

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“ESTUDIO DE UN CHASÍS TUBULAR MEDIANTE
LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO

PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA

PROMOCION 92-II

LIMA-PERU

2009

INDICE

| | |
|---|-----------|
| PROLOGO | 1 |
| CAPITULO 1 | 3 |
| INTRODUCCION | 3 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 5 |
| 1.2 ALCANCES | 5 |
| 1.3 OBJETIVOS | 5 |
| CAPITULO 2 | 6 |
| DESCRIPCION DE LA CARROCERIA Y CHASIS | 6 |
| 2.1 DESCRIPCION DE LA CARROCERÍA | 6 |
| 2.2 DESCRIPCION DEL CHASIS | 7 |
| 2.3 MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION DE LA CARROCERIA Y CHASIS | 8 |
| 2.3 CARACTERISTICAS Y TIPOS DE LA CARROCERIA Y CHASIS | 26 |
| CAPITULO 3 | 32 |
| CÁLCULO Y DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR | 32 |
| 3.1 DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR | 32 |
| 3.1.1. Criterios Sobre la rigidez | 32 |
| 3.1.2 Criterios Sobre el peso y su Distribución | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.3 Criterios sobre el espacio | 38 |
| 3.1. 4 Criterios sobre costos | 40 |
| 3.1.5 Carga Aplicada | 41 |
| 3.1.6. Algoritmo De Diseño Del Chasis Tubular | 45 |
| 3.2 CALCULO DE UN CHASIS TUBULAR | 46 |
| 3.2.1 Teoría del Cálculo | 46 |
| 3.2.1.1. Teoría de Primer Orden o Método de Rigidez | 46 |
| 3.2.1.2. .Teoría de Segundo Orden | 47 |
| 3.2.2 Aplicación de la teoría al cálculo de un chasis tubular | 48 |
| 3.2.3El estado límite | 48 |
| 3.2.3.1 El Estado límite último | 48 |
| 3.2.3.2. Límite de deformación | 52 |
| 3.2.4 Comprobación de las Barras | 55 |
| 3.2.4.1. Comprobación a influencia de las barras | 55 |
| 3.2.4.2. Comprobación de la estabilidad de las barras | 60 |
| 3.2.4.3. Comprobación de las uniones Definición relacionadas | 65 |
| 3.2.5 Algoritmo de cálculo de un chasis tubular | 85 |
| CAPITULO 4 | 86 |
| 4.1 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS | 86 |

| | |
|--|------------|
| 4.2 MODELO CONCEPTUAL | 86 |
| 4.3 PRE-PROCESAMIENTO | 91 |
| 4.3.1 Geometría del modelo | 91 |
| 4.3.2 Definición del estudio de trabajo | 94 |
| 4.3.3 Definición del material | 96 |
| 4.3.4 Definición de las propiedades del modelo | 97 |
| 4.3.5 Mallado del modelo | 101 |
| 4.4 EJECUCION DE ANÁLISIS DEL MODELO (CORRIMIENTO) | 103 |
| 4.4.1 Hipótesis 1: | 104 |
| 4.4.2 Hipótesis 2: | 108 |
| 4.4.3 Hipótesis 3: | 111 |
| CAPITULO 5 | 118 |
| FABRICACION Y MONTAJE DE UN CHASIS TUBULAR | 118 |
| 5.1 TIPOS DE ACERO | 118 |
| 5.2.1 Propiedades físicas de los aceros estructurales | 122 |
| 5.2.2 Tipos de barras para chasis tubulares | 122 |
| 5.2.3 Incremento en el límite elástico causado por la deformación en frío | 123 |
| 5.2.4 Consideraciones sobre soldabilidad de los materiales | 123 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.5 Dimensiones de las secciones | 124 |
| 5.2 METODOS DE FABRICACION | 124 |
| 5.3.1 Corte por aserrado | 126 |
| 5.3.2 Método de curvado en frio para chs | 133 |
| 5.3.3 Métodos para soldar nudos de perfiles tubulares | 135 |
| 5.3.4 Posiciones y secuencias de soldadura | 137 |
| 5.3.5. Punteado de la soldadura | 140 |
| 5.3.6 Tratamiento previo y posterior de las construcciones soldadas de perfiles tubulares | 141 |
| 5.3.7 Tensiones residuales y deformaciones producidas por la soldadura | 141 |
| 5.3.8 Defectos de Soldadura y reparaciones | 143 |
| 5.3.9 Inspección de soldaduras | 146 |
| 5.3.10 Recomendaciones generales para operaciones de soldadura | 148 |
| 5.3.11 Perforaciones | 149 |
| 5.3 UNIONES SOLDADAS | 150 |
| 5.3.1 Uniones soldadas en ángulo recto | 150 |
| 5.3.2 Nudos de celosía con barras soldadas directamente | 151 |
| 5.3.3 Nudos de celosía con barras soldadas directamente | 152 |

| | |
|--|------------|
| 5.4 MONTAJE | 160 |
| 5.5.2 Calificación de los talleres y soldadores | 161 |
| 5.5.3 Montaje | 161 |
| CAPITULO 6 | 165 |
| COSTOS Y PRESUPUESTOS | 165 |
| 6.1 MEDICIONES y CONSIDERACIONES | 165 |
| 6.2.CUADRO DE COSTOS UNITARIOS | 167 |
| 6.3.COSTO DEL PROYECTO DEL MODELAMIENTO | 167 |
| CONCLUSIONES | 168 |
| RECOMENDACIONES | 169 |
| BIBLIOGRAFIA | 170 |
| APENDICE | |
| PLANOS | |

PROLOGO

En la actualidad la necesidad de mejora en el diseño de componentes en nuestra industria en todos los campos de la ingeniería, exige la aplicación de la ingeniería inversa, es decir estudiar un diseño existente como base de comparación y analizar las áreas en las que pueden ser mejorados, así como observar las soluciones empleadas en su diseño; en este afán es necesario la búsqueda de métodos que nos permita su rediseño, optimizando tiempos como disminuyendo costos en el proceso. En este contexto de la ingeniería, el métodos de elementos finitos asistido por software se torna en una herramienta muy potente y muy versátil, que nos permitirá mediante simulaciones virtuales, predecir el comportamiento de nuevos diseños planteados.

En este trabajo de tesis, se utiliza este método en el diseño de una estructura de Chasis Tubular de un vehículo deportivo, simulando las cargas aplicables limitadas a escenarios estáticos.

En el capítulo 1, se presenta los alcances del proyecto y se detalla los objetivos del mismo así como también se presenta los antecedentes.

En el capítulo 2, se describe la carrocería y el chasis haciendo énfasis en sus tipos, teniendo en cuenta la variedad de materiales aplicables.

En el capítulo 3, Se define la geometría del modelo teniendo en cuenta la ergonomía la

triangulación de la estructura del chasis tubular, seguido del procedimiento analítico del cálculo, selección del material, comprobación de las barras y su estado límite último que finalmente determinará la menor relación peso/potencia en el diseño del vehículo. Además se describe el algoritmo de cálculo, y los criterios que se toman en cuenta para el diseño del mismo.

En el capítulo 4, se desarrolla el modelado de la estructura para luego realizar el análisis de cálculo para el diseño a través de los elementos finitos (MEF), en consecuencia obtenemos la ingeniería del proyecto, la cual se define la materia prima, así como las características físicas del proyecto.

En el capítulo 5, se plantea la fabricación del chasis con los materiales, equipos y herramientas necesarias del ensamble.

En el capítulo 6, se presenta la estructura de costos, y presupuestos del estudio del proyecto.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El método principal de estudio del análisis estructural del chasis, es la de los elementos finitos, método que permite reproducir virtualmente a un componente o sistema mecánico en situación de trabajo real. Habitualmente el manejo del método, ha requerido un profundo conocimiento físico matemático pero en la actualidad la disponibilidad del software y hardware han puesto al alcance de los usuarios esta potente herramienta. Para iniciar el análisis con este método, lo primero ha realizar es el modelamiento geométrico, esto significa el dibujo del chasis con un programa CAD que permita dibujar una geometría tubular del chasis y obtener los resultados de la resistencia mecánica del chasis (esfuerzos y deformaciones) con uso de software disponibles.

Para su desarrollo del chasis, también tiene mucha importancia saber cuáles son las características mecánicas del material como son su módulo de elasticidad E , su módulo de cortadura G , su densidad ρ y su límite de fluencia f_y . En principio los tubos de los que dispone pueden tener sección circular o rectangular, pueden ser huecos y macizos, ¿cuál conviene más?, adoptándose los siguientes pasos generales:

- 1 Dibujar la geometría del chasis.

- 2 Determinar el tamaño del perfil de las barras mediante el método de elementos finitos.
- 3 Comprobar que las barras no haya inestabilidad, cumpliendo las Normas existentes
- 4 Comprobar que las uniones soportan haciendo uso de las teorías que se indican en el desarrollo de este trabajo.

En los siguientes capítulos se detallarán y ampliarán todos estos aspectos del proyecto.

Para la realización del tema se ha consultado a diseñadores y constructores de estructuras tubulares y revistas especializadas de ingeniería del automóvil en la que los expertos opinan respecto a este tema. El método de cálculo se ha establecido a partir de todas estas fuentes y de una extensa bibliografía.

1.1 ANTECEDENTES

En nuestro medio no existen antecedentes de estudio similares de estructuras de vehículos de chasis tubular, que utilicen el método de elementos finitos. Fue por esto que se buscó información de casas de estudio de otros países que nos permita tener referencias académicas sobre los resultados obtenidos. Entre estos antecedentes tenemos los realizados cada año por la universidad de Toronto (Canadá) y la Universidad de Navarra (España), entre otras, con la finalidad de optimizar sus diseños para competencias académicas anuales de vehículos monotripulados de este tipo. Ambos estudios resaltan la importancia de la rigidez de la estructura, lo cual se mejora con triangulación de la geometría. Para definir la geometría de nuestro chasis partimos de ergonomías (Ya que la ergonomía es todo estudio aparte que puede ser otro tema de tesis), Además de contar con el aporte de empresa privada que cuidadosamente sugirió no mencionar su nombre.

1.2 ALCANCES

La construcción de un chasis está muy vinculada entre la rigidez, el peso y el espacio, todo ello teniendo en cuenta el costo final. Deben considerarse la resistencia estática y a

fatiga, la estabilidad de los miembros estructurales, la capacidad de soporte de carga de las uniones, la fabricación y el montaje. En este proyecto sólo se tendrán en cuenta los esfuerzos que puedan considerarse estáticos y las recomendaciones para un cálculo completo de un chasis, necesarios, y poder diseñar un vehículo resistente, que en la conducción se comporte debidamente y que sea lo más ligero posible

1.3 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es el de establecer un método con el cuál se pueda calcular estáticamente un chasis tubular utilizando la teoría de elementos finitos con simulaciones virtuales, para controlar esfuerzos y deformaciones que no sean adecuados en estos vehículos, además de diseñar una estructura liviana y económica y demostrar la factibilidad de este tipo de estudios y sus aplicación a otros campos de diseño estructural. Se ha de recalcar el hecho de que el cálculo se hace suponiendo cargas estáticas. Esto excluye los cálculos a fatiga y de choque, los cuales requerirían un proyecto cada uno.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DE LA CARROCERIA Y CHASIS

El chasis es el componente estructural del vehículo, sobre el cual están montados otros componentes importantes como son: Motor, Caja de cambios, sistema de dirección, sistema de suspensión y otros.

2.1 DESCRIPCION DE LA CARROCEÍA

Es la parte del automóvil destinada al transporte de carga y pasajeros. Existen varios tipos de carrocerías; las más comunes son las llamadas compactas, que se caracterizan porque toda la carrocería se fabrica como una estructura de un solo cuerpo. Todos los elementos mecánicos se incorporan a esta estructura fijándose a las partes más rígidas, especialmente diseñadas para ello. Una de las principales ventajas de este tipo de carrocería es su menor peso al no tener bastidores de fundición de hierro. Además permite un mejor aprovechamiento del espacio.

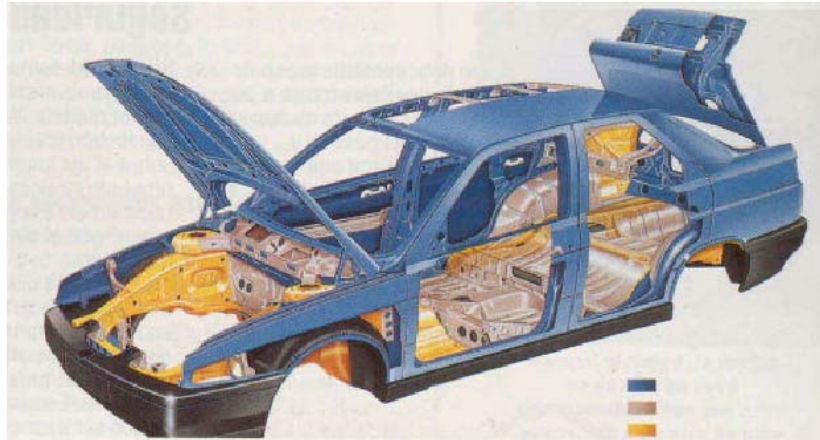


Figura 2. 1. En amarilla la estructura interior o bastidor, y sobre ella, en azul, la carrocería.

2.2 DESCRIPCION DEL CHASIS

Se emplea principalmente en vehículos transporte pasajeros y de carga, como por ejemplo camionetas, camiones y buses, y también como refuerzo en los coches de competición. Es un marco metálico conocido como bastidor, sobre el cual se montan todos los componentes del vehículo. la carrocería se instala sobre el chasis una vez se haya determinado su aplicación (camión o bus, auto o camioneta, o refuerzo de coches de competición). La instalación se efectúa mediante uniones atornilladas o soldando la carrocería al bastidor; si es atornillada se conoce como "carrocería independiente". Si es soldada se conoce como "autoportante".

En los vehículos de competición se podría decir que los dos grandes tipos de chasis son los "monocasco" y los "tubulares". los chasis tubulares son los que más se emplean como refuerzo de los vehículos de competición ya que es más sencillo su construcción y la determinación de los esfuerzos a los que pueda estar sometido.

En cuanto al comportamiento mecánico hay que decir que el chasis es más rígido que la carrocería. Interesa, en *el* momento de un impacto, que la carrocería se deforme todo lo que se pueda para no transmitir la energía de la colisión a los pasajeros y por otra parte interesa que el chasis se deforme poco para no alterar las características de la conducción.



Figura 2.2- El chasis tubular como refuerzo del vehículo.

2.3 MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION DE LA CARROCERIA Y CHASIS

Para la utilización de los materiales de la carrocería de un vehículo, hay que seleccionarlos teniendo en cuenta factores tales como aplicación, duración proceso de fabricación, disponibilidad de material, fiabilidad, etc., compatibilizando todo ello en un mínimo costo y peso adecuado.

La geometría está definida por:

- Función
- Entorno o conjunto del que forma parte.

La selección de material se hace mediante el análisis de lo antes referido.

Una vez definido el componente y seleccionado, se le protege del medio ambiente mediante recubrimientos orgánicos, zincados, fosfatados, pinturas, etc.

Luego se valida mediante ensayos.

El comportamiento del material en la conformación y fabricación así como en todo el proceso posterior (manipulación, reparación) estará marcado por sus propiedades físicas y mecánicas:

- **Maleabilidad**: Calidad de un metal de reducirse en láminas finas, dobladas o deformadas por choque o presión en caliente o en frío.
- **Tenacidad**: Resistencia a la rotura que oponen los materiales a los esfuerzos cuya aplicación es progresiva.
- **Dureza**: Resistencia que opone un cuerpo al dejarse penetrar por otro bajo la acción de una fuerza.
- **Resistencia**: Resistencia que oponen los materiales a la aplicación de esfuerzos bruscos y a los choques. Es lo contrario a la fragilidad.
- **Elasticidad**: Propiedad que tienen los materiales de deformarse por acción de una fuerza y de recobrar su forma inicial cuando deja de actuar dicha fuerza.
- **Alargamiento**: Es la deformación permanente que se produce en un metal cuando el esfuerzo aplicado sobre el sobrepasa la carga de su límite elástico. Se expresa en porcentaje.

- **Ductilidad:** Es la propiedad del material de poder ser trabajado sin que se produzcan cambios en su estructura, o grietas.
- **Fusibilidad:** Propiedad que caracteriza a ciertos materiales de pasar con mayor o menor rapidez del estado sólido al líquido por efecto del calor.
- **Conductividad:** Propiedad de los cuerpos que consiste en transmitir con mayor o menor facilidad el calor o la corriente eléctrica.

ACERO.

Es una aleación entre hierro y carbono con un contenido de carbono relativamente bajo, rara vez supera el 1,76%.

Circunstancias de que sea el material empleado en la fabricación de carrocerías:

- Disponibilidad de materias primas.
- Proceso de obtención relativamente económico.
- Propiedades mecánicas y tecnológicas adecuadas tanto a las necesidades estructurales como a los requerimientos técnicos que los procesos de conformación y ensamblaje que imponen.
- Gran desarrollo de todos los procesos tecnológicos de producción de este material. Esto disminuye los costos y permite la producción en grandes series.

Tipos de acero.

1) Acero convencional.

Tiene un contenido normalmente inferior al 0.20%, es de grano fino, se llama acero suave o dulce y se emplea en la fabricación de paneles de carrocería.

Es dúctil, permite obtener piezas con formas más o menos complejas presentando un aspecto liso y libre de rayas, rugosidades o fisuras por embutición. Es fácilmente soldable.

La chapa fina para la construcción de carrocerías se caracteriza por una excelente calidad superficial. Se suministra con dos acabados:

❖ Acabado superficial normal.

Son admisibles algunos defectos como poros, ligeras rayas, pequeñas marcas o leves coloraciones que no afecten a la conformidad o adherencia de los recubrimientos superficiales.

❖ Acabado superficial semibrillante.

La cara de mejor aspecto estará prácticamente libre de defectos y no debe afectar al aspecto uniforme de una pintura de calidad o un acabado electrónico. La otra cara tendrá, al menos, el aspecto del acabado anterior.

Técnicas de transformación.

Es la embutición.

Es un proceso de conformación por deformación plástica, por medio del cual una forma plana con superficie desarrollable se transforma en un cuerpo hueco con superficie no desarrollable bajo la acción combinada del conjunto punzón embutidor - matriz embutidora.

Se suministra usualmente en forma de bobinas de chapa, o bien en formatos rectangulares de chapa ya cortados.

En ambos casos, el material está temperado (con *skin-pass*) y aceitado por las dos caras para evitar la corrosión.

2) Aceros de alto límite elástico.

Su desarrollo comenzó a partir de la 1ª Guerra Mundial, y consiguió elevar el límite elástico del acero convencional al carbono hasta 36 kilogramos milímetro cuadrado por término medio.

Con estos aceros, los constructores de automóviles consiguieron disminuir el peso, aumentando el rendimiento en el consumo de combustible y las aplicaciones, sin disminuir la seguridad de los mismos.

Se les conoce como aceros de alto límite elástico (ALE) y HSLA.

Características.

Las chapas fabricadas con aceros ALE deben reunir unas características especiales:

- Poseer altas características mecánicas para que los valores de resistencia al choque y a la penetración estática sean, como mínimo, iguales a las de los aceros de mayor grosor.
- La resistencia al choque depende de su carga de rotura y del espesor; la resistencia a la penetración estática, del límite elástico y del espesor.
- Poseer en ciertos casos una embutibilidad elevada.
- Tener una buena actitud a la soldadura, lo cual se consigue limitando el contenido de carbono en 0.2%.
- Resistir adecuadamente las exigencias de fatiga.
- Poder sufrir procesos tales como galvanizado en caliente, electrozincado, entre otros, con el fin de cumplir con un requerimiento importante para la industria del vehículo: la resistencia a la corrosión.

Clases de aceros ALE:

- **Aceros de doble fase.**

En ellos se ha conseguido una estructura ferrítica-martensítica (80-90% de ferrita poligonal, 10-20% de martensita y eventualmente restos de austenita retenida) por enfriamiento rápido, pero perfectamente controlado.

Pueden contener pequeñas cantidades de microaleantes tales como molibdeno y vanadio.

Tabla 2.1- Composición Química Acero doble fase.

| C | P | S | Al |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ≤ 0.130 | ≤ 0.020 | ≤ 0.010 | ≤ 0.030 |

Características mecánicas.

- Límite elástico: 36 - 48 kg/mm²
- Tensión de rotura: 60 - 80 kg/mm²
- Alargamiento: 22%

Su resistencia es proporcional a la fracción de martensita obtenida, limitada al 20%, para conservar una gran ductilidad.

• **Aceros microaleados.**

Son aceros de bajo contenido en carbono calmados al aluminio. Suelen llevar pequeñas partes de niobio, vanadio o titanio.

Los contenidos de fósforo, azufre e inclusiones deben ser bajos.

Tabla 2.2- Composición Química Acero microaleado.

| C | Mn | Si | P | S | Al | Nb | V | Ti |
|-------------|------------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ≤ 0.10 | 0.20 a | ≤ 0.50 | ≤ 0.030 | ≤ 0.030 | 0.020 a | 0.010 a | 0.010 a | 0.010 a |
| | 0.80 | | | | 0.080 | 0.060 | 0.080 | 0.120 |

Características mecánicas.

- Límite elástico: 28 - 46 kg/mm²
- Tensión de rotura: 37 - 65 kg/mm²

- Alargamiento: 15% - 28%

Sus características se deben a los procesos termomecánicos producidos durante la laminación en caliente.

- **Aceros refosforados.**

Su endurecimiento se consigue por la utilización de elementos sólidos como fósforo y silicio. También puede llevar manganeso y niobio en aleación.

Tabla 2.3- Composición Química Acero refosforado

| C | P | Mn | Si |
|----------|----------|-------------|-----------|
| 0.1 | 0.1 | 0.20 a 0.80 | ≤0.080 |

Características mecánicas.

- Límite elástico: 15 - 21 kg/mm²
- Tensión de rotura: 25 - 35 kg/mm²
- Alargamiento: 28% - 34%

El fósforo facilita la embutición y contribuye a evitar la corrosión, pero dificulta los procesos de soldadura.

Estos surgieron por la necesidad de mejorar las características del embutido y el aspecto superficial.

Transformación y aplicaciones de los aceros de alto límite elástico.

Las piezas de este acero se forman mediante un proceso de embutido similar al de los aceros convencionales.

Estos aceros de alta resistencia se utilizan para largueros, traviesas, montantes, etc. Son costosos, difíciles de trabajar y de enderezar.

Comportamiento ante una reparación.

Las características anteriormente mencionadas condicionarán el proceso de reparación.

Tras analizar varias reparaciones y ensayo sobre piezas y probetas construidas en estos aceros se llega a la siguiente tabla:

Tabla 2.4- Comportamiento del acero y resistencias.

| Técnica/proceso | Disminución de resistencia |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Soldadura oxiacetilénica | 37.5 % |
| Soldadura MIG/MAG | 8.5 % |
| Soldadura TIG | 27.0 % |
| Deformación en caliente | 22.0 % |
| Deformación en frío | 10.0 % |

Conclusiones a tener en cuenta para una buena reparación y no mermar las propiedades del acero:

- Durante las operaciones de batido, los paneles de acero de alto límite elástico tienen la tendencia a quedar cóncavos.
- Los estirajes de pequeñas deformaciones se harán en frío y en pequeños intervalos.

- Durante el estiraje se deberá estirar algo más de lo usual dependiendo del grado de concavidad.
- Nunca se deberá aplicar calor durante el estiraje. El acero podría perder sus propiedades.
- Sustituir las piezas agrietadas o muy deformadas.
- No soldar con soplete oxiacetilénico.
- Soldar por puntos de resistencia o mediante soldadura de hilo en atmósfera controlada.

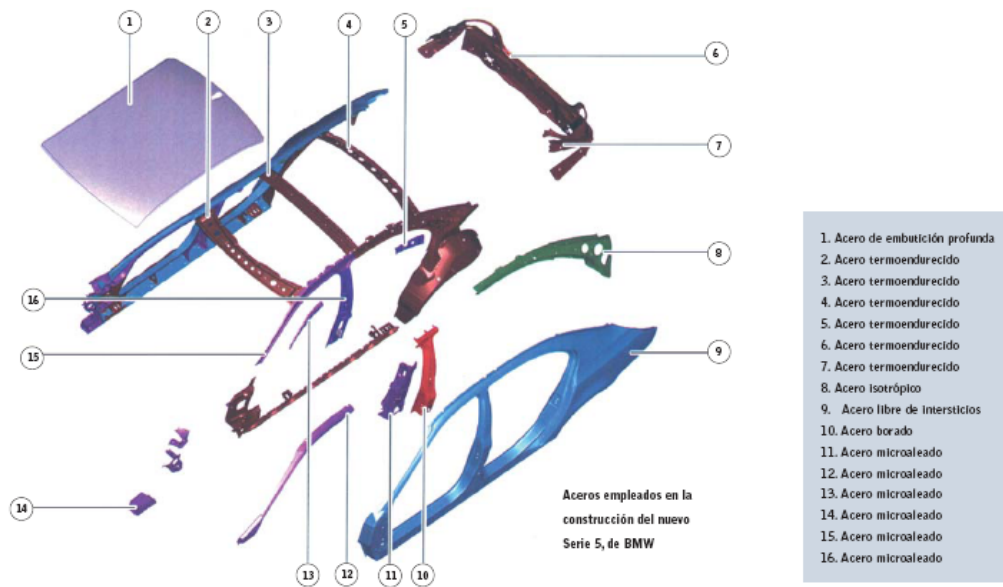


Figura 2.3 - Aceros aplicados en la construcción de un vehículo

ALUMINIO

Es el elemento más abundante en la naturaleza, después del oxígeno y del silicio. Es el segundo material más utilizado en la actualidad.

En el automóvil, le corresponde entre el 7 y el 11% del peso.

Propiedades del aluminio. Diferencias con el acero.

Las propiedades del aluminio van a condicionar su comportamiento frente a los tratamientos y técnicas a los que será preciso someterlo para recuperar su forma y características originales, así como para su sustitución.

