFIGURACIÓN GEMOÉTRICA
3. PLANO EN DETALLE DEL PUNTO DE ANCLAJE DELANTERO Y CENTRAL
4. PLANO EN DETALLE DEL PUNTO DE ANCLAJE TRASERO
5. PLANO EN DETALLE DEL ARCO PRINCIPAL
6. PANO EN DETALLE DEL SEMIARCO LATERAL