Tabla 2.5- Comparativa entre las principales propiedades del acero y del aluminio

| TABLA COMPARATIVA ENTRE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DEL ACERO Y DEL ALUMINIO | | |
|---|--------------|-----------------|
| | Acero | Aluminio |
| Resistencia a la tracción (kg/mm ²) | 35-41 | 12 |
| Límite elástico (kg/mm ²) | 23 | 10 |
| Módulo de elasticidad (kg/mm ²) | 20000 | 7000 |
| Alargamiento (%) | 25-37 | 11 |
| Dureza (HB) | 50-67 | 15 |
| Resistencia eléctrica específica (Ω mm ² /m) | 0.13 | 0.02655 |
| Conductividad térmica (W/m °K) | 58 | 235 |
| Coefficiente de dilatación lineal (1/°K) | 0.000001 | 0.00000236 |

Resistencia.

La menor resistencia del aluminio hace que la aplicación de esfuerzos sobre él sea más delicada que sobre el acero.

Elasticidad.

La elasticidad del aluminio es menor que la del acero, por lo que tiene menor tendencia a recuperar su forma tras desaparecer la fuerza aplicada sobre él.

Además es mucho más quebradizo.

Dureza.

El aluminio es mucho más blando que el acero; por eso, al sufrir el golpeo directo sobre las herramientas produce su estiramiento más fácilmente que en el caso del acero.

Hay que tener cuidado al trabajar el aluminio con herramientas de acero.

Conductividad térmica.

El aluminio conduce hasta cuatro veces mejor el calor. Esto supone un inconveniente a la hora de soldar por calor.

Resistencia eléctrica.

La resistencia opuesta por el aluminio al paso de la corriente eléctrica es cinco veces menor que la opuesta por el acero. Esto condiciona la soldadura por puntos de fusión.

Coeficiente de dilatación lineal.

Es el doble que el del acero. Si sufre un calentamiento excesivo e incontrolado puede dar lugar a deformaciones con más facilidad que en el acero.

Principales aleaciones del aluminio.**Aleaciones no bonificables.**

No son tratables térmicamente como consecuencia de su reducido intervalo de solidificación.

Existen tres grupos:

- Aluminio puro.

Se obtiene por refinado, con purezas entre el 99 y el 99,9%. El resto son impurezas de Fe, Si, Cu y Zn.

Sus propiedades mecánicas son inversamente proporcionales al grado de pureza. Tienen gran poder reflectante y muy buena resistencia ante la corrosión.

Aplicaciones:

- Reflectores de elementos de iluminación.
- Anodizados de lujo.
- Conductores eléctricos.
- Recipientes para productos químicos.
- Botes de bebidas, etc.

- Aleaciones Al-Mn.

Presentan gran conformabilidad y resistencia a la corrosión. La adición de manganeso aumenta las propiedades mecánicas sin afectar a la estabilidad química. Debe de ser menor al 1,5%.

Se emplea en piezas extruidas o laminadas que no requieran de alta resistencia mecánica, como:

- Embellecedores para la industria del automóvil.

- Tubos de riego.

- Antenas de televisión, etc.

- Aleaciones Al-Mg.

Destacan por su buena resistencia a la corrosión, superior que la del aluminio puro en ambiente marino. Tienen buena resistencia mecánica, conformabilidad y aptitud para el anodizado.

Aplicaciones en el automóvil:

- Tubos para intercambiadores de calor (radiadores).

- Elementos ornamentales.

- Parábolas para faros y luminarias.

- Refuerzos de carrocería no visibles, a los cuales se les exige una capacidad de deformación buena a causa de su complicada forma (módulo resistente, etc.).

Añadiendo solo 0.5% de magnesio se utiliza en la fabricación de paneles exteriores de carrocería.

Aleaciones bonificables.

Son tratables térmicamente, alcanzando su máxima resistencia por un tratamiento de puesta en solución, temple y precipitación.

- Aleaciones Al-Si-Mg.

Presentan un buen comportamiento general.

Composiciones:

Magnesio: 0,3% - 1,5%

Silicio: 0,2% - 1,6%

Manganeso: 0% - 1%

Cromo: 0% - 0,35%

- Aleaciones Al-Cu, Al-Cu-Mg.

Su principal característica es el aumento de la resistencia mecánica, que se consigue por endurecimiento térmico. El endurecimiento en frío o por calor depende de la composición.

Composición:

Cobre: 3,5% - 5,5% + adiciones de silicio, manganeso y magnesio como impurezas.

Magnesio: 0% - 1,5%

Su principal aplicación en el automóvil es en culatas y émbolos de motores de altas prestaciones.

- Aleaciones Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu.

Son las aleaciones que presentan las características mecánicas más elevadas.

Composición:

Zinc + Magnesio: 6% - 7%

Se emplea en piezas sometidas a grandes tensiones, como bielas. También se emplea en paragolpes y sus refuerzos.

Elaboración del aluminio.

El aluminio y sus aleaciones se dividen en dos grandes grupos, según el procedimiento seguido para su transformación:

Aluminio para forja.

- Embutición.

Es un proceso de conformación por medio del cual una forma plana con superficie desarrollable se transforma en un cuerpo hueco con superficie no desarrollable bajo la acción combinada del conjunto punzón embutidor - matriz embutidora.

- Extrusión.

Proceso de conformación en el cual un disco o pastilla es obligado a fluir a través de un hueco calibrado bajo la acción de un punzón, ajustándose a su geometría. Así se fabrican barras, tubos y perfiles con distintas secciones geométricas.

Aluminio para moldeo.

- Fundición en coquilla.

Se emplean moldes no destructibles en acero o fundición. Estos moldes tienen unos costes muy caros y requieren una determinada demanda de piezas.

Este procedimiento es el adecuado para la fabricación en serie de piezas media.

- Fundición inyectada.

Es la forma más económica para la fabricación en serie de piezas de pequeñas a medianas dimensiones.

El caldo se inyecta en el interior de los moldes. Esto permite obtener piezas con una gran exactitud de medidas, excelente calidad superficial y espesores de pared muy pequeños.

El utillaje es caro, por eso se necesitan grandes series para que resulte económico.

MATERIALES PLÁSTICOS

Con el nombre genérico de plásticos se suelen denominar todos aquellos compuestos de naturaleza orgánica que resultan fácilmente deformables cuando son sometidos a una presión o temperatura, aunque no en todos los casos se comportan así, pues, debido a la inclusión de una serie de aditivos y refuerzos, se pueden conseguir materiales muy duros y compactos.

En el automóvil se emplea en paragolpes, tapacubos, guardabarros, embellecedores, guarnecidos y multitud de piezas del interior del habitáculo.

Un automóvil actual debe el 10% de su peso, unos 120 kg, a estos materiales.

Algunos fabricantes lo utilizan también en aletas y capós.

A pesar de esto y, aunque hay carrocerías fabricadas enteramente de estos materiales, necesitan del apoyo del acero para conseguir la rigidez y seguridad necesarias en estas estructuras.

Ventajas de estas carrocerías:

- Buena y mejor resistencia a golpes de poca importancia en los que las de acero se abollan y estas vuelven a su forma original.
- No son afectadas por la corrosión.
- Son más ligeras que las de acero.

Inconvenientes:

- Presentan menor resistencia a los golpes verdaderamente fuertes.
- Como consecuencia de esta menor resistencia, necesitan un chasis de acero.
- Existe peor adaptabilidad industrial del trabajo con plásticos estratificados que con acero, lo cual influye directamente sobre los costes.

MÉTODOS DE UNIÓN

Hay tres grandes grupos de unión:

- **Uniones amovibles.**

Permiten fijar de su emplazamiento las piezas que unen tantas veces como se considere necesario.

- Uniones articuladas.

Dejan cierta libertad de movimiento entre los elementos acoplados.

- Uniones fijas.

No permiten la separación de los elementos unidos una vez ejecutada la misma. Para retirarlos sería preciso destruir el sistema de unión, causando daños a las piezas que están unidas.

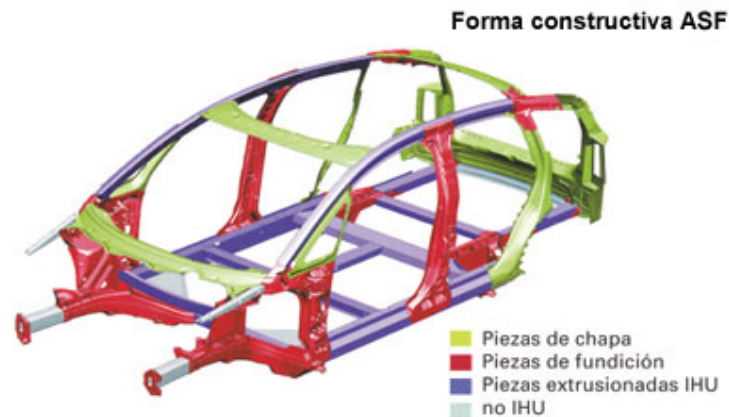


Figura 2.4 - Esquema forma constructiva

2.3 CARACTERISTICAS Y TIPOS DE LA CARROCERIA Y CHASIS

Es el elemento estructural, encargado de soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos que tiene el vehículo.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CHASIS:

- Es el soporte de todos los órganos mecánicos.
- Puede rodar sin carrocería.
- Un mismo tipo de chasis puede adaptarse a varios tipos de carrocería.
- Un mismo tipo de chasis puede alargarse o cortarse según los gustos del cliente.
- Es totalmente duro y rígido.

CARROCERÍA: Es el armazón del vehículo, formado por planchas metálicas unidas entre sí, cuyo interior se destina para los habitáculos de los pasajeros o mercancía.

TIPOS DE CARROCERÍA:

- Monocasco.
- Autoportante.

SISTEMAS DE CARROCERÍAS:

- Carrocería con chasis independiente.
- Carrocería con chasis plataforma.
- Carrocería autoportante o compacta.

CARROCERÍA CON CHASIS INDEPENDIENTE: Es el sistema más antiguo de los empleados en automóviles y el más sencillo, este tipo de carrocería se utilizó hasta la aparición de la autoportante o compacto.

CARACTERÍSTICAS DE LA CCI:

- La carrocería tiene su propio piso.
- La carrocería es un elemento independiente que se monta y desmonta del chasis completa.
- Va atornillado a través de uniones elásticas.
- Dificultad para obtener sistemas con centro de gravedad bajos.

CARROCERÍA CON CHASIS PLATAFORMA: Es un chasis aligerado que lleva el piso unido por soldadura, este tipo de carrocería es utilizado en pequeñas furgonetas y en vehículos de turismo destinados a circular por caminos en mal estado.

CARACTERÍSTICAS DE LA CCP:

- La plataforma es un chasis aligerado.
- La plataforma soporta a los órganos mecánicos y al piso.
- La plataforma puede rodar sin carrocería.
- La carrocería es independiente y se une a la plataforma por medio de tornillos o soldadura.

CARROCERÍA AUTOPORTANTE O COMPACTO: Es la carrocería adoptada por la mayoría de los automóviles actuales, esta formado por un gran numero de piezas de chapas unidas entre si mediante puntos de soldadura por resistencia eléctrica y al arco. También tiene piezas unidas por tornillos.

CARACTERÍSTICAS DE LA CAC:

- Está formada por un número muy elevado de piezas.
- Soporta todos los conjuntos mecánicos y se auto porta así misma.

SEGURIDAD DE LA CARROCERÍA: La carrocería es un elemento importante de seguridad pasiva, ya que en caso de colisión absorbe la mayor cantidad de energía posible.

El diseño de todas las carrocerías se basa en disipar desaceleraciones superiores a las que puede soportar el cuerpo humano.

ZONAS DE DISIPACIÓN DE DESACELERACIONES:

- Zona central: formada por el habitáculo de pasajeros, es la zona mas rígida del vehículo y debe ser indeformable.
- Zona frontal y trasera: Fácilmente deformables cuya misión es proteger la zona central transformando la energía cinética de la colisión en energía de deformación.

BASTIDOR: Es el armazón metálico sobre el que se montan y relacionan todos los elementos del automóvil; carrocería, motor y suspensión.

ELEMENTOS DEL BASTIDOR:

- Largueros: Por lo general posee dos.
- Travesaños: por lo general posee cuatro.

TIPOS DE BASTIDOR:

- Forma de H.
- Forma de U.
- Forma de C.
- Forma de S.
- Forma de L.
- Forma de X.

CARACTERÍSTICAS DEL BASTIDOR:

- Está compuesto por dos largueros.
- Está compuesto por travesaños.
- Debe ser rígido.
- Posee orificios en los largueros.

- Posee distintas formas.
- Se le pueden adaptar distintas carrocerías.
- Sus uniones son por medio de pernos, planchas metálicas o por soldadura de arco-eléctrico.

CAPITULO 3

CÁLCULO Y DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR

3.1 DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR

Un chasis se podría definir como una estructura cuyo propósito es el de conectar rígidamente la suspensión delantera y la trasera y al mismo tiempo ofrecer puntos de amarre para los diferentes sistemas del vehículo, así como de proteger al conductor frente a la colisión. Los diseños rara vez se someten a tensiones del orden de la tensión de rotura. La rigidez es una propiedad importante del material y por tanto del chasis, significa poca deformación para no alterar las características en la conducción del vehículo.

3.1.1. Criterios Sobre la rigidez

La presión global de la rigidez es: $K = \frac{P}{\Delta}$

Siendo: P, la carga aplicada (N)

Δ , la deformación (mm)

La rigidez cumple las siguientes proporcionalidades: $K \propto E \cdot I$ y $K \propto$

$E \cdot A$

Siendo: E , el módulo de elasticidad o módulo de Young

I , el momento de inercia (mm^4)

A , el área de la sección transversal (mm^2)

De estas proporcionalidades se deduce que a mayor módulo de elasticidad, momento de inercia y/o área de sección, mayor será la rigidez.

En la rigidez de un chasis, en principio se tienen en cuenta dos aspectos: la *rigidez a flexión* y la *rigidez torsional*.

Rigidez a flexión: Se refiere a cuánto se deforma el chasis debido al peso de los diferentes elementos que conforman el vehículo. La experiencia nos dice que realmente no es un problema a la hora de diseñar el chasis.

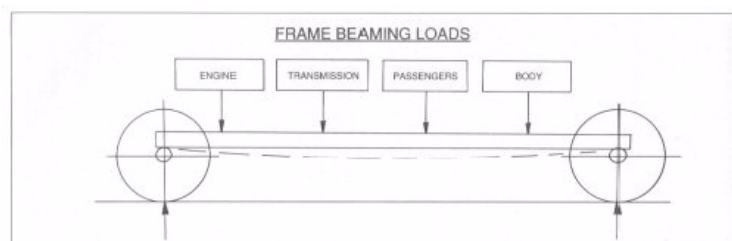


Fig. 3.1- Las cargas que pueden deformar el chasis

Rigidez torsional: Se refiere a cuánto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica, por ejemplo, se da cuando una de las ruedas delanteras pasa por una irregularidad en la vía mientras que las demás no. Esta es la característica que se debe cuidar para poder validar un chasis en cuanto a rigidez. Según la competición a la que esté dirigida el coche diseñado, le corresponderá una rigidez torsional u otra. Esto depende del par *torsor* máximo *al que pueda estar sometido*. Este par *torsor* proviene del conjunto de las fuerzas de los amortiguadores. Habría que decidir cuántos grados nos interesaría que se deformara como máximo cuando aplicásemos ese par máximo, por ejemplo, un grado; una cantidad imperceptible a simple vista. Finalmente se fija la rigidez *para* dar un margen de seguridad. En una competición de vehículos ligeros (areneros) una rigidez torsional de 150 kg-m^º, es una cantidad aceptable. Según referencias consultadas, en una competición, una rigidez torsional razonable sería de 500 kg-m^º. Según otras fuentes consultadas, para competencias en su categoría se requerirían 1500 kg-m^º de rigidez torsional.

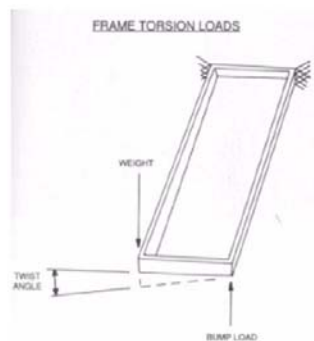


Figura 3.2 - Un chasis sometido a esfuerzos torsores

Triangularización: Por ejemplo, tenemos una estructura rectangular a la que se le aplica una carga tal y como se muestra en la siguiente figura:

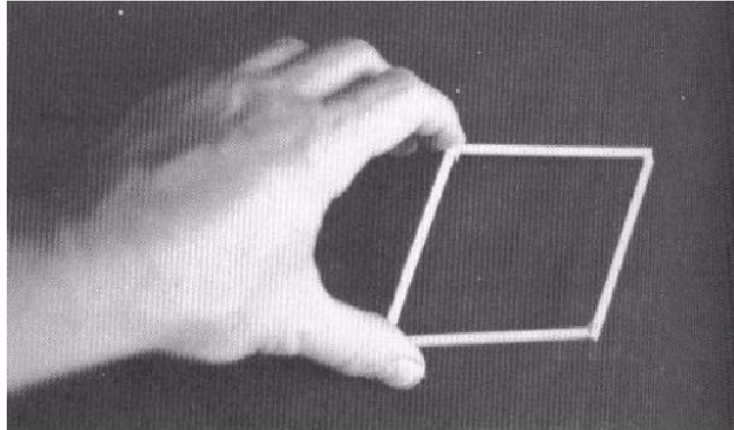


Figura 3.3- Estructura rectangular sometida a torsión.

Se comprueba que la rigidez torsional no es mucha ya que los nodos deben absorber gran parte de los esfuerzos en forma de momento flector. Si se arriestra esta estructura se hace que la barra de arriestramiento trabaje a esfuerzo axial (tracción o compresión) de modo que el nodo sufre un momento *flector* más pequeño. Diversos estudios muestran que la deformación debida a esfuerzo axial es mucho menor, en órdenes de magnitud, que la debida a momentos flectores y torsores. Por eso es preferible que se hagan trabajar las barras a esfuerzo axial antes *que a momentos flectores y/o momento torsor*. Esto se consigue con las estructuras triangularizadas. En cuanto al tipo de esfuerzo axial, es preferible la tracción a la compresión para evitar problemas de pandeo.

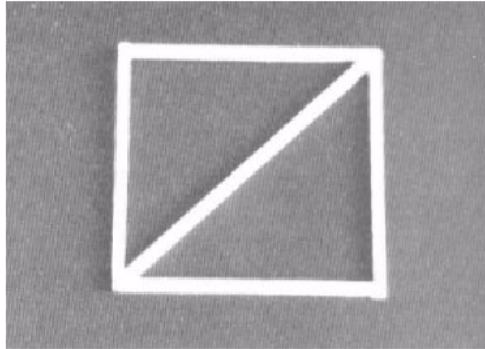


Figura 3.4: Estructura triangularizada.

En el diseño de un chasis, en cuanto a la rigidez se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- Hay elementos que no son parte integrante de la estructura pero que también aportan rigidez, en muchos casos nada despreciable, como por ejemplo, el motor. Hay que tenerlos en cuenta a la hora de calcular.
- Si utilizamos un material con menor módulo elástico E , por ejemplo, elegimos titanio o aleación de *aluminio* frente al acero, para que no baje *la rigidez total* hay que aumentar el momento de inercia (I) o el área de la sección (A) incrementando los diámetros de los tubos.
- Los elementos que producen mucha carga como por ejemplo el motor y la suspensión *deberían ser* amarrados en el *chasis en puntos triangularizados*.
- Los controles de la conducción deberían ser fijados lo mejor posible para que el chasis no se deforme durante la conducción.

- Las barras con una distancia entre apoyos mayores necesitan un momento de inercia mayor para aumentar la rigidez.
- Para aumentar la rigidez torsional se le pueden añadir a la estructura básica los llamados *sidepod* que dan un mayor momento de inercia. Estos *sidepod* también incrementan la protección al impacto lateral.

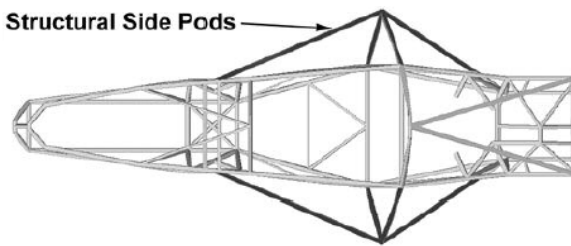


Figura 3.5. Los "sidepod" en un chasis tubular

- El correcto amarre de los componentes motrices es muy importante para una larga vida del chasis.
- Los anclajes del cinturón de seguridad no deberían deformarse perceptiblemente durante el choque.
- Aunque para un choque interesa que la carrocería se deforme lo máximo posible, la parte que protege a los pies del conductor conviene que sea rígida.

3.1.2 Criterios Sobre el peso y su Distribución

En el diseño de un chasis, en cuanto al peso y su distribución se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cuanto menos peso tenga el chasis, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.
- Respecto a los estudios hechos para la suspensión conviene que el centro de gravedad esté lo más bajo posible para disminuir el balanceo.

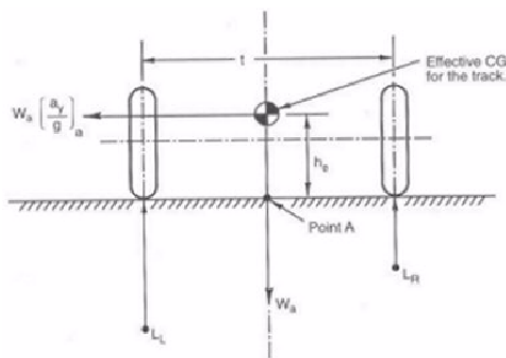


Figura 3.6 El impacto de fuerzas al balancear

Respecto a los estudios hechos para la aerodinámica conviene que el centro de gravedad esté por delante del centro de presiones lateral para evitar inestabilidades en la conducción debidas a cambios súbitos de viento *lateral*, por ejemplo, al adelantar a un camión. Es sabido que el centro de presiones lateral está más hacia atrás si la superficie lateral es mayor en la parte trasera que en la delantera.

3.1.3 Criterios sobre el espacio

En el diseño de un chasis, en cuanto a las necesidades de espacio se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- En el diseño de la estructura en los alrededores del motor y del diferencial (si lo tiene), si hay transmisión por cadena, se debe dejar suficiente espacio para poder colocar un rango de tamaños de piñones aceptable.
- Debe considerarse la facilidad de acceso para el mantenimiento de los elementos de propulsión.
- El hombre de percentil 95 debe poder entrar con comodidad en el coche con el casco puesto. Percentil 95 quiere decir *que el 95% de los hombres es de tamaño menor que este modelo y que sólo el 5% es mayor*. La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción. Un problema particular en este aspecto son los brazos del conductor.

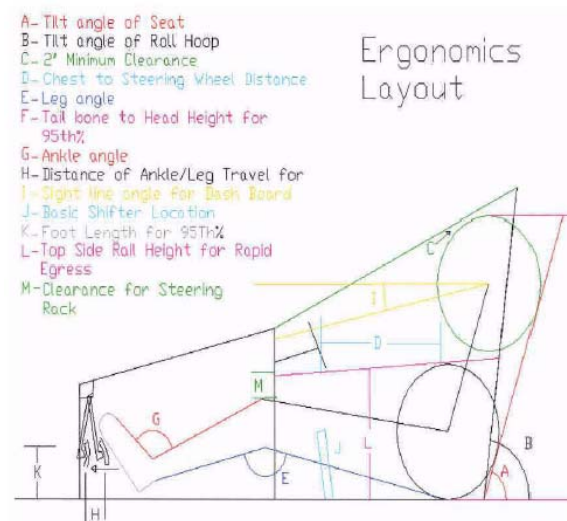


Figura 3.7: El espacio ocupado por el conductor

- Las medidas de los pedales, la longitud y el ángulo de los pies determinan la altura de la parte frontal del chasis.
- El ángulo de las piernas y las dimensiones del cuerpo determinan la longitud del asiento.
- La línea de visión se utiliza para determinar la altura *de la parte* frontal.

Es muy importante una rápida evacuación del conductor si hay accidente.

3.1. 4 Criterios sobre costos

En el diseño de un chasis, habrá que tener en cuenta los siguientes aspectos para que el coste no sea elevado:

- La selección de barras debe ser lo menos variada posible en cuanto a diámetros.
- El número de barras dobladas debe ser lo menor posible.
- El número de uniones debe ser el mínimo posible.
- En una construcción soldada de una estructura tubular, casi todos los costos de fabricación corresponden a las barras de relleno. Los nudos con espaciamiento son los más sencillos de fabricar, ya que simplemente se aplica un único corte a cada extremo de la barra de relleno, y para los nudos en K el ángulo del corte es el mismo en todos los extremos. Para más detalles ver el apartado que habla sobre las uniones.

- *Otro* elemento que puede variar los costos de fabricación es el tipo de equipamiento que utiliza el calderero. Para más detalles ver el apartado que habla sobre la fabricación.
- El número de soldaduras "a tope" debe ser el mínimo posible. Ello se consigue pidiendo perfiles tubulares en longitudes extra largas. En el capítulo de fabricación y montaje se explica con más detalle este tipo de soldadura.

3.1.5 Carga Aplicada

Los esfuerzos a los que está sometido un chasis en mayor medida son la flexión y la torsión. La flexión no es tan importante como la torsión debido a que la flexión no afecta a las cargas de las ruedas, que son las mayores que afectan al chasis. El coche también está sometido a esfuerzos debidos a la aerodinámica. El chasis debe tener una forma tal que el aire empuje el coche hacia abajo y que el chasis soporte esos esfuerzos. En un chasis tubular realmente no es importante la carga aerodinámica ya que las velocidades alcanzadas no son lo suficientemente grandes como para que tenga influencia.

- Los esfuerzos de diseño se consideran en las siguientes condiciones:
 - Coche a máxima velocidad en curva.
 - Aceleración *brusca*.
 - Frenada brusca tanto en recta como en curva.

➤ Los puntos de aplicación de los esfuerzos son:

Uniones en la suspensión (fuerzas de suspensión).

Uniones donde se apliquen pesos considerables (fuerzas de peso e inercia) o La estructura en sí (fuerzas de peso e inercias)

Las cargas mencionadas pueden clasificarse, por su variación en el tiempo, de la siguiente manera:

- ❖ *Cargas permanentes* G ; por ejemplo, el peso propio de la estructura, el peso del equipamiento fijo y del conductor.
- ❖ *Cargas variables* Q ; por ejemplo, cargas provenientes de la suspensión o las inercias al acelerar, al frenar y al girar.

Las cargas variables se considerarán como cuasiestáticas. Se parte del denominado *valor característico* de la carga, el cual es el valor medio de dicha carga en un espacio de tiempo. Por ejemplo, se supone que el coche está dando una curva. Mientras da la curva la aceleración lateral va cambiando a medida que va trazando la curva, porque *el* conductor hará variar la velocidad o cambiará el radio de curvatura. Esa aceleración lateral produce unas cargas de inercia que cambian en la misma proporción que lo hace ésta. Se tomaría como valor característico de la carga de inercia la media durante esa maniobra. Hay que tener en cuenta la variabilidad de la aceleración con el tiempo durante esa maniobra y no sólo hacer la media

aritmética entre el valor máximo y el mínimo. De forma general al valor característico se indica como F_k "

Ese valor característico se multiplica por un coeficiente parcial de seguridad γ_F adoptado para la carga considerada. Este coeficiente tiene en cuenta las posibles desviaciones desfavorables de la magnitud de las cargas, una modelización imprecisa de las mismas o una cierta incertidumbre en la evaluación de los efectos de las cargas o del estado límite considerado.

De esta manera se tiene lo que se denomina valor *de cálculo de la carga*:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k$$

En principio hay dos maneras de determinar los valores numéricos de los coeficientes parciales:

1. Por calibración de datos estadísticos históricos y constructivos.
2. Mediante la evaluación estadística de datos experimentales y observaciones de campo; y se debe realizar dentro de la teoría probabilística de la fiabilidad.

En realidad, para afinar los perfiles calculados, hay que tener en cuenta más factores, pero se toman los siguientes valores que son más conservadores para simplificar el cálculo:

Las cargas permanentes tendrán un coeficiente $\gamma_G = 1,33$.

Las cargas variables tendrán un coeficiente $\gamma_Q = 1,5$.

En el capítulo de fabricación y montaje se indica cuál es el coeficiente de minoración de las características mecánicas del material.

3.1.6. Algoritmo De Diseño Del Chasis Tubular

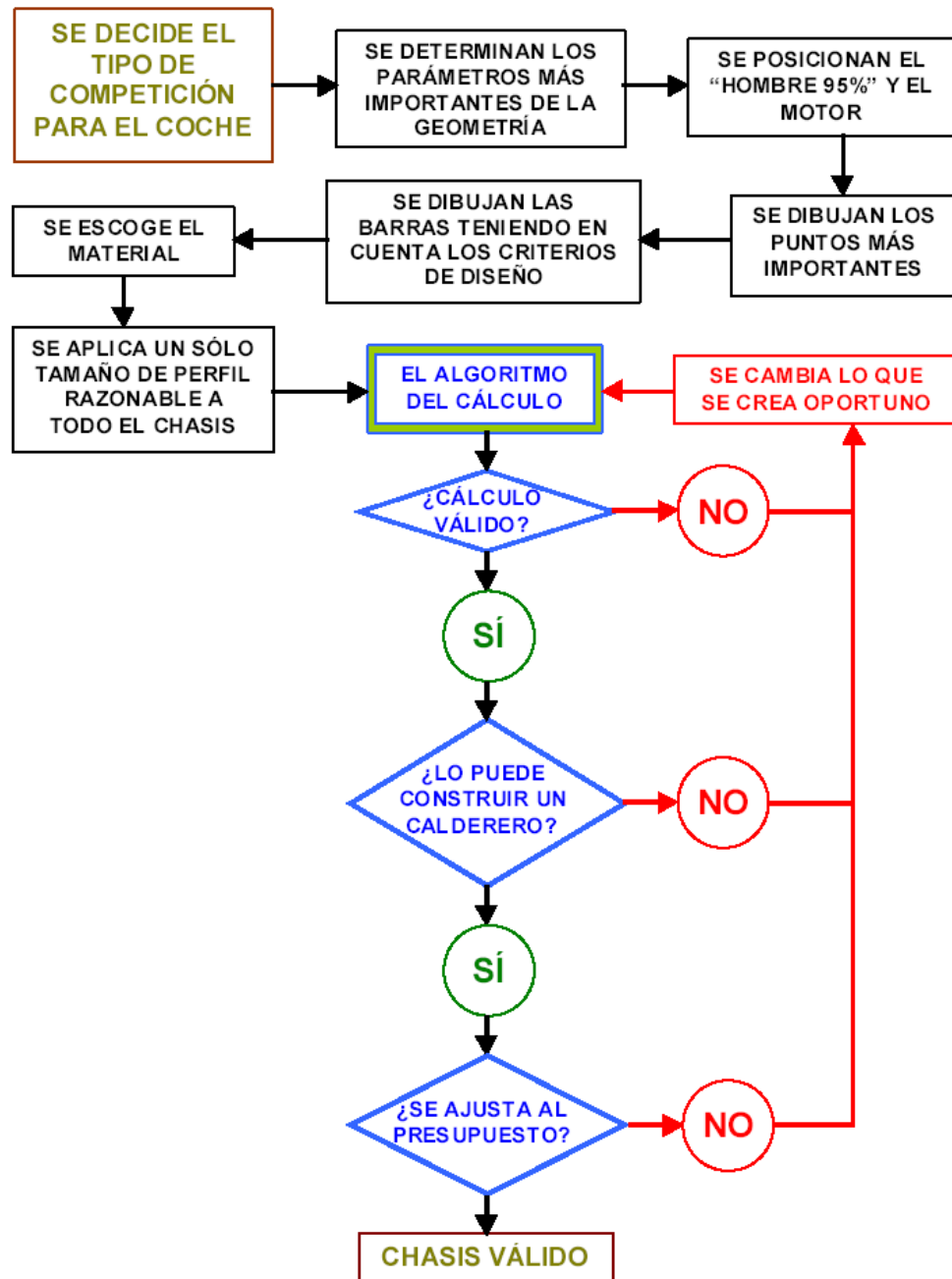


Figura 3.8 – El algoritmo de diseño de un chasis tubular.

3.2 CALCULO DE UN CHASIS TUBULAR

Se empieza por definir el estado límite que no se deberá sobrepasar para poder dar el visto bueno a la estructura. Habrá que calcular además si el sistema es estáticamente estable, es decir, si cada barra comprimida y/o flexionada aguanta a pandeo o no. También deberá comprobarse que las uniones soportan los esfuerzos a los que están sometidas.

3.2.1 Teoría del Cálculo

3.2.1.1. *Teoría de Primer Orden o Método de Rigidez*

El método está basado en el primer teorema de Castigliano, el cual indica que un esfuerzo es igual a la variación de la energía elástica almacenada respecto a su deformación correspondiente. Éste es aplicable a sistemas elásticos, con la condición de que pueda expresarse la energía elástica en función de las deformaciones.

En este caso se supone que la estructura se comporta de un modo lineal, es decir, que a un aumento de las cargas exteriores corresponde un aumento proporcional de las deformaciones y de los esfuerzos internos. Este comportamiento se origina en dos suposiciones que el material tiene un comportamiento se origina en dos suposiciones: que el material tiene un comportamiento lineal y que las deformaciones son pequeñas (la posición deformada coincide con la original). Mientras se cumplan estas condiciones es posible y aumentando las

cargas y todas las soluciones obtenidas son válidas. Esto conduce a problemas lineales, que suelen denominarse como teoría de primer orden.

$$F = K \cdot \Delta$$

K es la matriz de rigidez convencional en la teoría de primer orden.

3.2.1.2. Teoría de Segundo Orden

Suposiciones:

- Las deformaciones no son pequeñas. Por lo tanto las ecuaciones de equilibrio se deben plantear en la posición deformada, y no en la inicial
- El comportamiento del material es elástico lineal. En ciertos casos, concretamente en los que la esbeltez es inferior a un valor crítico, se debe considerar el comportamiento no elástico.

Todo esto conduce a problemas no lineales que suelen denominarse como teoría de segundo orden.

$$F = (K + K_{\sigma}) \cdot \Delta$$

K_{σ} es la matriz de rigidez geométrica de toda la estructura, obtenida por ensamblaje de las correspondientes a todos los elementos, y que depende de los esfuerzos axiales en todos ellos.

3.2.2 Aplicación de la teoría al cálculo de un chasis tubular

Como ya se ha indicado anteriormente *el objetivo* principal en cuanto al cálculo estructural es la rigidez, es decir, la deformación debe ser muy pequeña. De aquí se deduce que la teoría que conviene aplicar es la de primer orden o método de rigidez, debido a que se cumplen sus requisitos ya que es mucho más sencilla de utilizar que la de segundo orden.

3.2.3 El estado límite

En este apartado se va a tratar de determinar *el límite* que no debemos sobrepasar para poder dar el visto bueno a un chasis en cuanto a rigidez. En principio todas barras del chasis deben de poder aguantar todos los esfuerzos a los que están sometidas. Si alguna de ellas "falla", quiere decir que ha sobrepasado el *estado de esfuerzo de rotura*. Nuestra *intención* no es sólo que no lleguen al estado de *esfuerzo de rotura*, sino, que además no lleguen a un *estado límite de deformación*, que ya definiremos más adelante. ¿Cuándo sobrepasa una barra el estado límite último? ¿y cuándo el de deformación?

3.2.3.1 El Estado límite último

Para el cálculo de los estados límite últimos, el proyectista se encuentra ante cuatro métodos de cálculo:

Procedimiento “Plástico-plástico”. Sección transversal / clase 1

En este procedimiento se considera que se *puede* desarrollar plasticidad total en la sección transversal (bloques de tensiones bi-rectangulares) formándose de ese modo una rótula plástica. El estado límite último se alcanza cuando el número de rotulas plasticas es el suficiente para producir un mecanismo.

Procedimiento "elástico-elástico": Sección transversal clase 2

En este procedimiento se considera que el estado límite último se alcanza mediante la formación de la primera rotula plástica.

Procedimiento "elástico-elástico": Sección transversal clase 3

En este procedimiento se considera que el estado límite último se alcanza al fluir las fibras extremas de una sección transversal.

Procedimiento "elástico-elástico": Sección transversal clase 4

La sección transversal se compone de paredes más delgadas que las de la clase 3. Es necesario tener en cuenta explícitamente los efectos de pandeo local cuando se determina el momento último o la capacidad de resistencia a compresión de la sección transversal.

Los elementos calculados mediante los tres primeros métodos no deben pandear localmente antes de alcanzar sus cargas límites últimas; esto significa que las secciones transversales no deben ser de pared delgada. Con el fin de cumplir dicha condición, la relación d/t para

perfiles tubulares circulares no deben exceder determinados valores máximos. Estos son diferentes para las clases de sección transversal de 1 a 3. Una sección transversal debe clasificarse de acuerdo a la clase menos favorable (la más alta) de los elementos sometidos a compresión y/o flexión.

Tabla 3.1. Clases de sección transversal


| clases de sección transversal | clase 1 | clase 2 | clase 3 | clase 4 |
|--|--|--|---|--|
| capacidad de resistencia de carga | plasticidad total en la sección transversal. Capacidad total de rotación | plasticidad total en la sección transversal. Capacidad de rotación restringida | sección transversal elástica. Límite elástico en la fibra extrema | sección transversal elástica. Pandeo local a tener en cuenta |
| distribución de la tensión y capacidad de rotación |  |  |  |  |
| procedimiento para la determinación de los esfuerzos | plástico | elástico | elástico | elástico |
| procedimiento para la determinación de la capacidad de resistencia última de una sección | plástico | plástico | elástico | elástico |

Tabla 3.2: Proporciones d/t límites para perfiles tubulares circulares

| clase de sección transversal | compresión y/o flexión | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | 1 | $d/t \leq 50 \epsilon^2$ | | | |
| 2 | $d/t \leq 70 \epsilon^2$ | | | | |
| 3 | $d/t \leq 90 \epsilon^2$ | | | | |
| $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ | f_y (N/mm ²) | 235 | 275 | 355 | 460 |
| | ϵ | 1 | 0,92 | 0,81 | 0,72 |
| | ϵ^2 | 1 | 0,85 | 0,66 | 0,51 |

Para conseguir una rápida determinación de la clase de sección transversal de un perfil tubular, se muestran a continuación los valores limitadores d/t para los perfiles CHS con diferentes distribuciones de la tensión.

Tabla 3.3- Límites máximos d/t para las secciones transversales clases 1, 2 y 3 sometidas a compresión t/o flexión

| $d/t \leq$ | Tipo de acero estructural | | | |
|------------------------------|---------------------------|------|------|------|
| Clase de sección transversal | 235 | 275 | 355 | 460 |
| 1 | 50,0 | 42,7 | 33,1 | 25,5 |
| 2 | 70,0 | 59,8 | 46,3 | 35,8 |
| 3 | 90,0 | 76,9 | 59,6 | 46,0 |

Para la aplicación de los procedimientos "plástico-plástico" (clase 1) y "elástico-plástico" (clase 2), la relación entre la resistencia última a la tracción f_u y el límite elástico f_y no debe ser menor que 1,2.

$$f_u/f_y \geq 1,2$$

Para la aplicación del procedimiento "plástico-plástico" (rotación total), la deformación unitaria S_u correspondiente a la resistencia a la tracción última f_u debe ser al menos 20 veces la deformación unitaria f_u correspondiente al límite elástico f_y .

Los tipos de aceros para perfiles tubulares circulares (CHS) conformados en frío o caliente mencionados en este apartado cumplen los requisitos mencionados.

Tipo de sección transversal que corresponde a un chasis tubular

Los perfiles utilizados en un chasis tienen un diámetro exterior máximo del orden de 40 mm, y un espesor de unos 2 mm. Esto quiere decir que la relación d/t será a lo sumo del orden de 20. Por normas internacionales recomiendan la utilización de acero de alta resistencia de $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. El límite superior de d/t más restrictivo, con este tipo de acero, es el correspondiente a la sección de clase 1, que le corresponde un valor de 33,1.

Se ha indicado anteriormente que no se quiere una deformación apreciable del chasis. Esto implica que el cálculo se llevará a cabo mediante un procedimiento elástico-elástico. Por sencillez de cálculo y dado que también cumple el requisito de la relación d/t , se utilizará el método de la sección transversal 3, es decir, el *elástico-elástico que no tiene en cuenta el pandeo local*.

3.2.3.2. Límite de deformación

Lo ideal sería el poder fijar al chasis a un límite de deformación máxima en todos sus nudos. Tenemos que hacernos la siguiente pregunta: ¿Cómo se mide la deformación? Por ejemplo, la deformación de las barras podría medirse con galgas extensométricas, pero ¿qué pasa con los nudos? Primero habría que medir su posición inicial (sin que se apliquen esfuerzos) respecto a una referencia fija. Al mismo tiempo que se aplican unas cargas que simulan un estado de conducción (algo nada fácil si no se está conduciendo) habría que

medir la nueva posición de esos nudos respecto a la referencia fija a la que hacíamos mención antes.

Los constructores de chasis *recurren a un concepto* que ya ha sido mencionada anteriormente: la *rigidez torsional*. Además de que todas las barras aguanten los esfuerzos y no pandeen, el conjunto de la estructura debe tener una rigidez torsional satisfactoria. En teoría la rigidez torsional mínima necesaria sería aquella con la cual la deformación relativa entre la suspensión delantera y la trasera no fuese lo suficientemente grande como para alterar las características de conducción previstas al diseñar la suspensión. En este punto se ha de indicar que el diseño de la suspensión se hace suponiendo que el chasis es un sólido rígido, algo que no corresponde con la realidad.

¿Cómo se mide la rigidez torsional? la rigidez torsional que interesa medir es la que esta entre la suspensión delantera y la trasera. Idealmente lo que se tendría son dos placas de rigidez infinita, una que une las orejas posteriores de los trapecios de la suspensión trasera y otra que une las orejas anteriores de los triángulos de la suspensión delantera. Por ejemplo se fijaría la placa posterior y a la placa anterior se le aplicada un par. Se mediría el ángulo girado y por y con ello se podría saber la rigidez a torsión haciendo la siguiente operación:

$$\text{Rigidez torsional (Kg.m)} = \frac{\text{Par aplicado (kg.m)}}{\text{Ángulo girado (}^\circ\text{)}}$$

Esto podría hacerse método de rigidez, como por ejemplo Cestri. Para medir experimentalmente la rigidez torsional de un chasis ya construido habría que simular el caso ideal. A continuación se muestran unas imágenes de experimentos para medir la rigidez torsional por parte de diversos constructores de chasis.



Figura 3.9- Experimento 2 para medir la rigidez torsional



Figura 3.10: Experimento 2 para medir la rigidez torsional

3.2.4 Comprobación de las Barras

3.2.4.1. Comprobación a influencia de las barras

En este proyecto se presupone que se conoce como funciona el método de rigidez. Hay muchos programas de cómputo, que permiten calcular estructuras mediante este método. Los resultados que se obtienen son los esfuerzos axiales, momentos flectores y momentos torsores a los que están *sometidas* las barras.

Lo primero que habría que comprobar es si las barras llegan a un estado límite último. Tal y como se ha acordado anteriormente el estado límite último considerado es el de que ningún punto de ninguna sección llegue a la tensión de fluencia. Un criterio que se puede aplicar es el de Von Mises. El *método* de Von Mises halla a partir de un estado de tensiones en un determinado punto una tensión se le llama tensión de comparación y es igual a la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{Von Mises}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Donde σ_1 , σ_2 , y σ_3 son las tensiones principales del estado tensional, con su signo. Estas tensiones principales se obtienen mediante el círculo de Mohr. En el caso de las longitudes de barra utilizadas en un chasis, las tensiones cortantes creadas a partir del esfuerzo de cortadura Q son mucho menores que las tensiones producidas a partir del esfuerzo axial N, del momento torsor T y del momento flector M.

Teniendo en cuenta esto el estado tensional más desfavorable sería el siguiente:

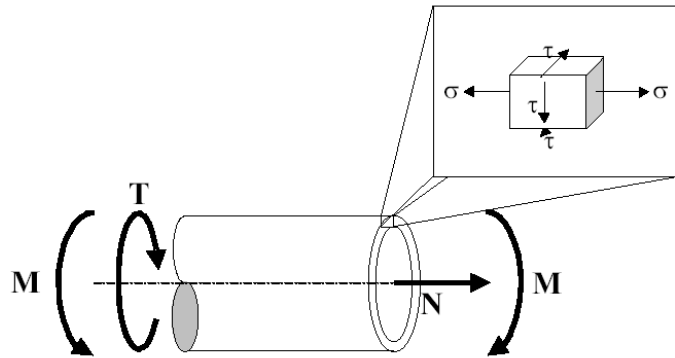


Figura 3.11- El estado tensional de las barras

Siendo:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot D/2}{I}$$

$$\tau = \frac{T \cdot D/2}{I_p}$$

Uno de los planos del elemento considerado tendrá el siguiente estado tensional:

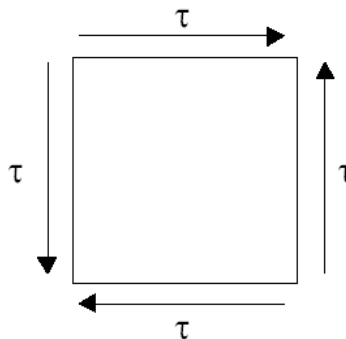


Figura 3.12- Plano 1 del estado de tensiones

Si hacemos un giro de 45° del elemento, en el mismo plano, el estado de tensiones equivalente será el siguiente:

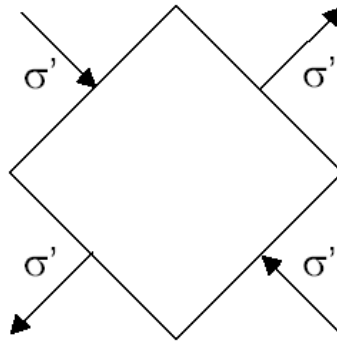


Figura 3.13- Corte oblicuo del estado de tensiones

De este plano y estos dos dibujos se puede hallar uno de los círculos de Mohr:

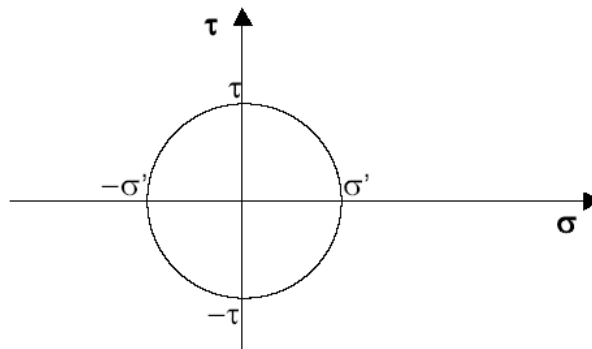


Figura 3.14- Primer Circuito de Mohr

El estado tensional de los planos perpendiculares es el siguiente:

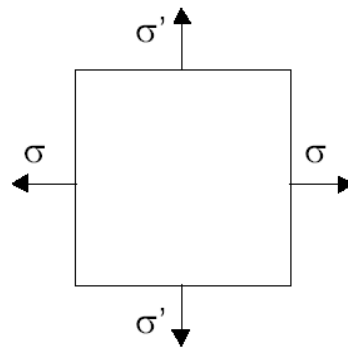


Figura 3.15- Plano 2 del estado de tensiones

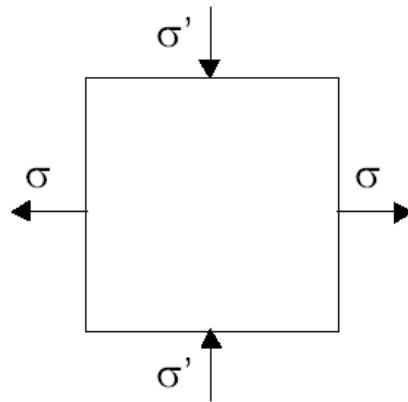


Figura 3.16- Plano 3 del estado de tensiones

Les corresponde los siguientes circuitos de Mohr:

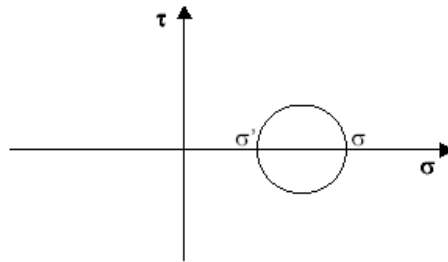


Figura 3.17: Segundo circuito de Mohr

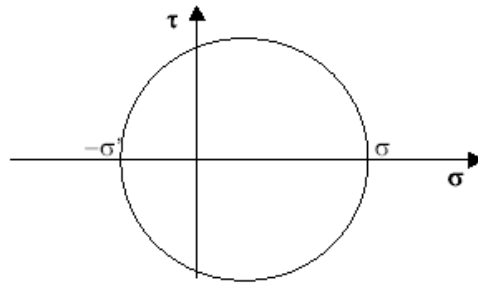


Figura 3.18- Tercer círculo de Mohr

Por lo tanto se tiene que el conjunto de círculos de Mohr es:

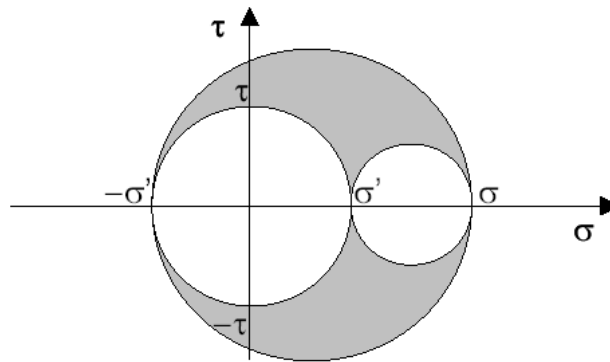


Figura 3.19- El conjunto de círculos de Mohr

Los estados tensionales posibles son los pertenecientes a la zona sombreada. De aquí se obtiene que:

$$\sigma_1 = \sigma = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot D/2}{I}$$

$$\sigma_2 = \tau = \frac{T \cdot D/2}{I_p}$$

$$\sigma_3 = -\tau = -\frac{T \cdot D/2}{I_p}$$

Si se sustituyen estas tensiones con su signo en la expresión de σ_{von}

moisés queda:

$$\sigma_{\text{Von Mises}} = \sqrt{\left(\frac{N}{A} + \frac{M \cdot D/2}{I}\right)^2 + 3\left(\frac{T \cdot D/2}{I_p}\right)^2}$$

Si consideramos acero de alta resistencia se tendría como límite de fluencia $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. Este límite de fluencia hay que minorarlo con su debido coeficiente parcial de seguridad de la propiedad del material γ_M . En el cálculo del estado último para las secciones de clases 1,2 y 3 γ_M tomará el siguiente valor: $\gamma_M = 1,1$. Por tanto se tiene que el límite de fluencia de cálculo $f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$. Si la tensión de Von Mises en la barra no supera este límite de fluencia se puede dar por válida en cuanto a que no llega el estado límite último.

3.2.4.2. Comprobación de la estabilidad de las barras

Una barra que no llega al estado límite último todavía tiene posibilidad de "fallar". A partir de una determinada carga puede dejar de ser estable, o en otras palabras pandear, según su esbeltez y sus condiciones de contorno.

En general no es necesario comprobar la resistencia al pandeo lateral con torsión para los perfiles tubulares circulares que en la práctica se utilizan habitualmente. Esto se debe a que su módulo de torsión I_t es muy grande en comparación con el de los perfiles abiertos. Teniendo esto en cuenta, el caso más general para barras de chasis va a ser aquel

en el que estén sometidas a compresión y a momentos Rectores. Para ras secciones transversales *de clase 3* la relación que se debe cumplir es la siguiente:

$$\frac{N_{sd}}{\chi \cdot A} + K_y \frac{M_{y,sd}}{W_{el,y}} + K_z \frac{M_{z,sd}}{W_{el,z}} \leq f_{yd}$$

Donde

N_{sd} : Valor de cálculo de la compresión axial.

$M_{y,sd}$, $M_{z,sd}$: Valores de cálculo máximo absoluto del momento flector alrededor del eje y-y o z-z según la teoría de primer orden.

A : área de la sección.

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos de resistencia elástica del eje y-y o z-z. Para barras CHS su valor es de $2xI_y/D$ y $2xI_z/D$ respectivamente.

χ : Factor de reducción para curvas de pandeo. Se toma el mínimo entre χ_y y χ_z según el eje y-y o z-z.

K_y , K_z : Coeficiente de amplificación para la barra.

$f_{yd} = f_y / \gamma_M$ = límite de Fluencia de *cálculo*.

Históricamente, el pandeo de una columna bajo compresión centrada, es el problema de estabilidad más antiguo que ya fue estudiado por Euler. Actualmente, el cálculo a pandeo de un elemento de *acero* sometido a compresión se realiza en la mayoría de los países europeos, utilizando las llamadas "curvas de pandeo europeas". Éstas

se basan en amplias investigaciones, tanto experimentales como teóricas, que tienen en cuenta especialmente las imperfecciones mecánicas (por ejemplo, tensión residual, distribución del límite elástico) y geométricas (por ejemplo, la desviación lineal) existentes en las barras. Se utilizan principalmente las curvas de pandeo múltiples (Eurocódigo 3). A partir de estas curvas se obtiene el factor χ si se conoce a su vez la esbeltez λ de la barra. Como puede verse en la siguiente figura hay 4 curvas diferentes de pandeo a_0 , a, b y c.

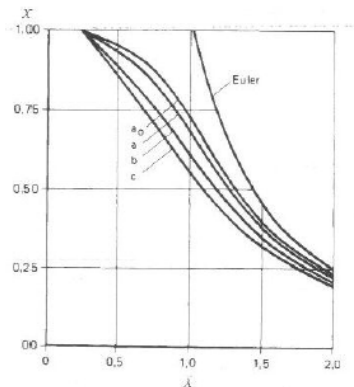


Figura 3.20- Las Curvas de pandeo europeas y la de Euler

Para hacer un cálculo exhaustivo a pandeo habría que determinar con la mayor exactitud posible los factores de reducción χ y los coeficientes de amplificación K_y y K_z para cada barra. Ello conlleva un arduo trabajo, para nada automatizable, ya que requiere *que* entre otras cosas el ingeniero decida *muchas* veces con criterios dudosos la longitud de pandeo de cada barra. Uno de los objetivos de este proyecto también es el de dar un poco de celeridad al tema del diseño

de chasis y este sería un claro cuello de botella en el proceso. Por esta razón se ha decidido tirar por el lado de la seguridad de una manera que puede parecer exagerada pero que en realidad no lo es tanto. Tal y como se verá en un ejemplo de un apartado posterior las barras trabajan como máximo con un rango de tensiones de alrededor de un 35% de lo que realmente pueden aguantar. Esto es debido a que como se ha indicado más de una vez el objetivo primordial en cuanto al comportamiento *como estructura es la rigidez. Por lo tanto aún* escogiendo el peor caso de pandeo las barras no deberían fallar. En el caso de que falle alguna barra a pandeo habría que afinar mejor el cálculo. El tema es largo y tedioso de tratar por lo que no se trata en este proyecto. Habría que consultar el Eurocódigo 3.

Determinación del factor X_1 de reducción para curvas de pandeo

Las curvas de pandeo a_0 , a, b y c dependen del tipo de sección transversal. Se basan principalmente en los diferentes niveles de tensiones residuales que se originan a causa de los diferentes procesos de fabricación:

Tabla 3.4- Curva de pandeo para diferentes procesos de fabricación

| Proceso de fabricación | Curvas de pandeo |
|---|-------------------------|
| Conformado en caliente | a |
| Conformado en frío (utilizando f_{yb}) | b |
| Conformado en frío (utilizando f_{va}) | c |

Siendo:

f_{yb} = Límite elástico del material básico (sin conformar en frío)

f_{ya} = Límite elástico del material después de conformado en frío

La curva de pandeo "a₀" puede utilizarse en lugar de la "a" para perfiles tubulares conformados en caliente que utilizan el tipo de acero S460.

El caso más usual para un chasis tubular es el de la curva "b". Los límites del factor X para este caso son: $0,0672 \leq X \leq 1$. Como se va a tomar el peor caso de todos se va a escoger $X = 0,0672$.

Determinación de los coeficientes de amplificación de la barra K_y y

K_z

Estos coeficientes dependen de la carga de compresión aplicada, de X_y y X_z , de la esbeltez, del tipo de diagrama de momentos, entre otros. Esto da una idea de la complejidad de su determinación. Su límite superior es 1,5. Se toma por tanto $K_y = 1,5$ y $K_z = 1,5$.

Punto de la barra donde se ha de aplicar el cálculo

El método de rigidez nos dará los esfuerzos a los que estará sometida cada barra. Estos esfuerzos irán variando a lo largo de cada barra, incluso el esfuerzo axial ya que tendremos fuerzas aplicadas en las mismas barras y no sólo en los nudos. Según la teoría de estabilidad, el punto de la barra donde se ha de echar el cálculo de pandeo depende de las condiciones de contorno. Hemos cogido el peor *caso* de *todos*

para no *tener que estar decidiendo las condiciones* de contorno de cada barra, por eso en este caso especial que estamos tratando no queda muy claro dónde aplicar la expresión general de pandeo. Por eso se aplicará en todos aquellos puntos de cada barra de los cuales tengamos los resultados de los esfuerzos. Esto se puede hacer fácilmente con programas de ordenador del estilo de Excel Si alguno de ellos falla habrá que afinar el cálculo de pandeo de esa barra en concreto según indica el Eurocódigo 3.

3.2.4.3. *Comprobación de las uniones Definición relacionadas con las uniones*

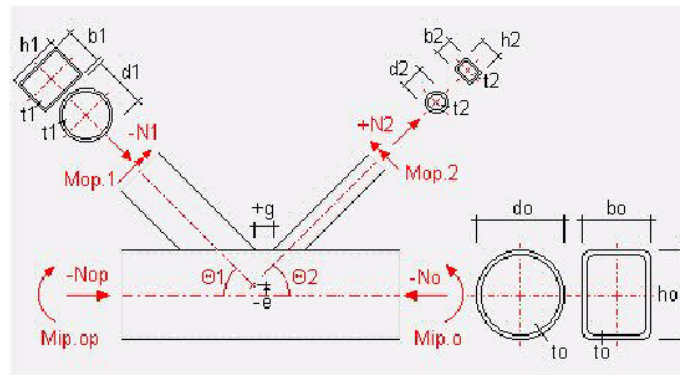


Figura .3.21 Esquema general de un nudo en K

Cordón: En una unión de barras tubulares, el cordón es la barra a la que se le sueldan el resto de las barras. Las características referidas al cordón se indican con el subíndice "O".

Barra de relleno: En una unión de barras tubulares, la barra de relleno es la que se suelda sobre el cordón. Su extremo se tiene que cortar con

la forma adecuada para poderse soldar correctamente. Tiene un diámetro menor o igual que el cordón y puede haber más de una barra de relleno para una misma unión. Las características referidas a las barras de relleno se indican con el subíndice "i" (i=1, 2, 3, ...).

Espaciamiento (g): Es la separación entre los extremos de dos barras de relleno en una unión.

Recubrimiento (0v): Es la superposición entre los extremos de dos barras de relleno en una unión.

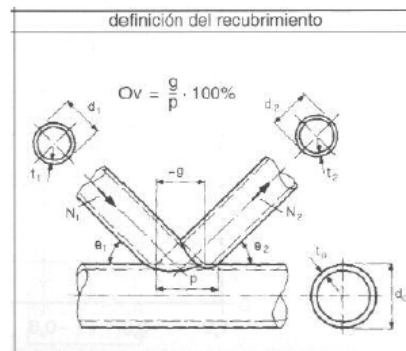


Figura 3.22: El recubrimiento

Excentricidad nodal (e): Es la distancia vertical entre la fibra neutra del cordón y la intersección de las fibras neutras de las barras de relleno.

Esfuerzos:

N_{op} , N_u , N_i : Son las fuerzas axiales del cordón y de las barras de relleno.

$M_{ip,op}$, $M_{ip,0}$: Son los momentos flectores aplicados en el plano sobre el cordón.

M_{opi} : Son los momentos flectores aplicados fuera del plano sobre las barras de relleno.

Ecuaciones de equilibrio:

$$N_o = N_{op} + N_1 \cdot \cos \theta_1 - N_2 \cdot \cos \theta_2$$

$$M_{ip,0} = M_{ip,op} + N_1 \cdot e \cdot \cos \theta_1 + N_2 \cdot e \cdot \cos \theta_2$$

$$M_{op,1} \cdot \cos \theta_1 - M_{op,2} \cdot \cos \theta_2 = 0$$

$$M_{op,1} \cdot \text{sen} \theta_1 + M_{op,2} \cdot \text{sen} \theta_2 = 0$$

Tipos de uniones en dos dimensiones

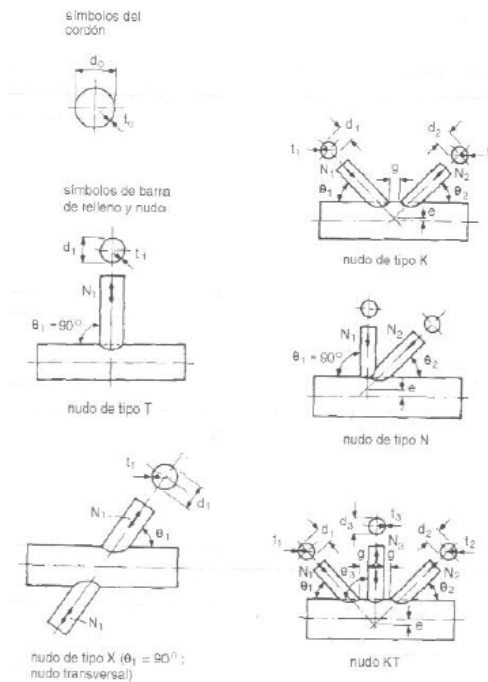


Figura 3.23- Símbolos del cordón, barras de relleno y unión

Las uniones tipo T, K, N y X son los tipos de uniones básicas. Hay otras configuraciones de uniones como la KT y otras especiales que

derivan de los tipos básicos de uniones planas. Ya se verá cómo tratarlas. En cuanto al cálculo de las uniones multiplano hay que señalar que deriva del de estas uniones.

Cálculo de las uniones

Al calcular estructuras tubulares es importante que el proyectista tome en consideración el comportamiento de los nudos desde el principio.

La expresión general de resistencia para el cálculo de nudo es:

$$Q_k \leq \frac{N^*}{\gamma_s} = \frac{N_k}{\gamma_s \cdot \gamma_m}$$

Donde:

Q_k = carga admisible.

N^* = resistencia de cálculo de la unión.

N_k = resistencia característica de la unión expresada en términos de carga axial.

γ_s = coeficiente de seguridad de las acciones. Toma los valores que se indican en el apartado en el que se tratan las acciones.

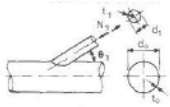
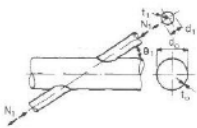
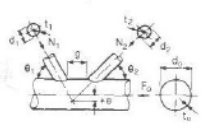
γ_m = coeficiente de seguridad parcial de la unión y del material. Se recomienda un valor de $\gamma_m = 1,5$.

La resistencia de cálculo está generalmente gobernada por dos criterios: **la plastificación** de la sección transversal del cordón y el **punzonamiento** del mismo.

Uniones en estructuras planas sometidas a cargas axiales

En la siguiente tabla se indican las fórmulas de resistencia de cálculo de las uniones más comunes en el plano, que pueden ser utilizadas para el cálculo:

Tabla 3.5- Recomendaciones de cálculo para nudos en un plano

| Tipo de nudo | Resistencia de cálculo (i = 1, 2) | | | |
|--|--|---|--|---------------------------------------|
| nudos en T e Y | plastificación del cordón | | | |
|  | $N_1^* = \frac{f_{yo} \cdot l_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \beta^2) \cdot \gamma^{0,2} \cdot f(n')$ | | | |
| nudos en X | plastificación del cordón | | | |
|  | $N_1^* = \frac{f_{yo} \cdot l_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left[\frac{5,2}{1 - 0,8T \beta} \right] \cdot f(n')$ | | | |
| nudos en K y N con espaciamiento y recubrimiento | plastificación del cordón | | | |
|  | $N_1^* = \frac{f_{yo} \cdot l_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot f(\gamma, g) \cdot f(n')$ $N_2^* = N_1^* \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ | | | |
| general | punzonamiento | | | |
| comprobación a punzonamiento para nudos en T, Y, X y en K, N, KT con espaciamiento | $N_1^* = \frac{f_{yo}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1}$ | | | |
| funciones | | | | |
| $f(n') = 1,0$ para $n' \geq 0$ $n' = \frac{f_{cp}}{f_{yo}}$ (tracción) $f(n') = 1 + 0,3 n' - 0,3 n'^2$ para $n' < 0$ (compresión) | $f(\gamma, g) = \gamma^{0,2} \cdot \left[1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{\exp(0,5 g^2 - 1,33) + 1} \right]$ | | | |
| campos de validez | | | | |
| $0,2 < \frac{d_1}{d_0} \leq 1,0$ | $\frac{d_1}{2 t_1} \leq 25$ | $30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ $-0,55 \leq \frac{g}{d_0} < 0,25$ | $\gamma \leq 25$ $\gamma \leq 20$ (nudos en X) | $O_v \geq 25\%$ $g \geq t_1 + t_2$ |

Donde:

f_{y0} = límite elástico del cordón

f_{y1} = límite elástico de la barra de relleno i.

f_{op} = pretensado en el cordón.

β = relación de diámetros entre barras de relleno y cordón:

$$\beta = \frac{d_1}{d_o}, \text{ para uniones T, Y, X.}$$

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_o}, \text{ para uniones KT.}$$

γ = relación entre la mitad del diámetro y el espesor del cordón:

$$\gamma = \frac{d_o}{2 \cdot t_o}$$

n' = pretensado del cordón.

$$n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}} = \frac{N_{op}}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_{op}}{W_0 \cdot f_{y0}}$$

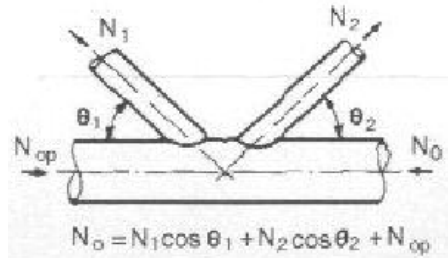


Figura 3.23- El equilibrio de fuerzas en un nudo K

Donde:

A = área de la sección.

W = módulo resistente.

$f(n')$ = función que incluye el pretensado del cordón en

la ecuación de resistencia de la unión.

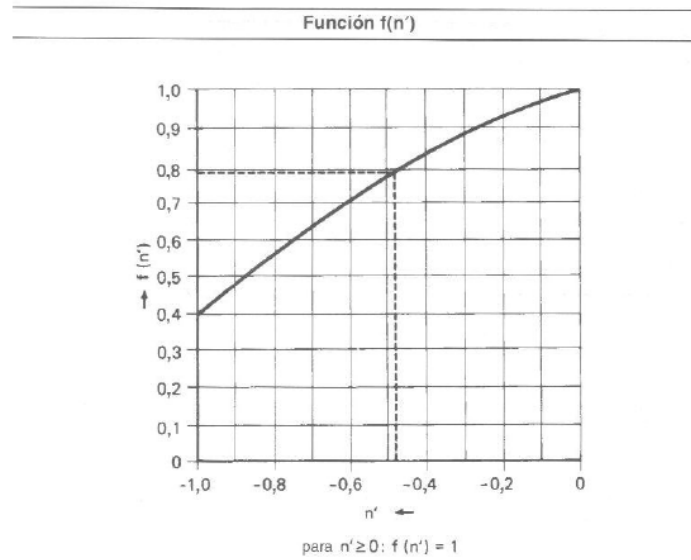


Figura3.24- $f(n')$ del pretensado del cordón en la ecuación de resistencia de la unión

g' = espaciamento dividido por el espesor de la pared del cordón

$$g' = \frac{g}{t_o}$$

$f(y, g')$ = función de la influencia del espaciamento y el recubrimiento.

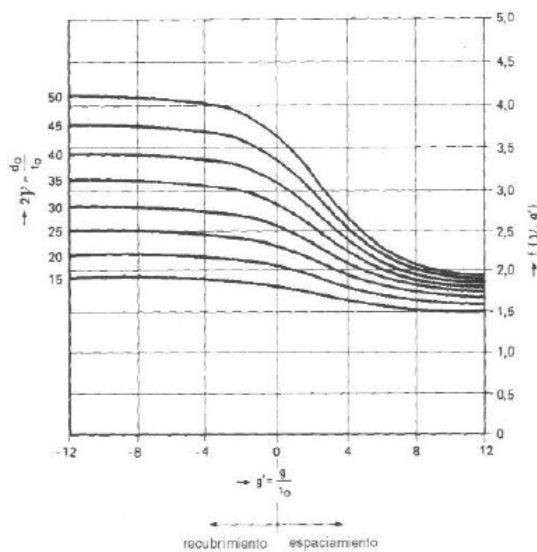


Fig.3.25 : función $f(r, g')$ de la influencia del espaciamento y el recubrimiento

La mayor parte de estas fórmulas tienen como base las fórmulas básicas originariamente desarrolladas por Kurobane. Las fórmulas de cálculo para uniones en T, Y y X, se han basado en la resistencia bajo carga *de* compresión, pero pueden utilizarse también para sollicitación de tracción, La resistencia última bajo carga de tracción es normalmente mayor que bajo Carga de compresión, pero, sin embargo, no es siempre posible aprovechar esta resistencia debido a la existencia de grandes deformaciones o *debido a la fisuración prematura*.

Para una rápida comprobación de los cálculos se utilizan los diagramas de resistencia de la unión, que son el resultado de las fórmulas de eficiencia del siguiente tipo:

$$\frac{N_i^*}{A_i \cdot f_{yi}} = C_e \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot \frac{f(n')}{\text{sen } \theta_i}$$

Donde:

C_e = Parámetro general de eficiencia, C_e es función del tipo de unión (C_T para uniones T e Y, C_x para uniones X, C_K para uniones K y N), de la relación de diámetros β y de la relación entre el diámetro y el espesor del cordón d_0/t_0 . El corte horizontal que presentan estas curvas es el fallo de la unión debido al punzonamiento. Este corte horizontal es conservador si el ángulo de la barra de relleno es $\theta < 90^\circ$,

Uniones en T e Y de perfiles tubulares circulares

Tabla 3.6 Nudos en T e Y de perfiles tubulares circulares

| nudos en T e Y de perfiles tubulares circulares | |
|---|--|
| símbolos | campos de validez |
| <p> $\beta = \frac{d_1}{d_0}$ $\gamma = \frac{d_0}{2 t_0}$ $n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}}$ </p> <p> $N_0 = N_1 \cos \theta_1 + N_{op}$ </p> <p> f_{op} = tensión del cordón como resultado de la fuerza axial adicional o momentos flectores </p> | <p> $0,2 \leq \beta \leq 1,0$ </p> <p> $\frac{d_0}{t_0} \leq 50$ </p> <p> $\frac{d_1}{t_1} \leq 50$ </p> <p> $f_{y1} \leq 355 \text{ N/mm}^2$ $30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ </p> <p> las soldaduras se dimensionarán en base al límite elástico de la barra de relleno </p> |

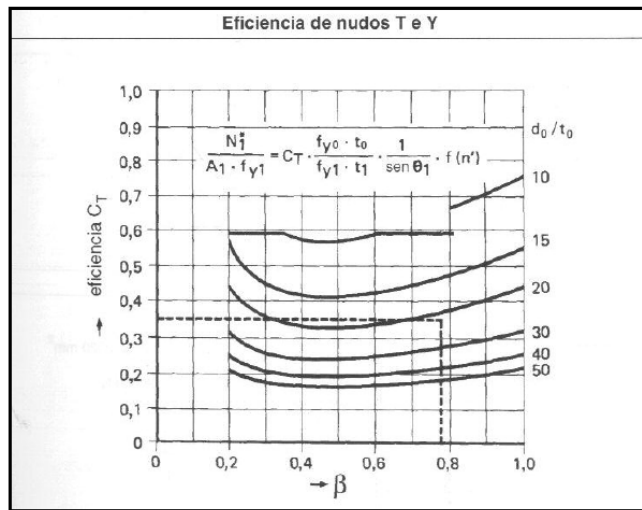
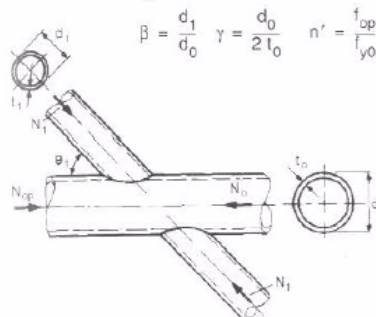


figura 3.26- Eficiencia de nudos T e Y

Uniones en X de perfiles tubulares circulares

Tabla 3.7-: Nudos en X de perfiles tubulares circulares f

| nudos en X de perfiles tubulares circulares | |
|---|---|
| símbolos | campos de validez |
|  $\beta = \frac{d_1}{d_0} \quad \gamma = \frac{d_0}{2t_0} \quad n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}}$ <p>f_{op} = tensión del cordón como resultado de la fuerza axial adicional o momentos flectores</p> | $0,2 \leq \beta \leq 1,0$ $\frac{d_0}{t_0} \leq 40$ $\frac{d_1}{t_1} \leq 50$ $f_{y1} \leq 355 \text{ N/mm}^2 \quad 30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ <p>las soldaduras se dimensionarán en base al límite elástico de la barra de relleno</p> |

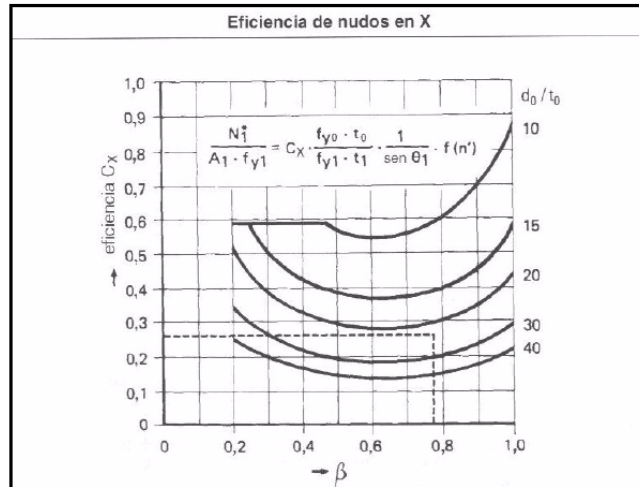
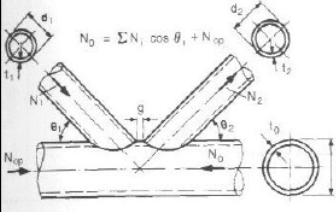


figura 3.27- Eficiencia en nudos en X

Uniones en K e N de perfiles tubulares circulares

Tabla 3.8- Nudos en K y N de perfiles tubulares circulares

| nudos en K y N de perfiles tubulares circulares | |
|--|--|
| simbolos | campos de validez |
| $\beta = \frac{d_1 + d_2}{2 d_0} \quad \gamma = \frac{d_0}{2 t_0} \quad n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}} \quad g' = \frac{g}{t_0}$ | $0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} \leq 1,0$ |
|  $N_0 = \sum N_i \cos \theta_i + N_{op}$ | $\frac{d_i}{t_i} \leq 50 \quad (i = 0, 1, 2)$ $f_{yi} \leq 355 \text{ N/mm}^2$ $g \geq t_1 + t_2$ $-0,55 \leq \frac{e}{d_0} \leq 0,25 \quad 30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$ |
| f_{op} = tensión del cordón como resultado de la fuerza axial adicional o momentos flectores | las soldaduras se dimensionarán en base al límite elástico de la barra de relleno |

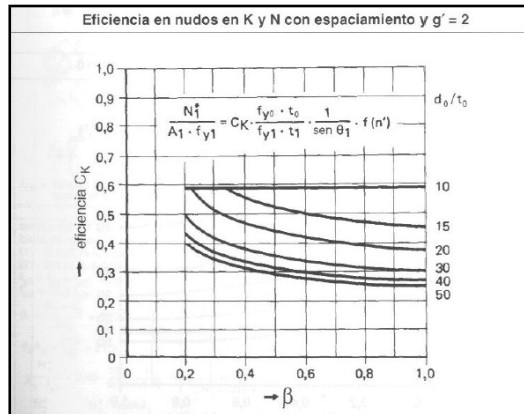


figura 3.28- Eficiencia en nudos en K y N con espaciamiento y $g'=2$

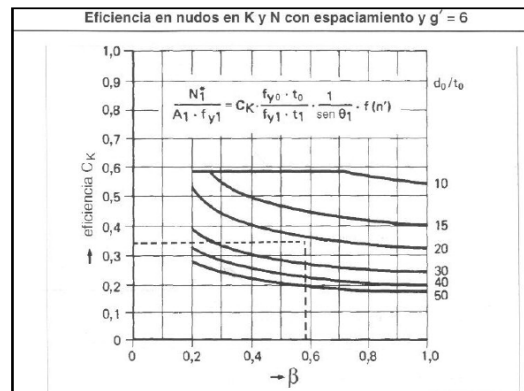


figura 3.29- Eficiencia en nudos en K y N con espaciamiento y $g'=6$

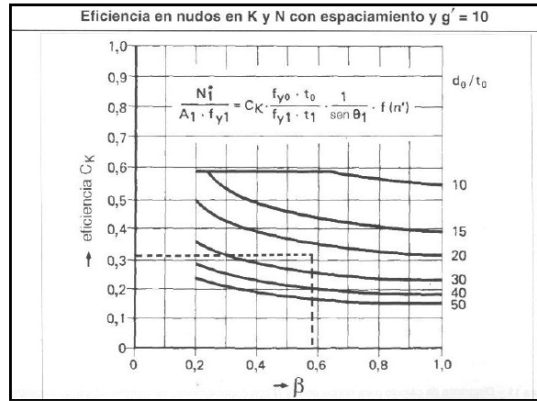


figura 3.30 Eficiencia en nudos de K y N con espaciamento y $g' = 10$

Uniones con recubrimiento en K y N de perfiles tubulares circulares

Tabla 3.9: Uniones con recubrimiento en Ky N de perfiles tubulares circulares

| simbolos | campos de validez |
|--|--|
| $\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_0} \quad \gamma = \frac{d_0}{2t_0} \quad n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}}$ | $0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} \leq 1,0$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50 \quad (i = 0, 1, 2)$ $f_{y1} \leq 355 \text{ N/mm}^2$ $OV > 25\%$ $-0,55 \leq \frac{e}{d_0} \leq 0,25 \quad 30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ |
| $f_{op} = \text{tensión del cordón como resultado de la fuerza axial adicional o momento flector}$ | las soldaduras se dimensionarán en base al límite elástico de la barra de relleno |

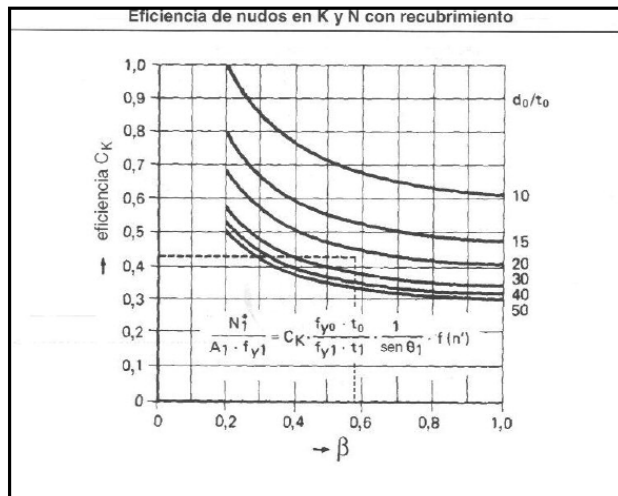


Figura 3.31- Eficiencia de nudos en K y N con recubrimiento

Las uniones en K, N y KT con carga transversal externa al cordón, pueden calcularse utilizando los criterios para uniones en K mediante la comprobación de la mayor componente normal de las fuerzas de las barras de relleno. Sin embargo, si todas las barras de relleno actúan o a tracción o a compresión (en el mismo sentido) o si sólo una barra de relleno está soportando la carga, la unión deberá ser comprobada como una unión en X.

Para evitar la interacción entre pandeo local de la barra de relleno y la resistencia de la unión se recomienda limitar las eficiencias de resistencia de la unión mediante una barra de relleno a compresión con relaciones altas d_1/t_1 , entre el diámetro de barra de relleno y el espesor de pared.

Tabla 3.10 - Límites d_1/t_1 , para los que las eficiencias de unión puedan utilizarse siempre

| Límites d_1/t_1 para los que las eficiencias de unión puedan utilizarse siempre | | Límite de eficiencia* para barras de relleno a compresión | | | | | |
|---|-------------------|---|-----------|------|------|------|------|
| Límite elástico | Límite d_1/t_1 | f_{y1} | d_1/t_1 | | | | |
| | | | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ | $d_1/t_1 \leq 43$ | 235 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,98 | 0,93 |
| $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ | $d_1/t_1 \leq 37$ | 275 | 1,0 | 1,0 | 0,96 | 0,88 | 0,86 |
| $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ | $d_1/t_1 \leq 28$ | 355 | 0,98 | 0,88 | 0,85 | 0,78 | 0,76 |

Estos límites de eficiencia pueden expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$* \frac{N^*}{A_i \cdot f_{yi}} \leq \text{valores dados en la tabla}$$

Estos límites de eficiencia pueden tomarse mediante la siguiente fórmula:

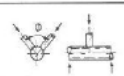
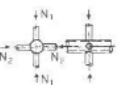
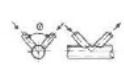
$$\text{eff} \leq 0,22 \cdot \left(\frac{E}{f_{y1}} \cdot \frac{t_1}{d_1} \right)^{0,5} \leq 1,0$$

Tomando en consideración el pandeo de la barra las limitaciones anteriormente mencionadas no serán críticas habitualmente.

Uniones en estructuras multiplazo

Los efectos multiplazo se basan en consideraciones elásticas y aún no se han comprobado lo suficiente frente al comportamiento plástico real de las uniones. Basándose en los datos disponibles se recomienda calcular las uniones multiplazo utilizando las fórmulas para uniones planas con los coeficientes de corrección de la siguiente tabla:

tabla 3.11: Coeficientes de corrección para nudos multiplazo

| Tipo de nudo | Coeficiente de corrección respecto a nudo plano $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ |
|---|---|
| TT  | 1,0 |
| XX  | $1 + 0,33 \frac{N_2}{N_1}$ Nota: tener en cuenta el signo de N_2 y N_1 ($N_1 \geq N_2$) |
| KK  | 0,9 |

Uniones sometidas a momento flector

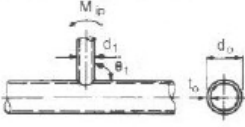
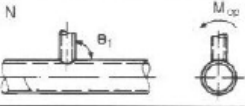
Existen dos tipos de momento flector a los que puede estar sometida una unión:

- ❖ ***Momento flector primario***: está causado por la excentricidad nodal e .
- ❖ ***Momento flector secundario***: está causado por el empotramiento de los extremos de las barras de la unión.

Los momentos flectores secundarios son los que se obtendrían mediante el método de rigidez si se ha supuesto que la unión es rígida. En la comprobación de si la unión aguanta o no, no hará falta tener en cuenta la influencia de estos momentos si la geometría está dentro de los campos de validez. En caso contrario se puede actuar como sigue:

Las uniones solicitadas predominantemente por momentos flectores en el plano son generalmente de tipo T y se denominan uniones Virendeel. La resistencia de cálculo de la unión para uniones solicitadas a flexión puede también utilizarse para otras configuraciones de uniones tales como uniones en K, N y KT. A continuación se indican las recomendaciones de *cálculo* para uniones solicitadas por momentos flectores primarios:

Tabla 3.12- Recomendaciones de cálculo para nudos solicitados por momentos flectores primarios.

| Tipo de nudo | Resistencia de cálculo |
|--|---|
| T, Y, X  | plastificación del cordón $M_{ip}^* = 4,85 f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \gamma^{0,5} \cdot \beta \cdot d_1 \cdot \frac{f(n')}{\text{sen } \theta_1}$ |
| T, Y, X, K, N  | plastificación del cordón $M_{op}^* = f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} \cdot \frac{f(n')}{\text{sen } \theta_1} \cdot d_1$ |
| General, comprobación de punzonamiento para $d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0$ | $M_{ip}^* \leq \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot d_1^2 \cdot \frac{1 + 3 \text{sen } \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1}$ $M_{op}^* \leq \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot d_1^2 \cdot \frac{3 + \text{sen } \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1}$ |
| mismo campo de validez que para nudos solicitados axialmente | $f(n') = 1 + 0,3 n' - 0,3 n'^2 \text{ para } n' \leq 0$ $f(n') = 1 \text{ para } n' \geq 0$ $n' = f_{op}/f_{y0}$ |

Para el punzonamiento se da la capacidad del momento plástico debido al esfuerzo cortante. Sin embargo, la función se basa en una aproximación elástica. De forma similar a las uniones solicitadas axialmente, estas fórmulas se presentan en forma de diagramas de cálculo de eficiencia. La eficiencia de la unión C_{jpb} o C_{opb} proporciona la resistencia de cálculo a momento de la unión dividida por el momento plástico $W_{p/1} \cdot f_{y1}$ de la barra de relleno. La Línea de corte horizontal da la limitación basada en el *punzonamiento* (*capacidad del momento plástico en punzonamiento*).

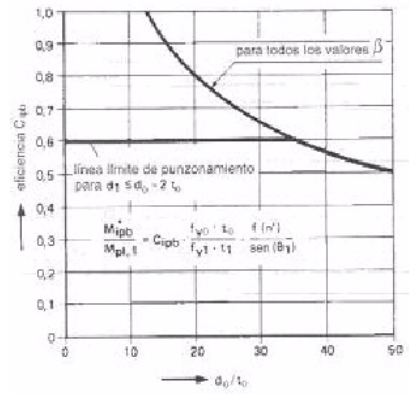


Figura 3.32- Diagrama de cálculo para nudos solicitados por momentos flectores en el plano.

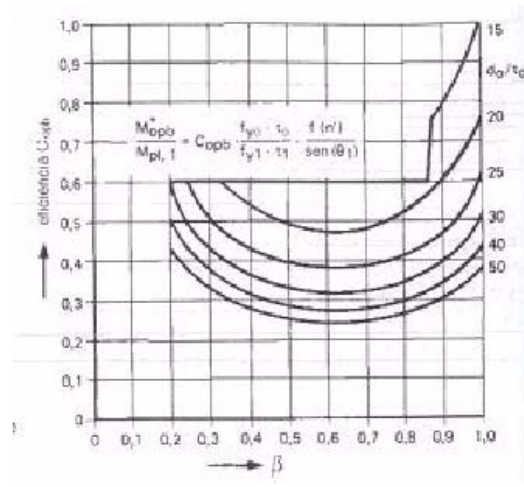


Figura 3.33- Diagrama de cálculo para nudos solicitados por momentos flectores fuera del plano.

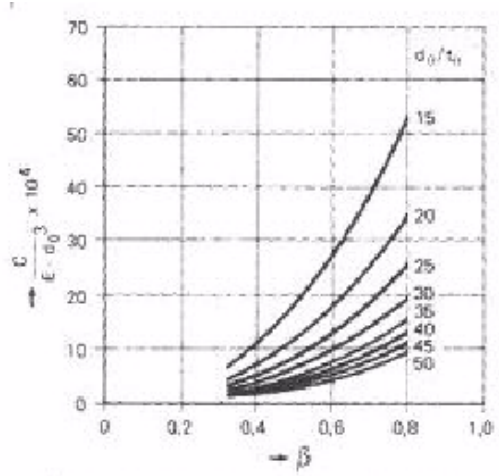


Figura 3.34 Rigidez del nudo para flexión en el plano de nudos en T.

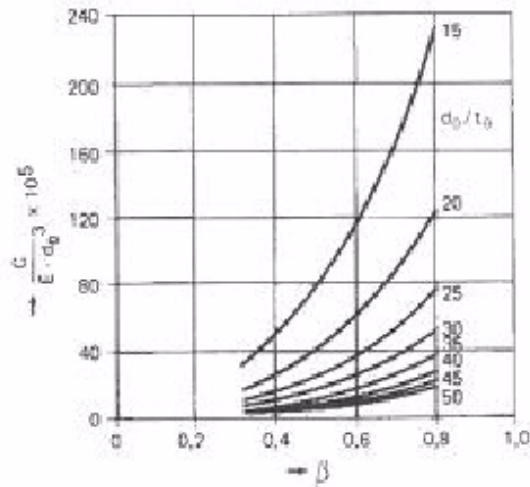


Figura 3.35 Rigidez del nudo para flexión fuera del plano de nudos en T.

Interacción entre carga axial y momentos flectores

Se han llevado a cabo varias investigaciones para estudiar este problema y como resultado existen muchas fórmulas de interacción. Todas las investigaciones han demostrado que la flexión en el plano es menos severa que la flexión fuera del plano. A continuación se ofrece una función límite inferior de interacción, razonablemente simplificada:

$$\frac{N_i}{N_i^*} + \left(\frac{M_{ip}}{M_{ip}^*} \right)^2 + \frac{M_{op}}{M_{op}^*} \leq 1,0$$

Donde

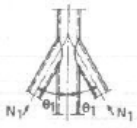
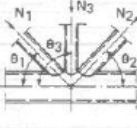
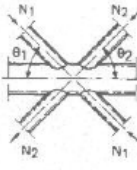
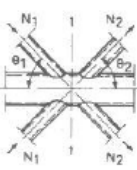
N_i , M_{ip} y M_{op} son las cargas que actúan y N_i^* , M_{ip}^* , M_{op}^* son las resistencias de cálculo.

Debe hacerse notar que las rigideces de nudo dadas *en las* gráficas 3 y 4 de la figura anterior pueden verse afectadas considerablemente por la presencia de la carga axial; sin embargo, no se dispone de ensayos suficientes para dar una recomendación más precisa.

Tipos especiales de nudos planos

La resistencia de diferentes tipos de uniones puede relacionarse directamente con los tipos básicos T, Y, X, K, N.

Tabla 3.13- Tipos especiales de nudos,

| Tipo de nudo | Relacion con las fórmulas de la carga axial |
|--|--|
| <p>a</p>  | $N_1 \leq N_1^* \quad N_1^* \text{ del nudo en X}$ |
| <p>b</p>  | $N_1 \cdot \text{sen } \theta_1 + N_3 \cdot \text{sen } \theta_3 \leq N_1^* \cdot \text{sen } \theta_1$ $N_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \leq N_1^* \cdot \text{sen } \theta_1 \quad (N_1^* \text{ del nudo en K})$ <p>sustituir $\frac{d_1}{d_0}$ por $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$ en la fórmula de resistencia de nudo en K</p> |
| <p>c</p>  | $N_1 \cdot \text{sen } \theta_1 + N_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \leq N_1^* \cdot \text{sen } \theta_1 \quad (N_1^* \text{ del nudo en K})$ <p>donde $N_1^* \cdot \text{sen } \theta_1$ es el mayor de $N_1^* \cdot \text{sen } \theta_1$ y $N_2^* \cdot \text{sen } \theta_2$</p> |
| <p>d</p>  | $N_1 \leq N_1^* \quad (\text{nudo en K})$ $N_2 \leq N_2^* \quad (\text{nudo en K})$ <p>comprobar en la sección transversal 1-1 la capacidad plástica a esfuerzo cortante (únicamente nudos con espaciamiento)</p> |

Cálculo "automatizado" de las uniones

Toda esta teoría vista hasta ahora es aplicada con el método de elementos finitos y corridas en el programa de SolidWorks, que es la presentación del siguiente capítulo IV

3.2.5 Algoritmo de cálculo de un chasis tubular

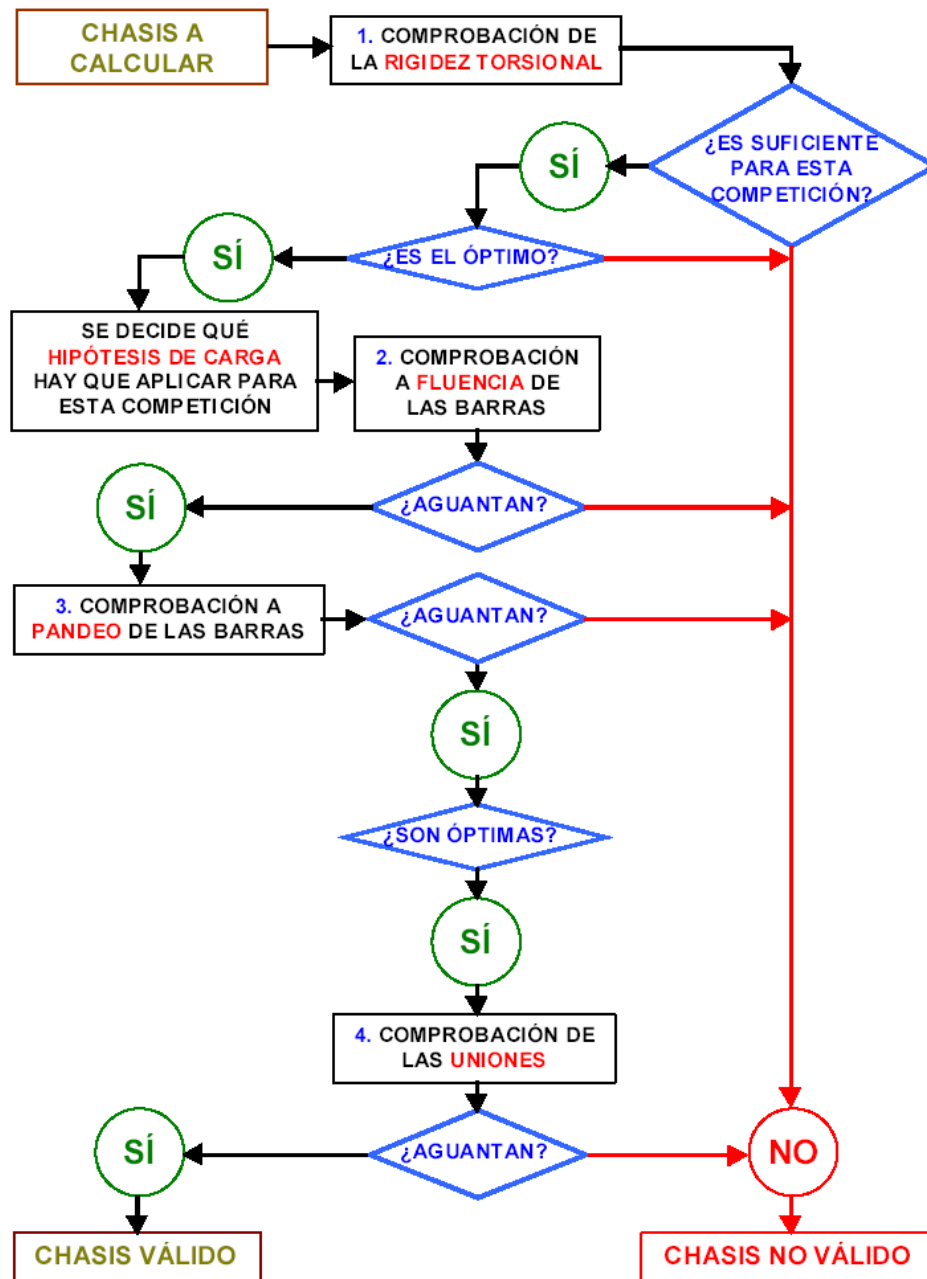


Figura 3.34- el algoritmo de cálculo de un chasis tubular.

CAPITULO 4

4.1 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

En el siguiente capítulo se analizará la respuesta a cargas estáticas sobre la estructura de un vehículo tubular, se considerarán una carga de 140Kg por el peso de los ocupantes (2 personas de 70Kg cada una en promedio), una carga de 20Kg por el peso de la caja de cambios y un torque de 58.8 N.m debido a que el motor se encuentra en voladizo apoyado en la caja de cambios a 0.3m del miembro estructural de apoyo.

Además de las cargas externas se considerarán los efectos de la gravedad sobre la estructura.

4.2 MODELO CONCEPTUAL

Para el caso que se presenta utilizaremos un elemento finito de armadura tridimensional, el cual puede manejarse como una generalización directa de un elemento armadura bidimensional. En el esquema de numeración local, los dos nudos del elemento se numeran con 1 y 2. El sistema local de coordenadas consiste en el eje x' que esta alineado a lo largo del elemento desde el nodo 1 hacia el nodo 2. Todas las cantidades en el sistema coordenado local se denotarán por medio de primas ($'$). El sistema global de

coordenadas x , y y z está fijo y no depende de la orientación del elemento. En el sistema coordenado global cada nudo tiene tres grados de libertad (GDL). Para la numeración se adopta un esquema sistemático, es decir un nudo cuyo número global es j , tiene asociado a él los grados de libertad $3j-2$, $3j-1$ y $3j$. Además, los desplazamientos globales asociados al nudo j son Q_{3j-2} , Q_{3j-1} y Q_{3j} como se muestra en la figura 1 para el nudo 1.

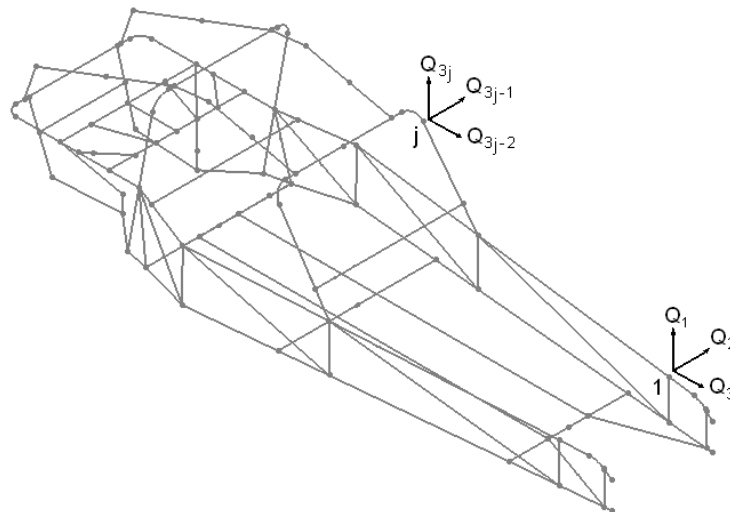


Figura 4.1. GDL para el nudo 1 en la estructura

Los sistemas de coordenadas tanto local y global para un elemento de armadura tridimensional se muestra en la figura 4.2:

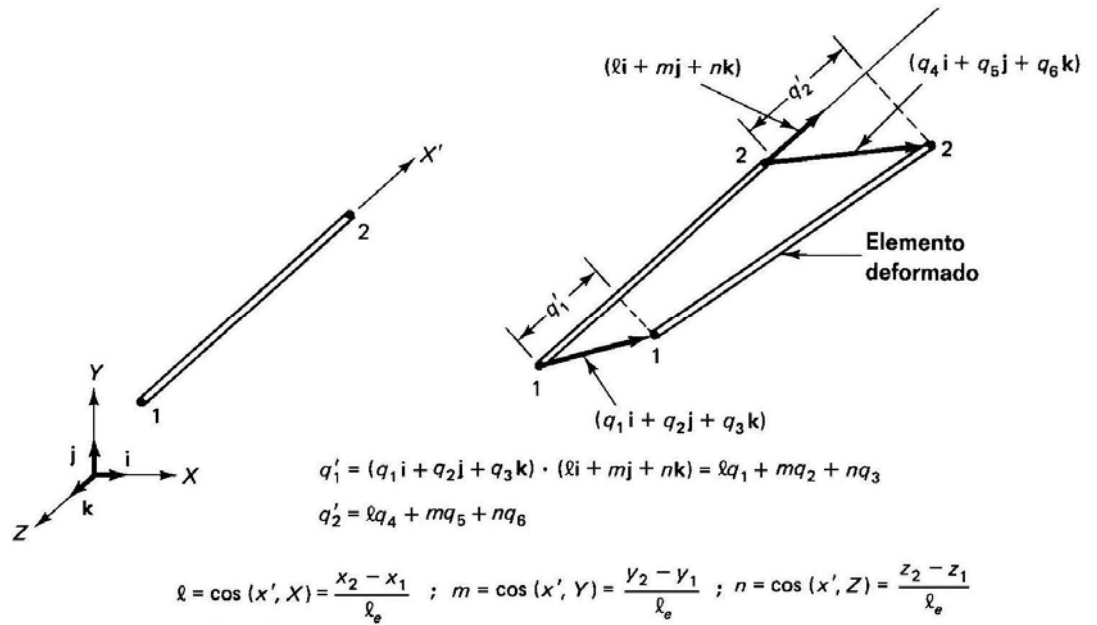


Figura 4.2 Coordenadas locales y globales para un elemento cualquiera de la estructura

Se debe notar que el sistema de coordenadas local es el eje x' - y está alineado a lo largo del elemento, ya que un elemento armadura es simplemente un miembro con dos fuerzas. En consecuencia, el vector de desplazamiento nodal en coordenadas locales es:

$$q' = [q'_1 \quad q'_2]^T \quad (1)$$

El vector de desplazamiento nodal en coordenadas globales es ahora:

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T \quad (2)$$

Con referencia a la figura, encontramos que la transformación entre las coordenadas local y global es:

$$q' = Lq \quad (3)$$

Donde la matriz de transformación L está dada por:

$$L = \begin{bmatrix} l & m & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & m & n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Donde l , m y n son los cosenos directores del eje x' local con respecto a los ejes x , y y z globales, respectivamente.

Las fórmulas para calcular l , m y n son:

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{l_e} \quad n = \frac{z_2 - z_1}{l_e} \quad (5)$$

Donde la longitud l_e del elemento está dado por

$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (6)$$

La matriz de rigidez en el sistema coordenado global se obtiene considerando la energía de deformación unitaria en el elemento. Específicamente, la energía de deformación unitaria del elemento en coordenadas locales está dada por:

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (7)$$

Sustituyendo $q' = Lq$ **en la expresión anterior, obtenemos:**

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T [L^T k' L] q \quad (8)$$

La energía de deformación unitaria en coordenadas globales puede escribirse como:

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k q \quad (9)$$

Donde k es la matriz de rigidez en coordenadas globales. De lo anterior la matriz de rigidez del elemento queda dada por la ecuación:

$$k = L^T k' L \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en (10) resulta:

$$k = \frac{E_c A_c}{l_c} \begin{bmatrix} l^2 & lm & ln & -l^2 & -lm & -ln \\ lm & m^2 & mn & -lm & -m^2 & -mn \\ ln & mn & n^2 & -ln & -mn & -n^2 \\ -l^2 & -lm & -ln & l^2 & lm & ln \\ -lm & -m^2 & -mn & lm & m^2 & mn \\ -ln & -mn & -n^2 & ln & mn & n^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Por otra parte, ciertos materiales naturales, como los cristales de topacio y barita, son ortotrópicos. La madera también puede considerarse como ortotrópica en una primera aproximación. Los compuestos unidireccionales reforzados con fibra también exhiben comportamiento ortotrópico. Para nuestro caso el material es considerado en todo momento como isotrópico, es decir sus propiedades mecánicas son las mismas en cualquier dirección lo cual se rige por la siguiente condición matemática:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{bmatrix} = \frac{E}{1+\nu} \begin{bmatrix} 1+\alpha & \alpha & \alpha \\ \alpha & 1+\alpha & \alpha \\ \alpha & \alpha & 1+\alpha \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yz} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde $\alpha = \frac{\nu}{1-2\nu}$

4.3 PRE-PROCESAMIENTO

En primer lugar se debe definir la geometría del modelo a analizar, luego se definirá el estudio de trabajo, seguido por la definición del material y sus propiedades, se definirán las restricciones y cargas y finalmente se realizará el mallado del modelo. A este paso se le conoce como el pre-procesamiento y se realizará en el SolidWorks.

4.3.1 Geometría del modelo

Se deberá realizar la definición de la geometría como un croquis en 3D, donde cada línea será un eje central de cada miembro estructural a utilizar.

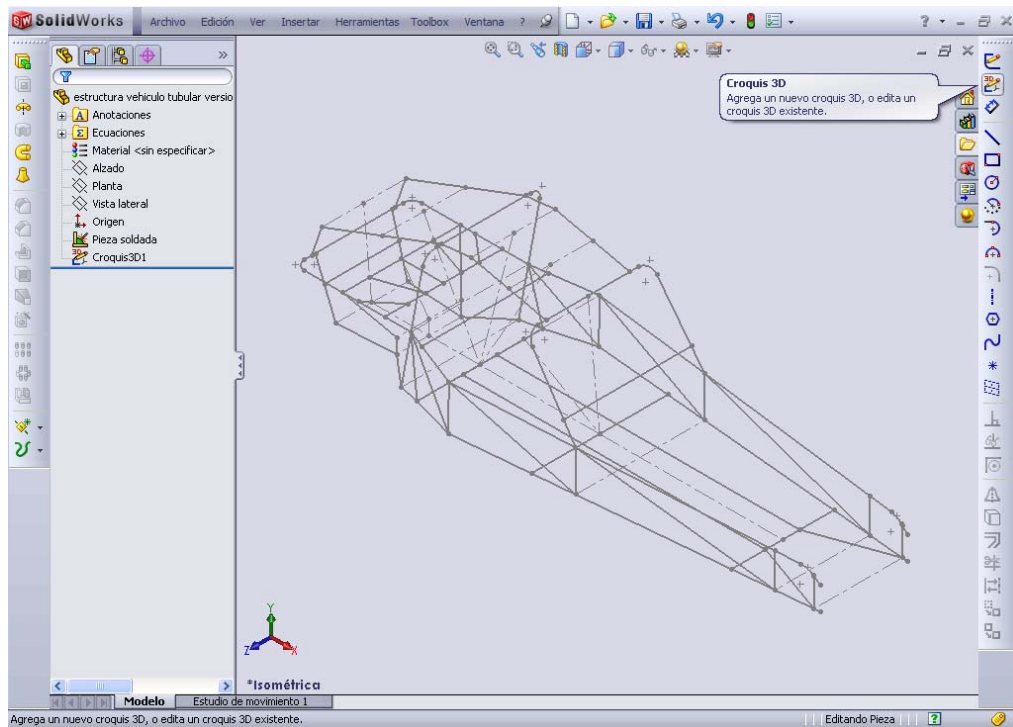


Figura 4.3- Dibujado del croquis en 3D.

Luego utilizando la herramienta *Miembro Estructural* se procederá a crear cada una de las tuberías de acuerdo al diámetro preseleccionado.

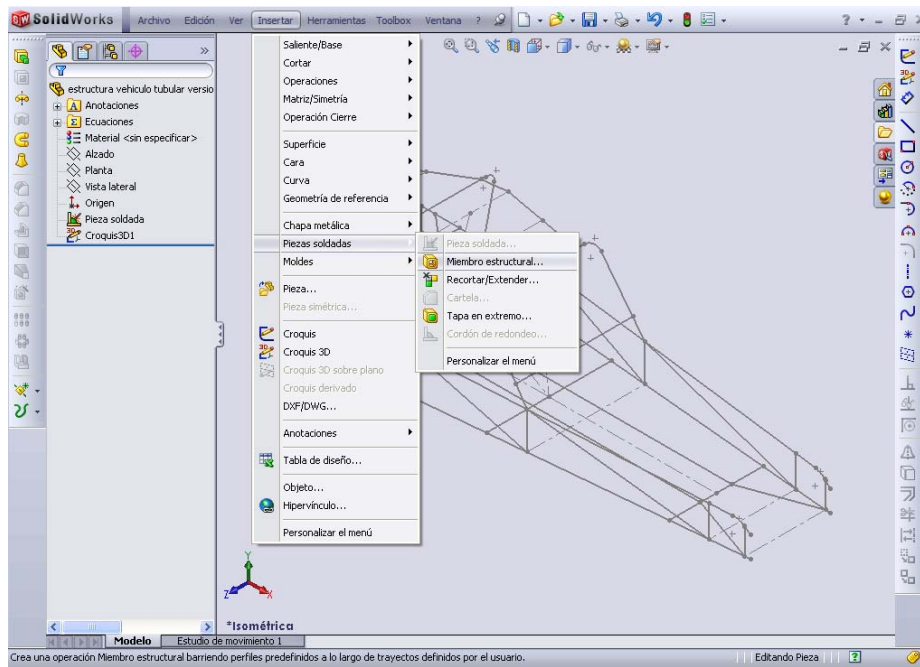


Figura 4.4- Inserción de los miembros estructurales.

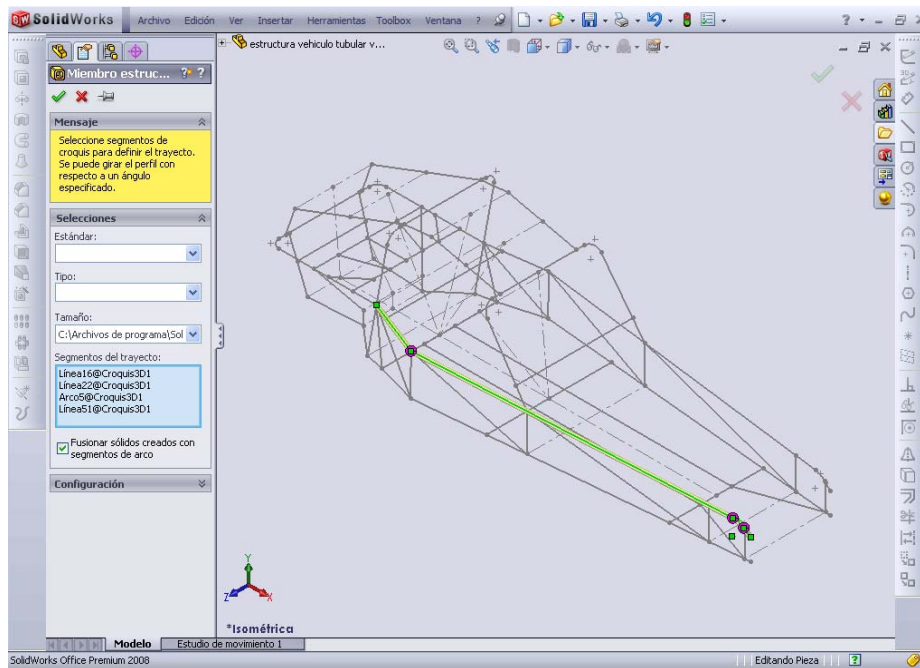


Figura 4.5- Inserción del primer miembro estructural del modelo.

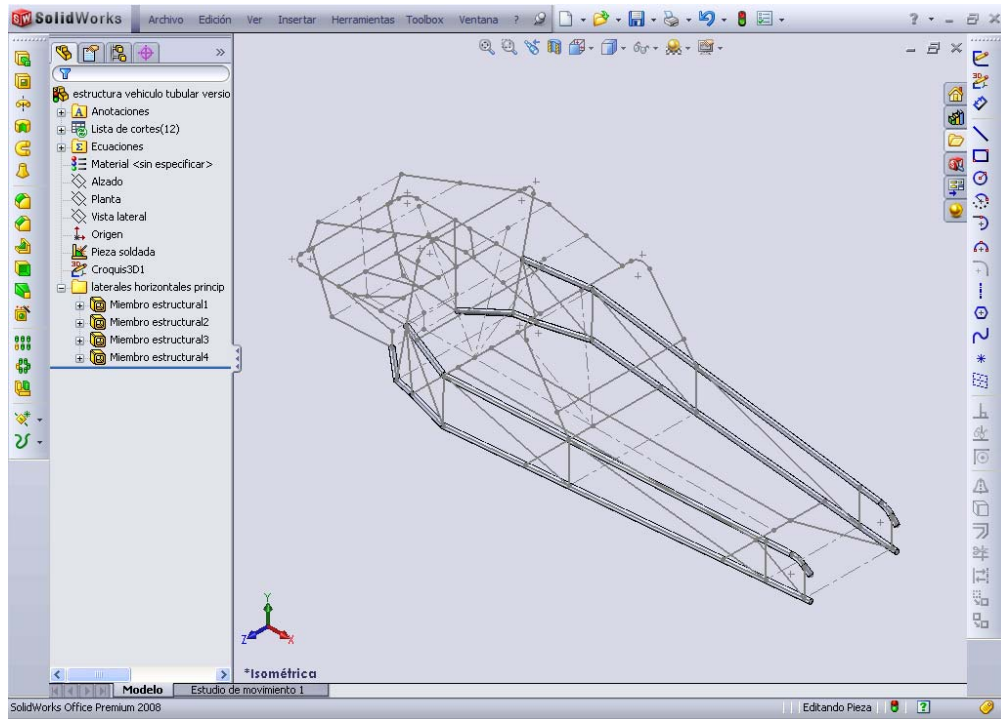


Figura 4.6 - Primer paso para la definición de la estructura.

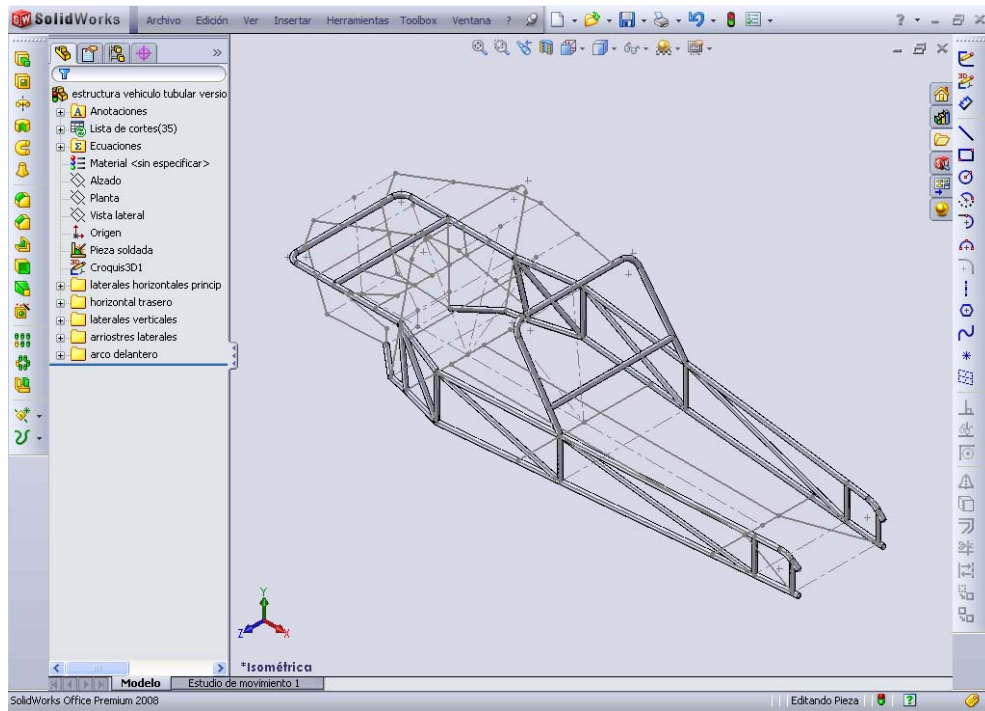


Figura 4.7. Segundo paso de la definición de la estructura.

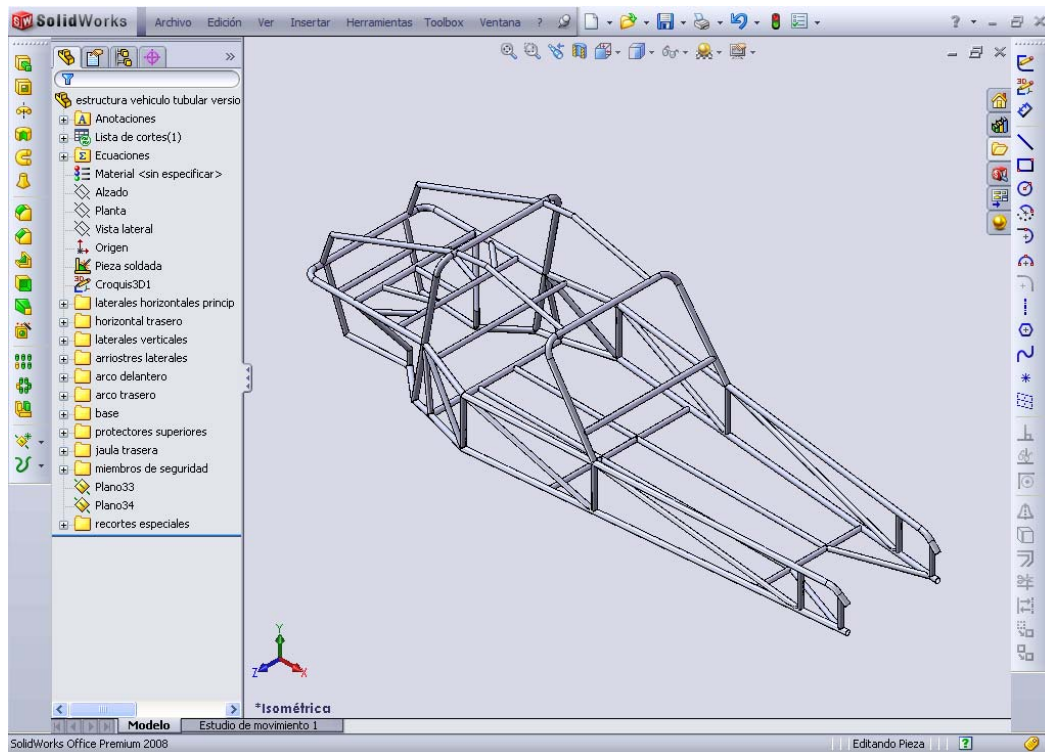


Figura 4.8. Modelo completamente definido.

4.3.2 Definición del estudio de trabajo

Una vez terminado el modelado de la geometría, se deberá activar CosmosWorks en la lista de complementos de SolidWorks.

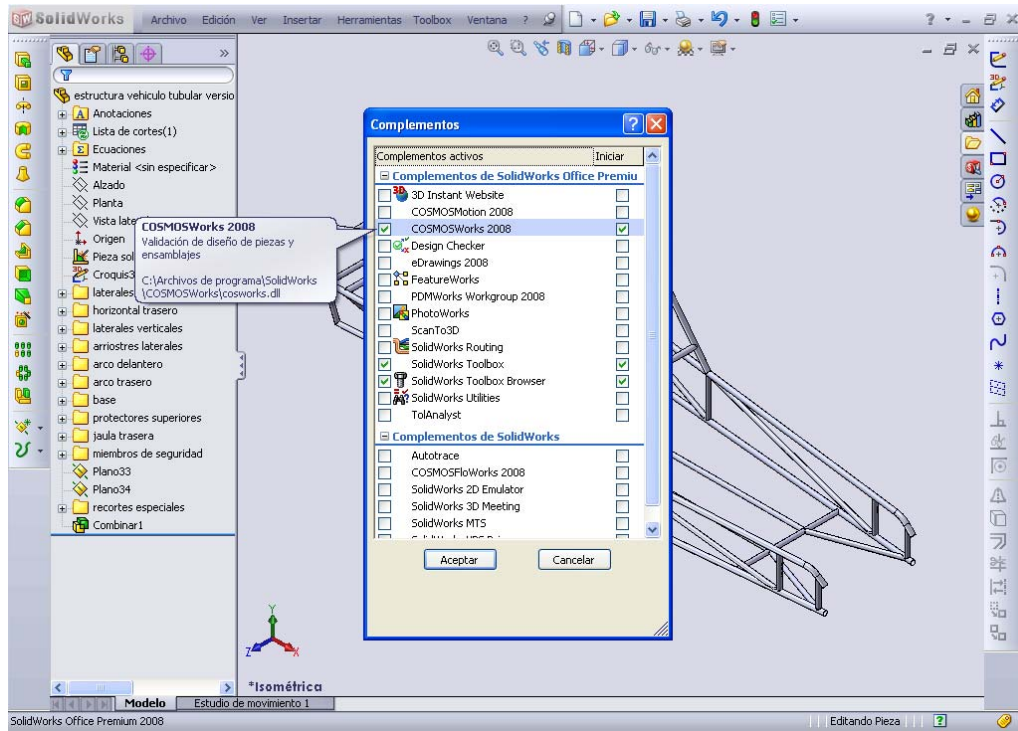


Figura 4.9- Activación del COSMOSWorks.

Una vez activado el Cosmos Works se debe definir el estudio de trabajo, en el cual además se definirá el tipo de elemento finito a utilizar.

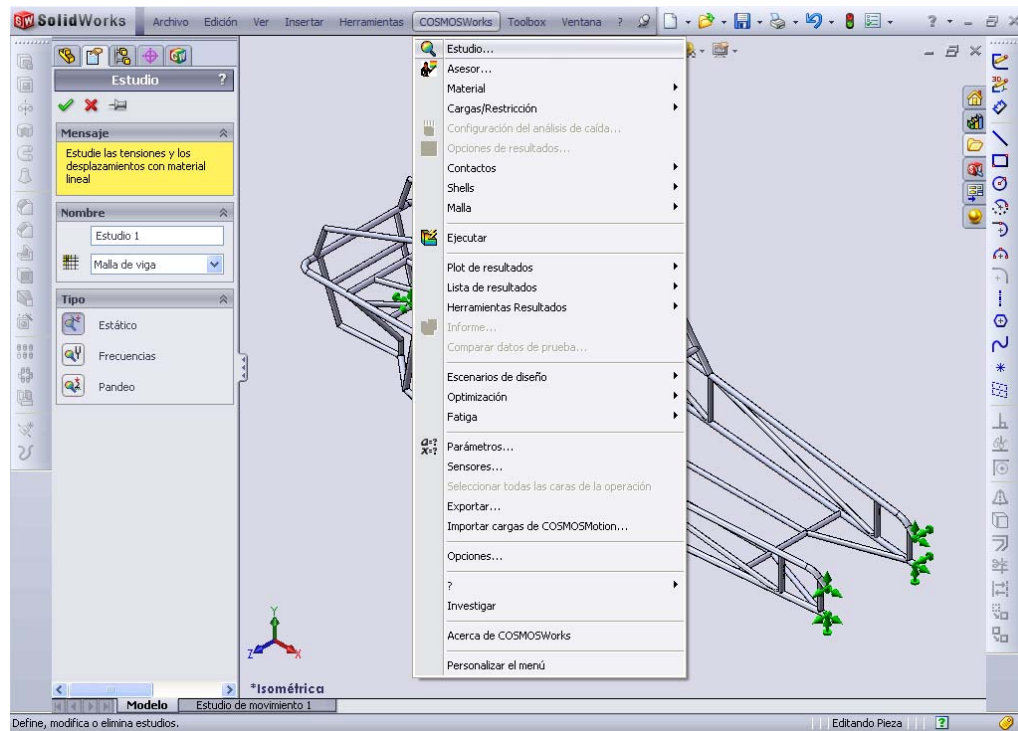


Figura 4.10. Definición del tipo de estudio de trabajo.

4.3.3 Definición del material

Luego de esto se definirá el material del modelo.

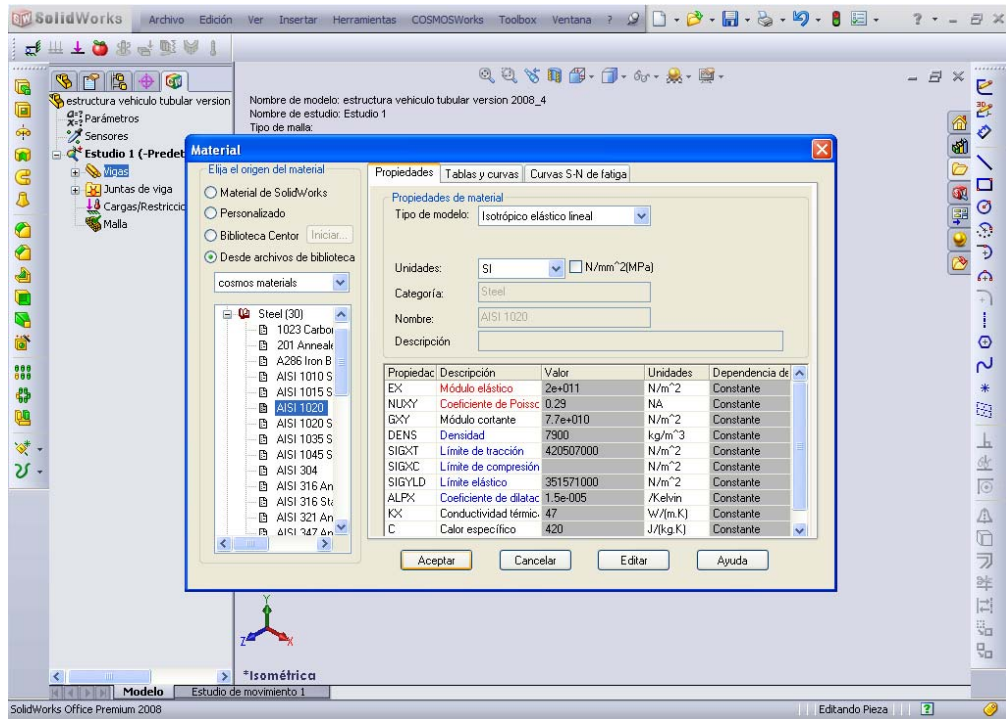


Figura 4.11 Definición del material a considerar en el cálculo.

4.3.4 Definición de las propiedades del modelo

En este paso se definirán los miembros a considerar y el tipo de juntas entre ellos.

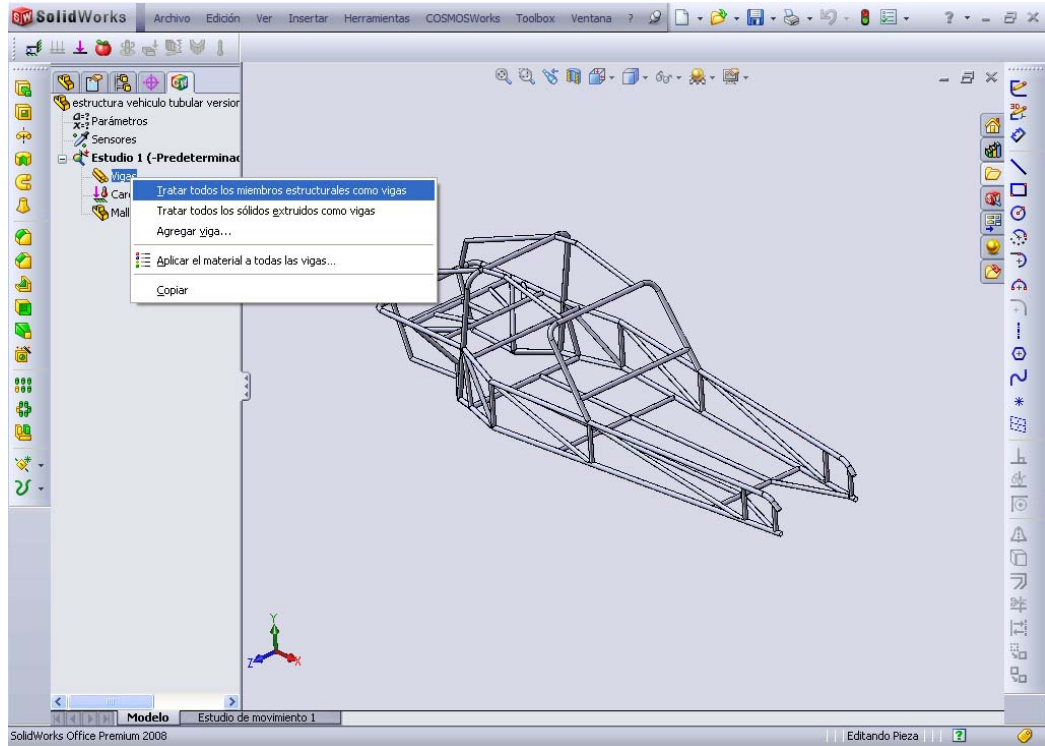


Figura 4.12- Selección de elementos a considerar como viga.

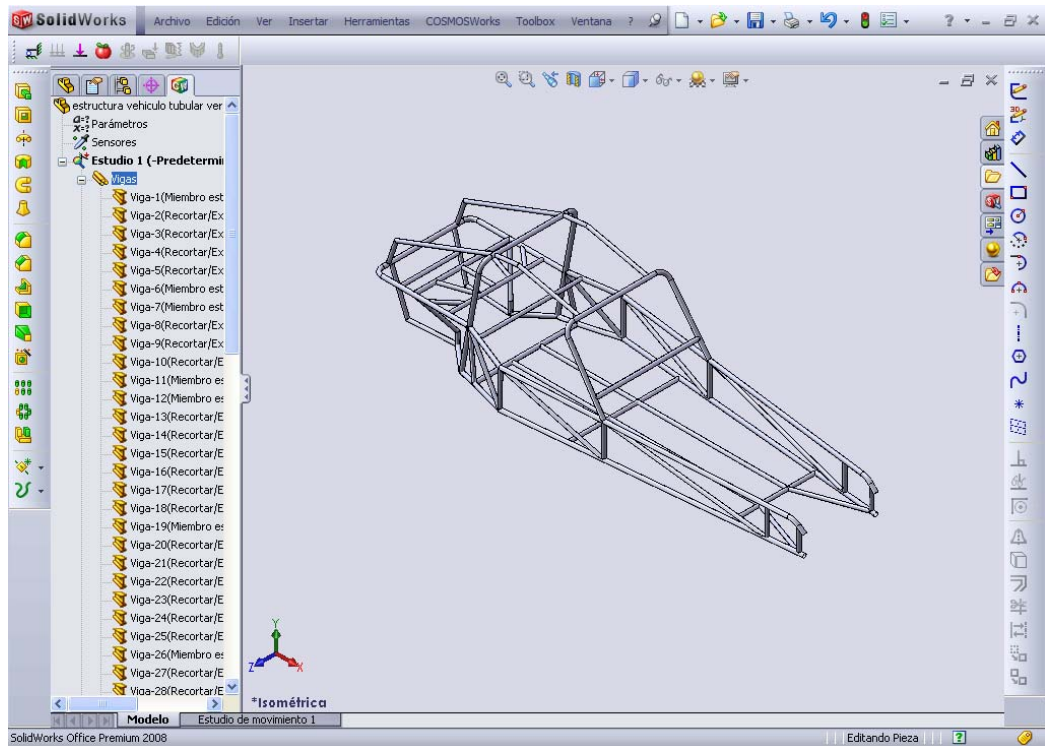


Figura 4.13- Lista de elementos de viga creados.

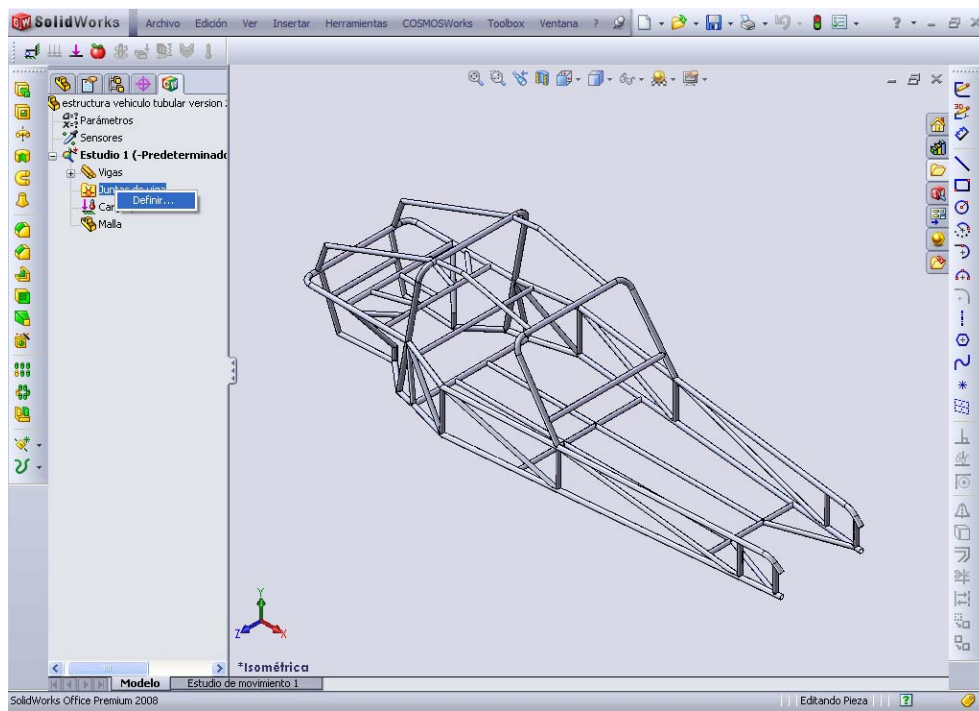


Figura 4.14. Definición de juntas entre elementos.

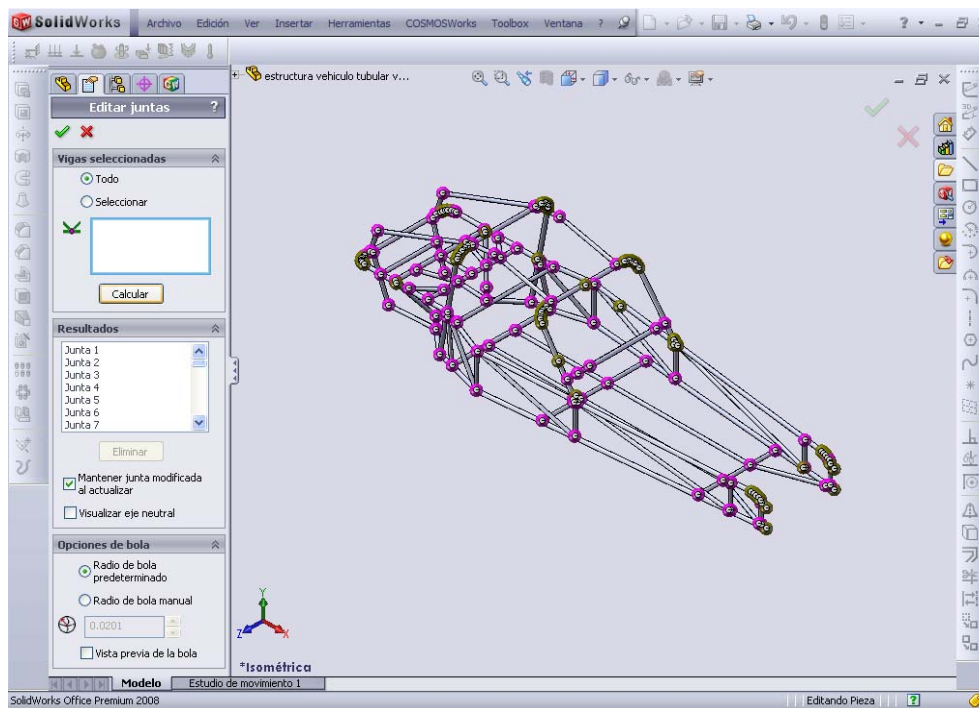


Figura 4.15. Juntas creadas, entre elementos, luego de su cálculo.

Además de definirán las restricciones del modelo.

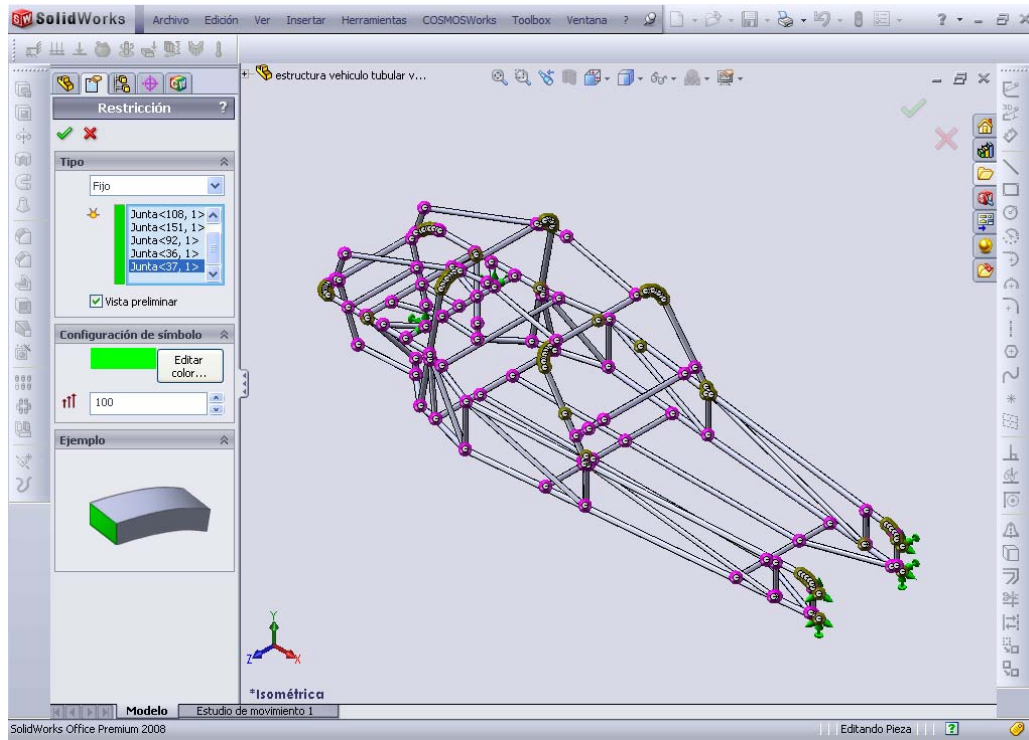


Figura 1.16. Definición de restricciones a los nodos de apoyo. También las cargas que la afectan.

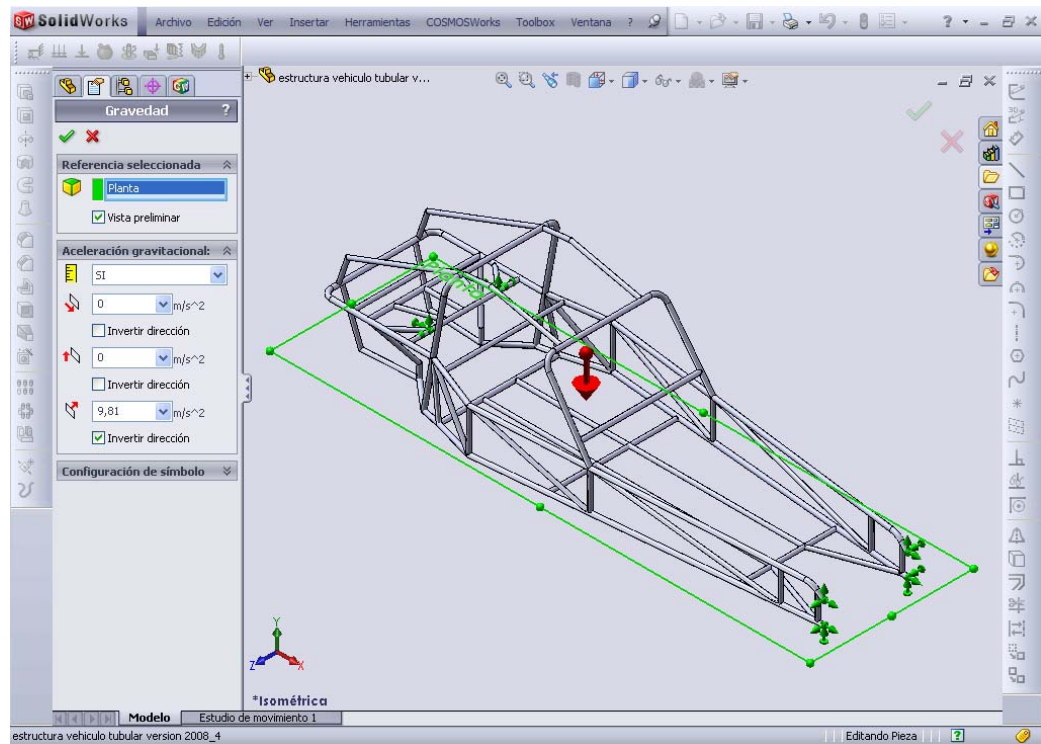


Figura 4.17- Definición de cargas, como por ejemplo los efectos de la gravedad.

4.3.5 Mallado del modelo

En este paso se procederá a realizar el mallado teniendo en cuenta las restricciones previamente establecidas, y además considerando que los elementos serán de tipo viga.

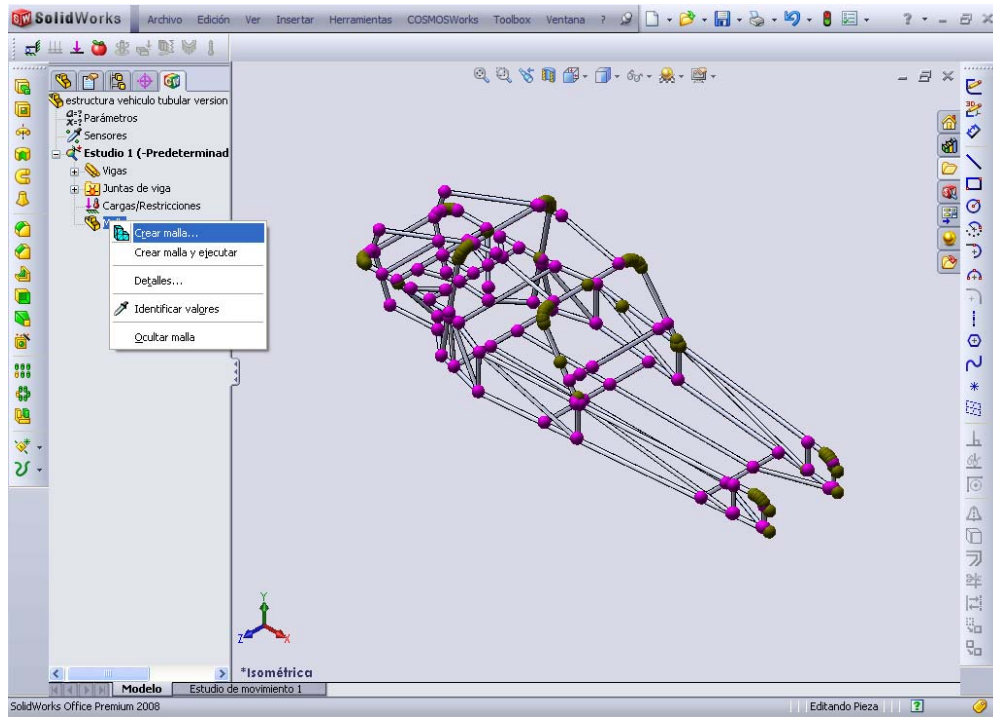


Figura 4.18- Opción para la creación de la malla del modelo.

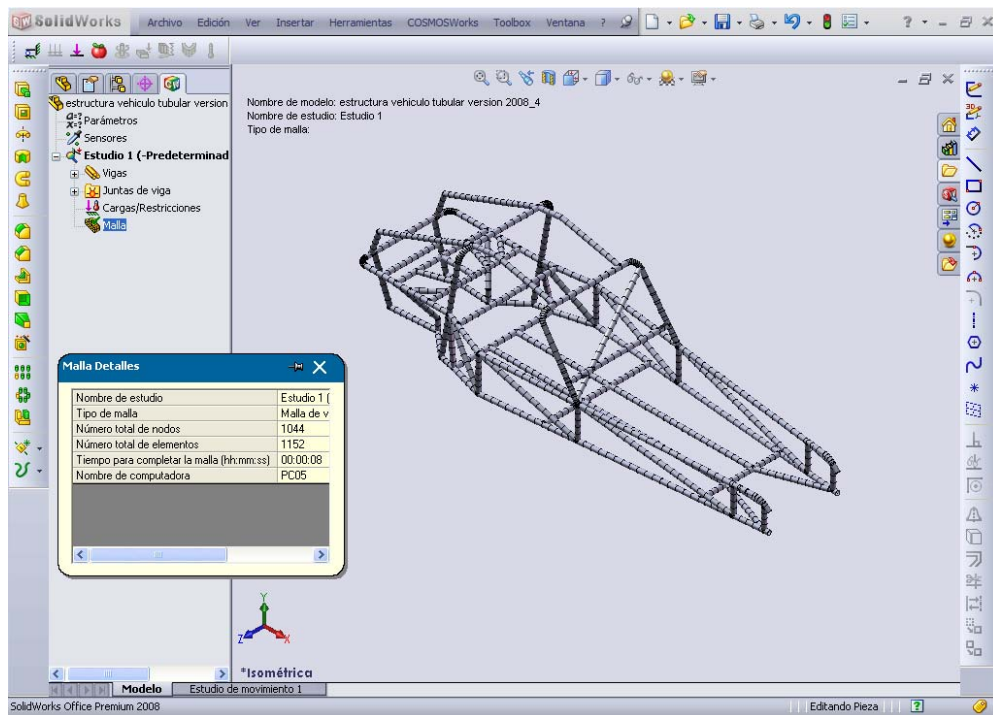


Figura 4.19. Resultados del mallado del modelo.

4.4 EJECUCION DE ANÁLISIS DEL MODELO (CORRIMIENTO)

Una vez definidas las cargas y realizado el mallado, se procederá a realizar el corrimiento del estudio preestablecido.

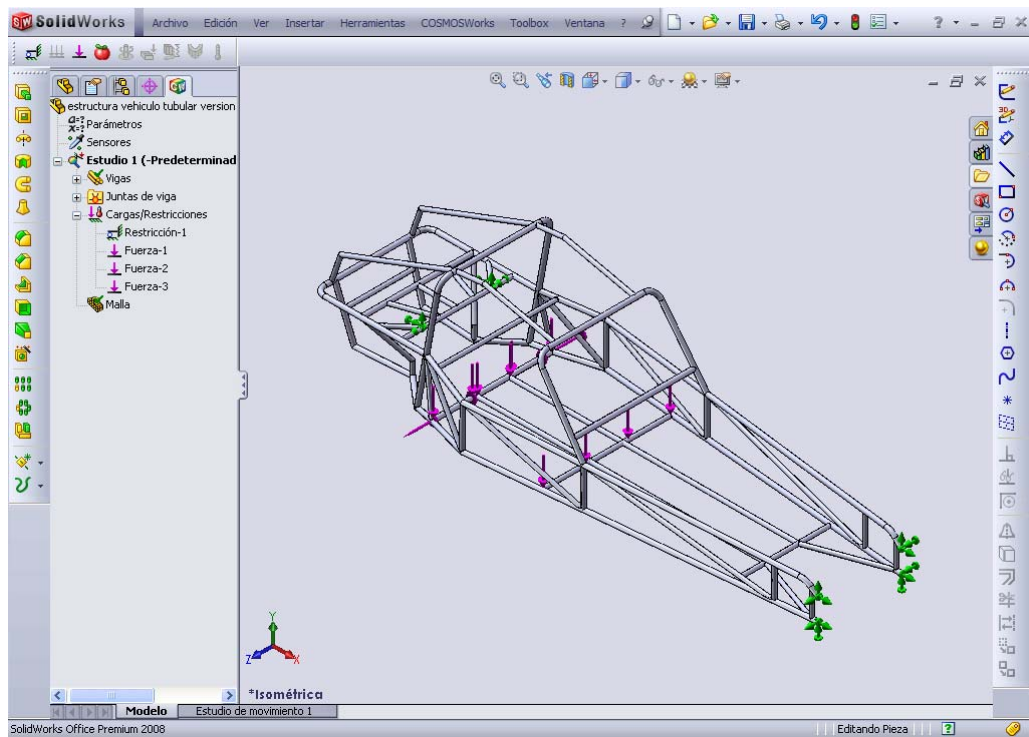


Figura 4.20. Estudio completamente definido.

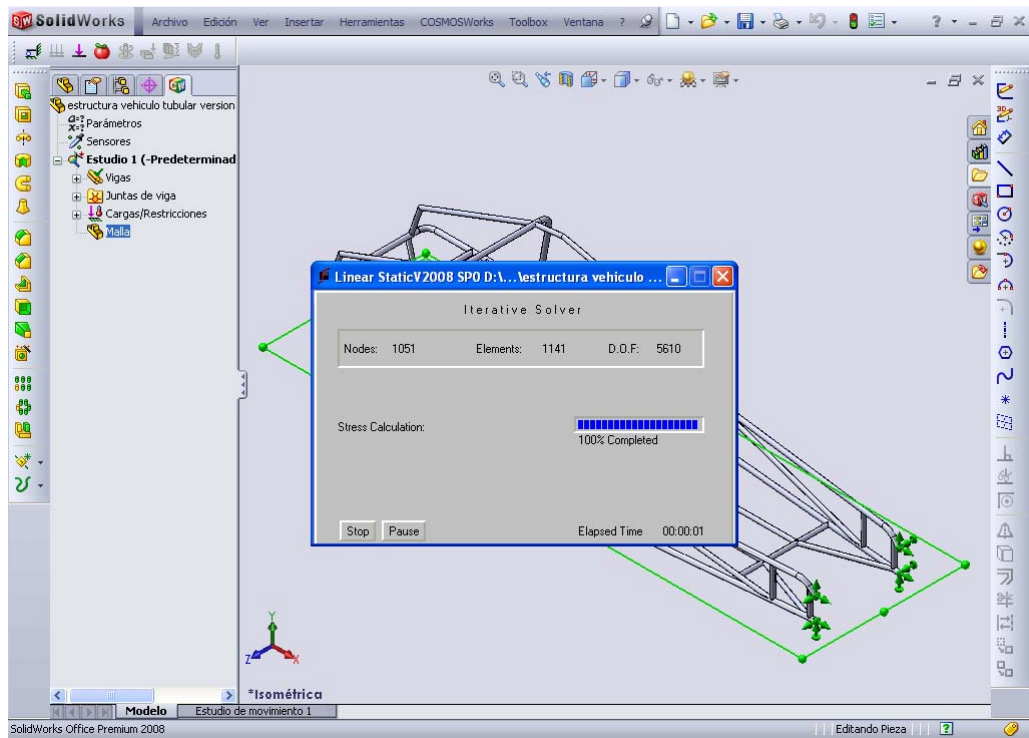


Figura 4.21. Cálculo del modelo finalizado.

Para nuestro caso se plantearán tres hipótesis.

4.4.1 Hipótesis 1:

Este será un estudio estático de cargas, en donde se contemplarán las cargas de los ocupantes y las cargas de los principales componentes como el motor y la caja de cambios.

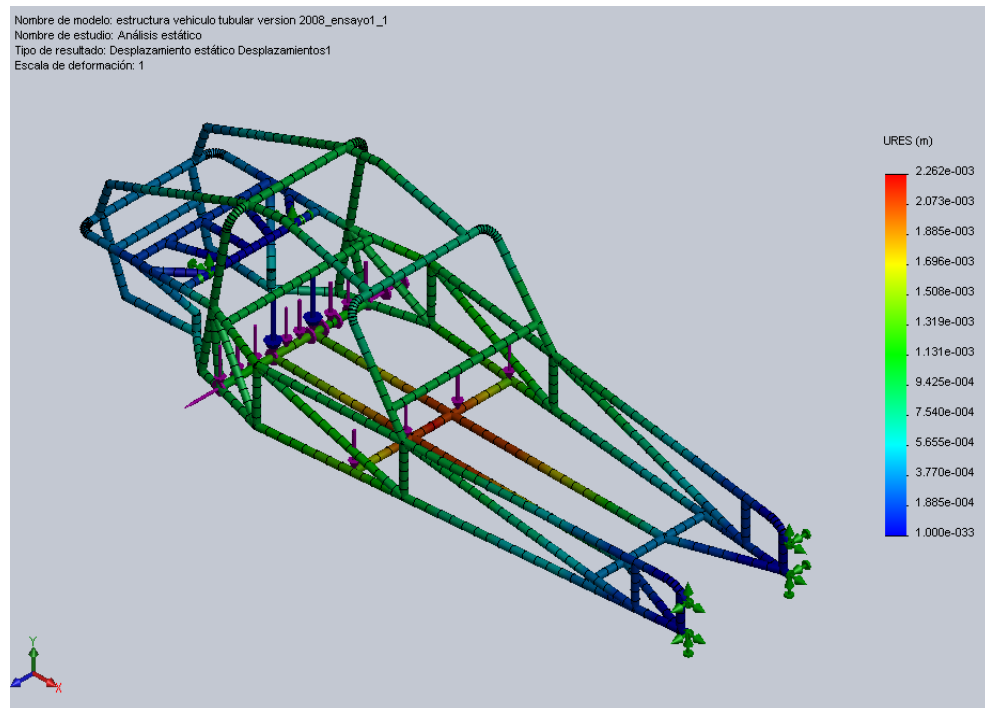


Figura 4.23. Resultado gráfico de las deformaciones absolutas.

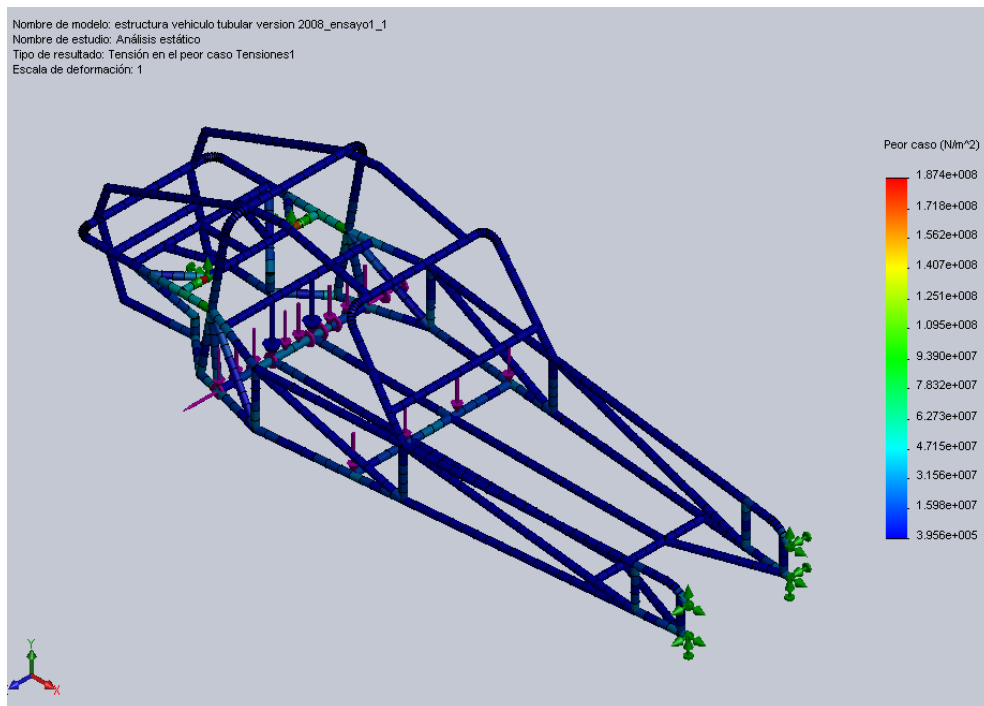


Figura4.24. Resultado gráfico de los esfuerzos.

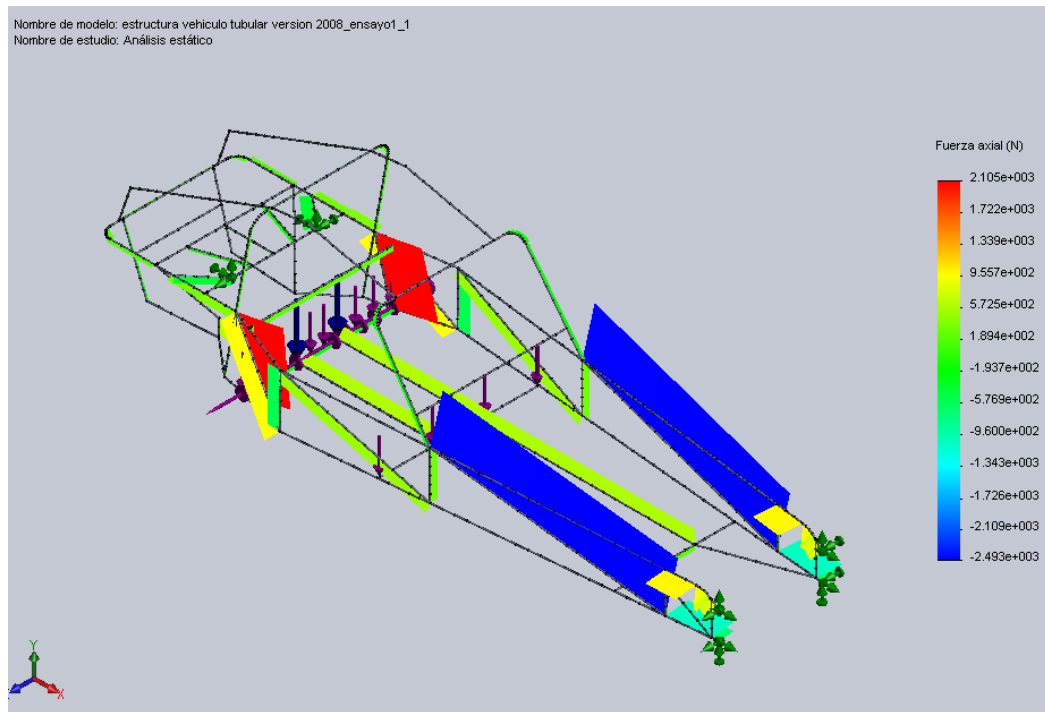


Figura 4.25- Diagrama de fuerzas axiales.

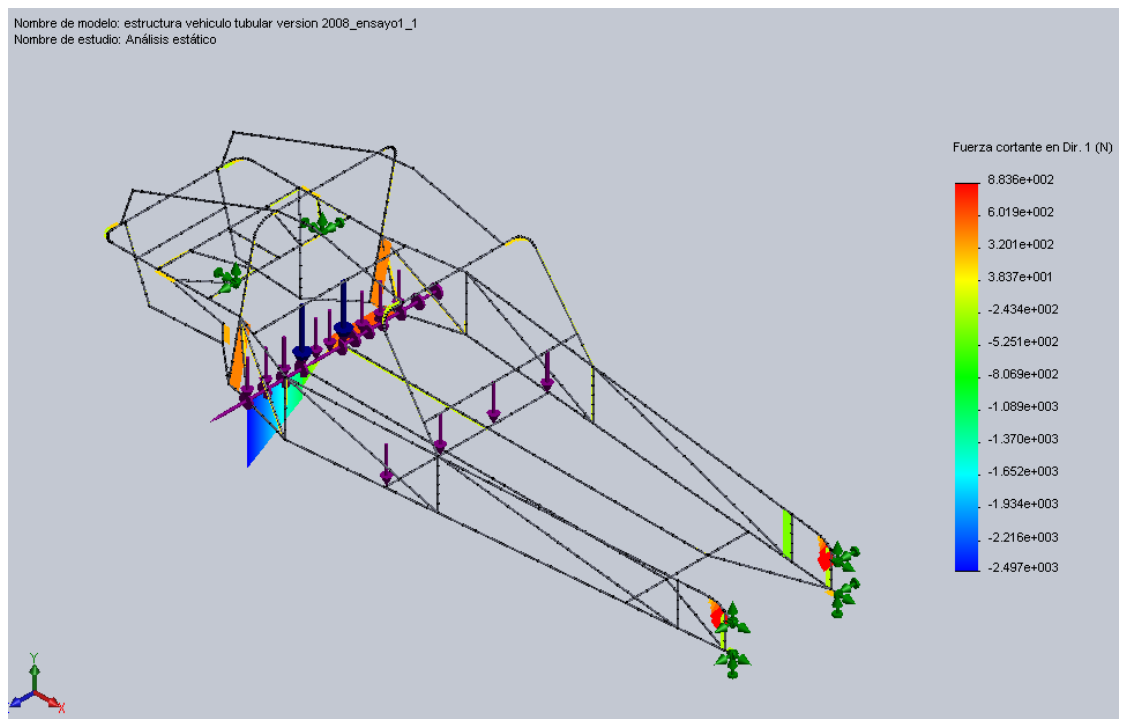


Figura 4.26-Diagrama de fuerza cortante primera dirección.

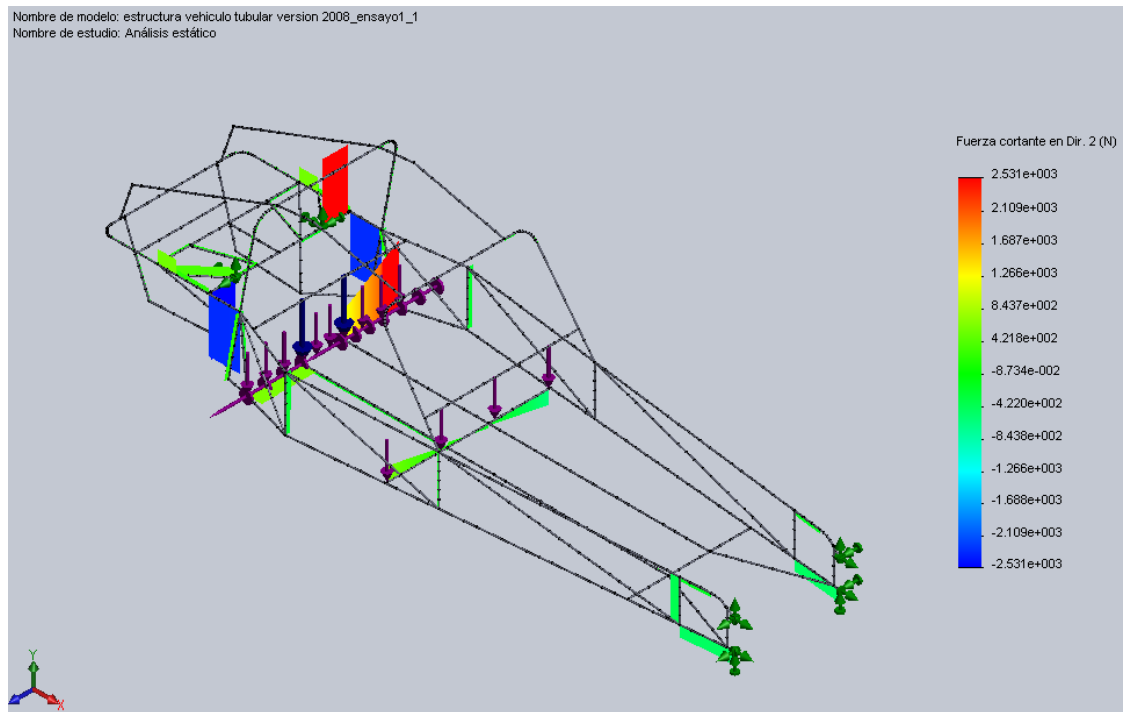


Figura 4.27- Diagrama de fuerza cortante segunda dirección.

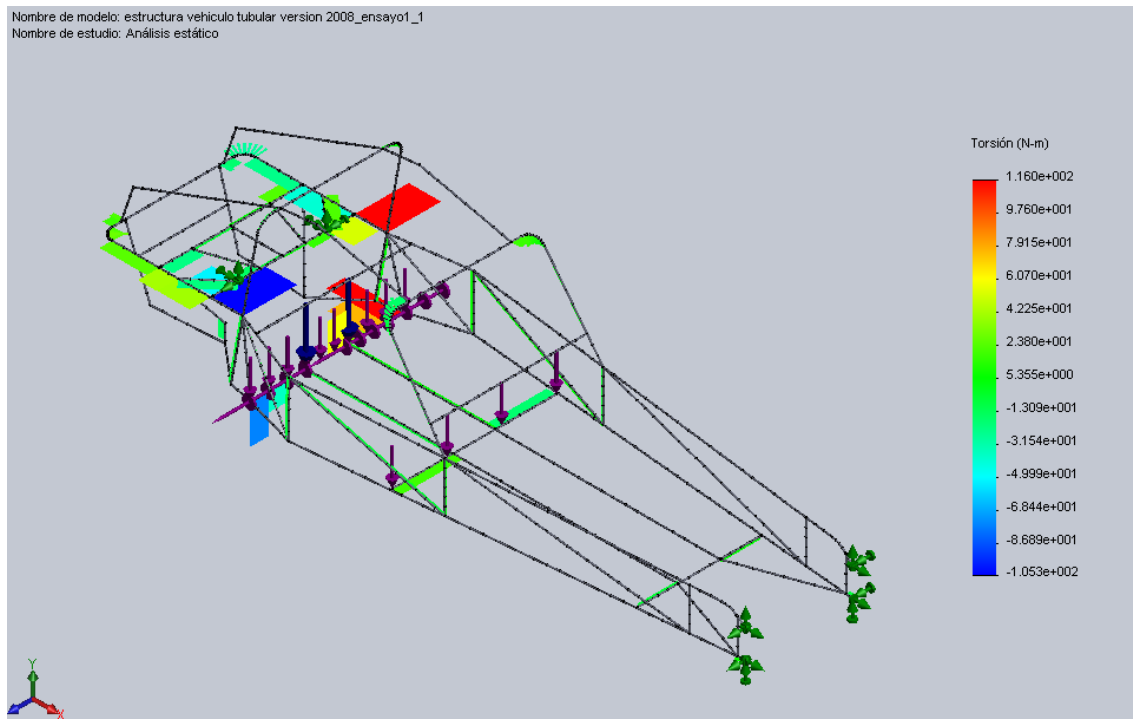


Figura 4.28- Diagrama de torsión.

4.4.2 Hipótesis 2:

Será un estudio que simulará una frenada brusca al momento de frenar, considerando una aceleración equivalente a dos veces el valor de la gravedad.

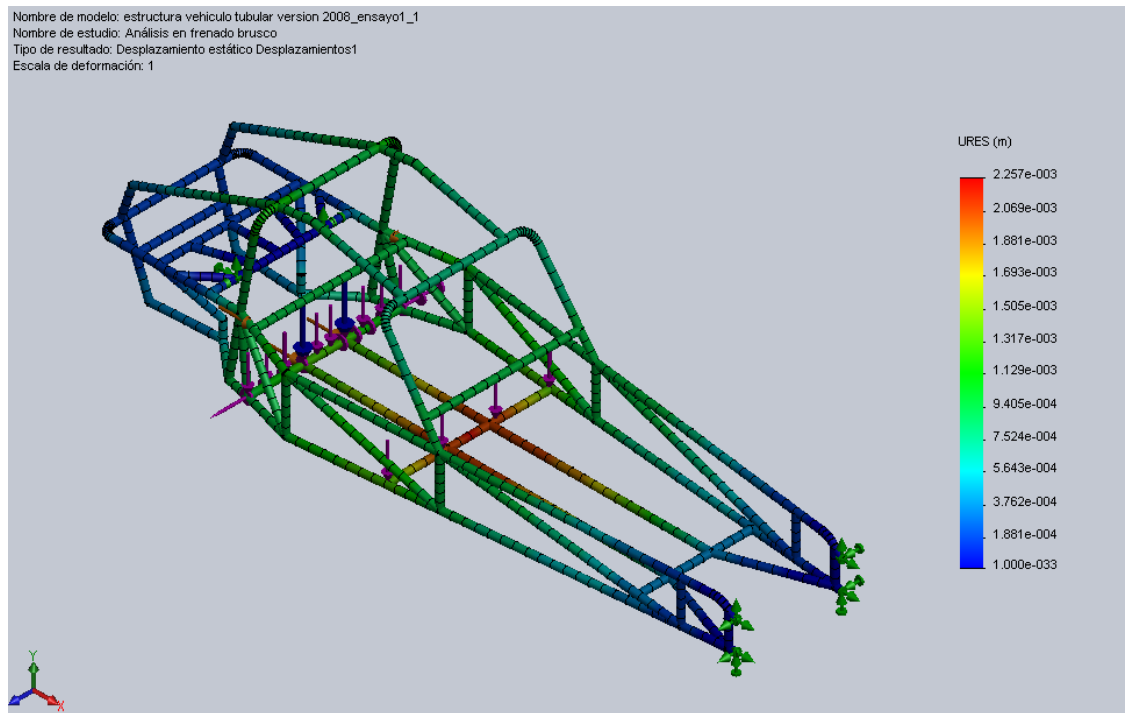


Figura 4.29- Resultado gráfico de las deformaciones absolutas.

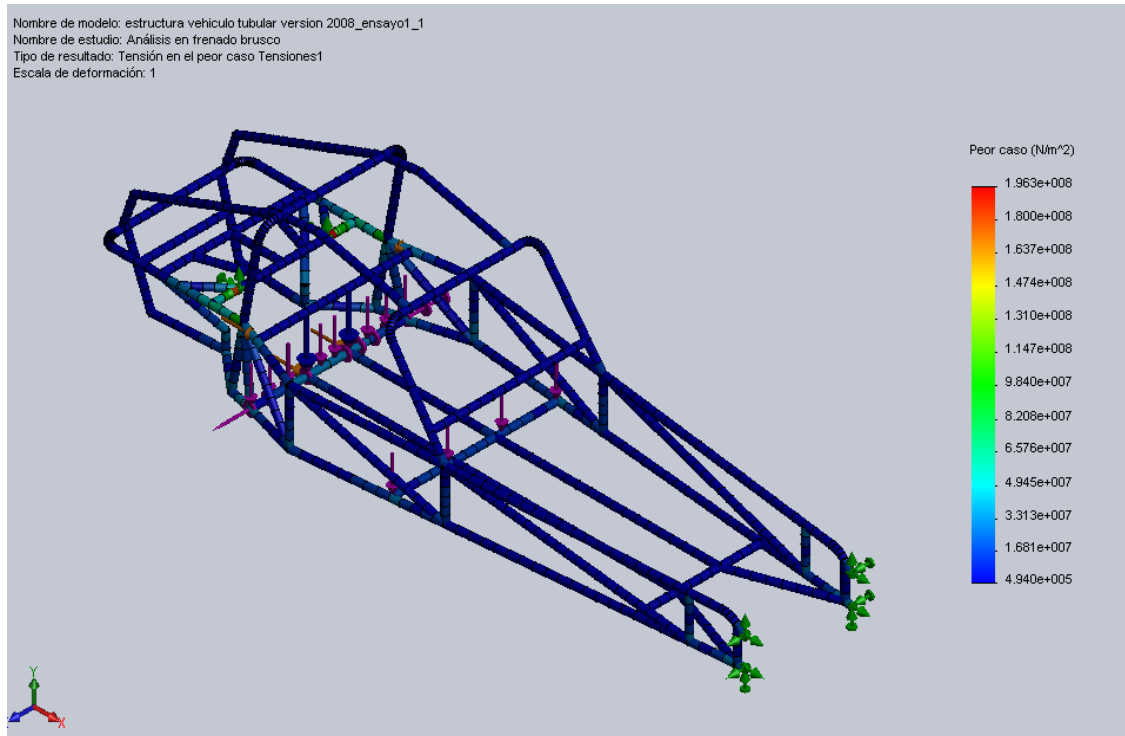


Figura 4.30- Resultado gráfico de los esfuerzos.

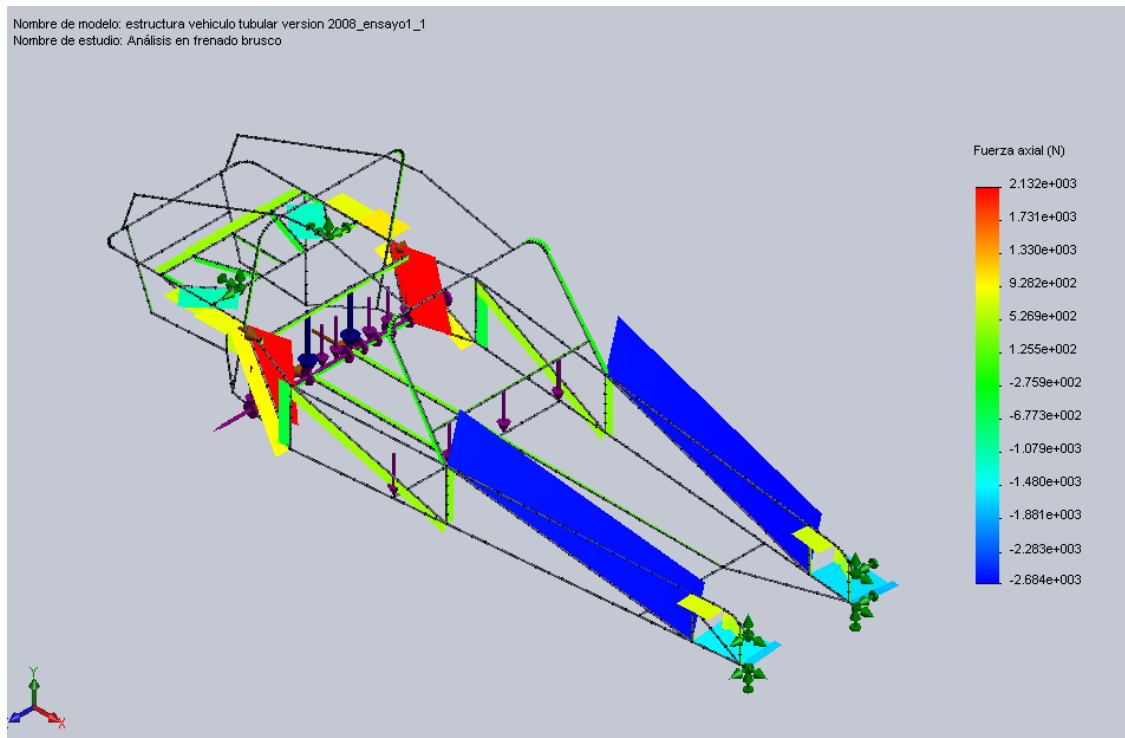


Figura 4.31 Diagrama de fuerzas axiales.

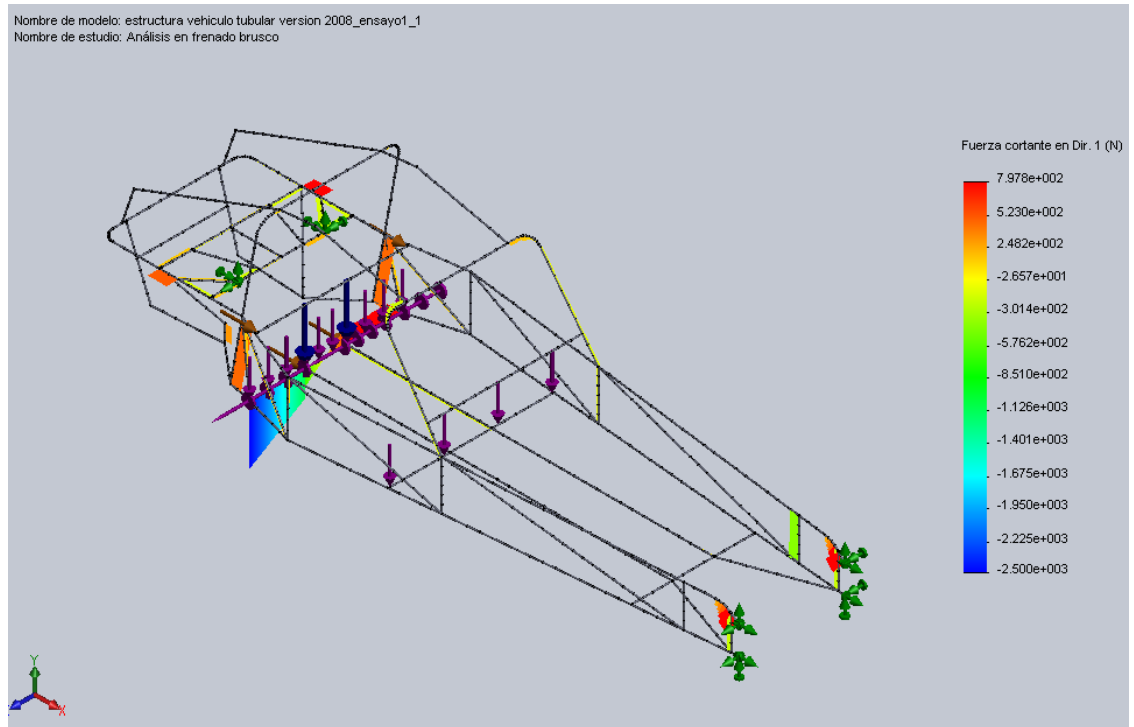


Figura 4.32- Diagrama de fuerza cortante primera dirección.

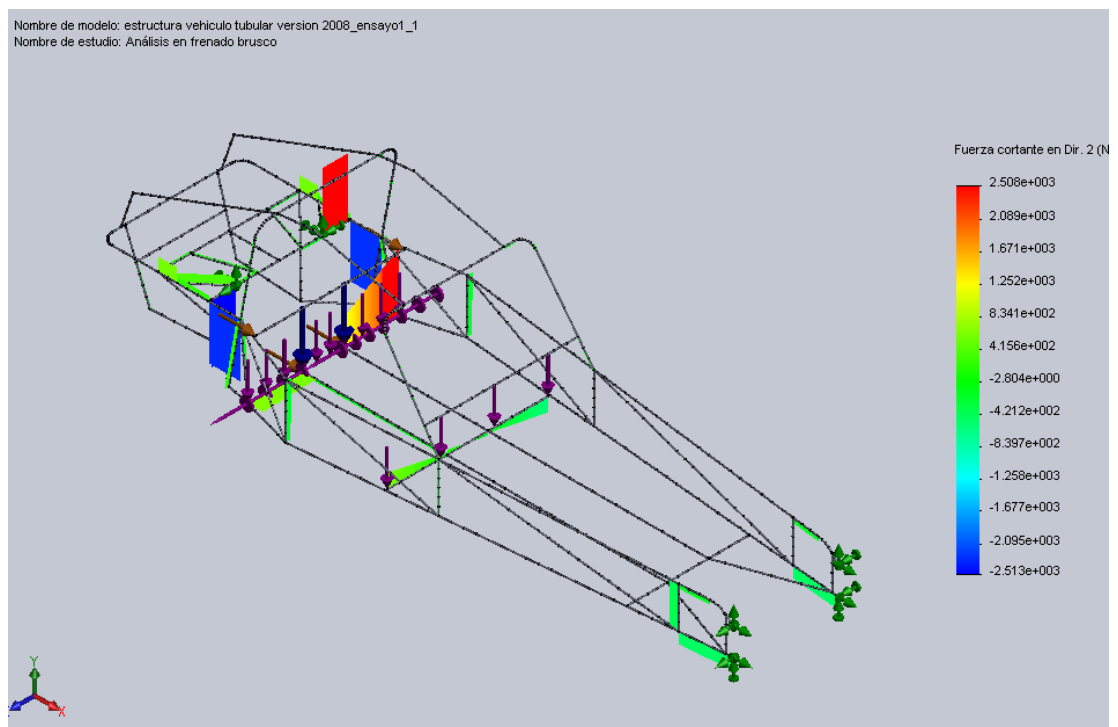


Figura 4.33- Diagrama de fuerza cortante segunda dirección.

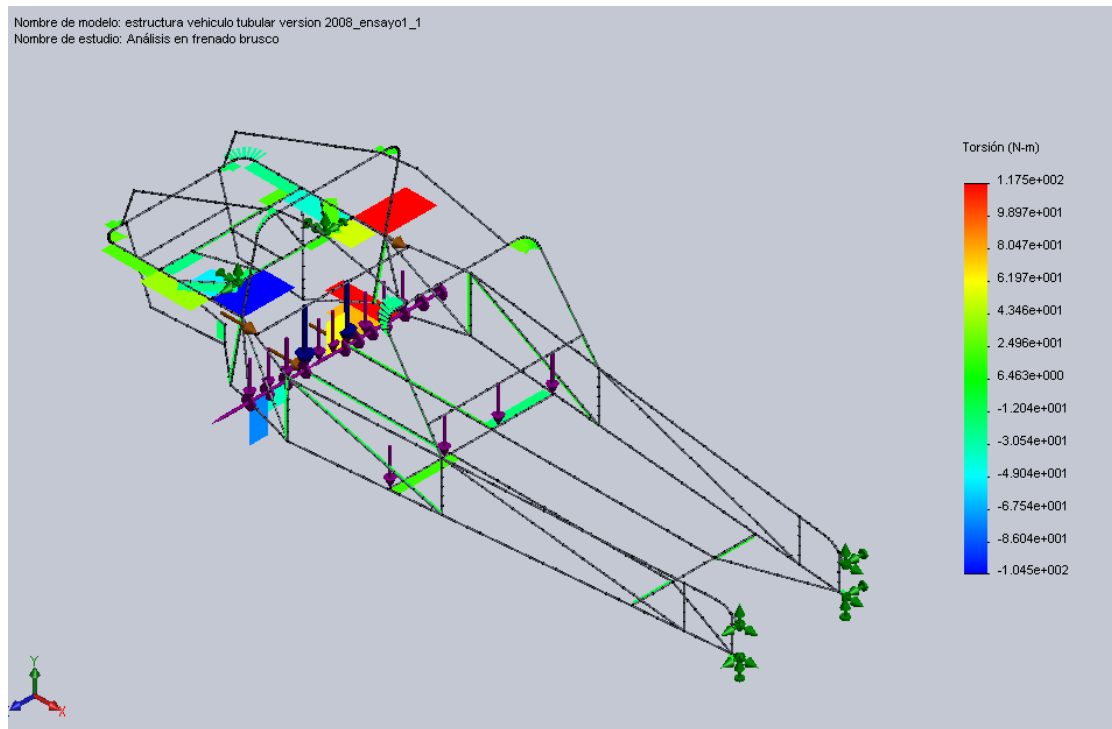


Figura 4.34. Diagrama de torsión.

4.4.3 Hipótesis 3:

El tercero será un estudio de máxima aceleración en el cual se considerará una aceleración brusca de tres veces el valor de la gravedad.

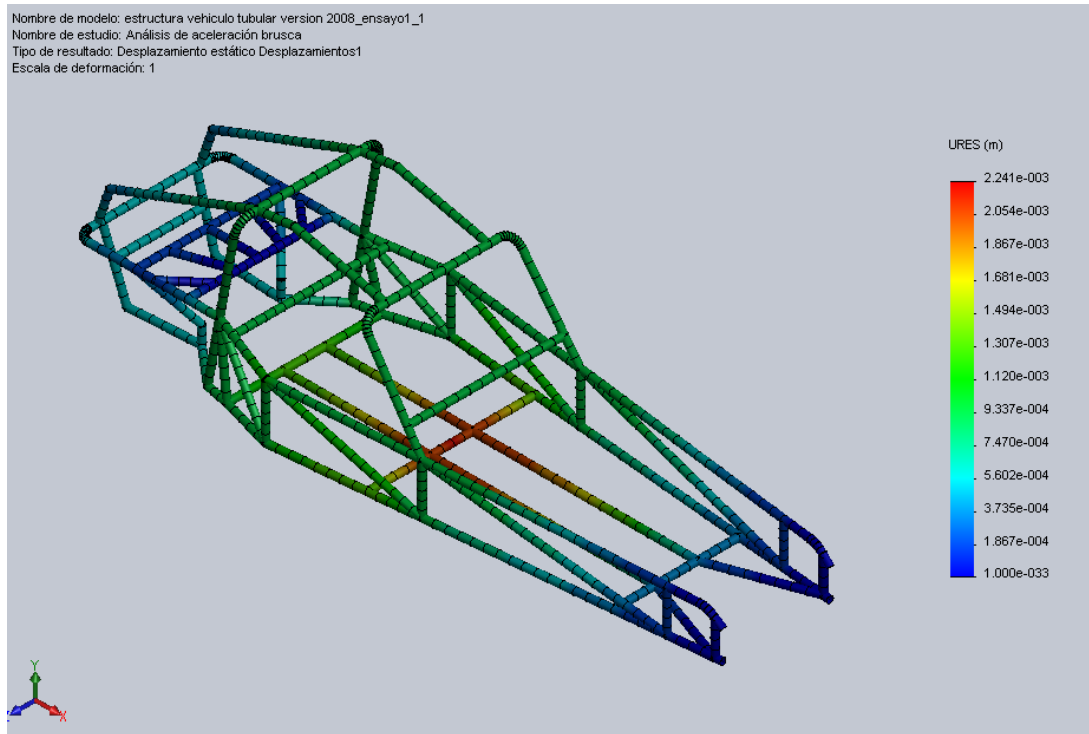


Figura 4.35. Resultado gráfico de las deformaciones absolutas.

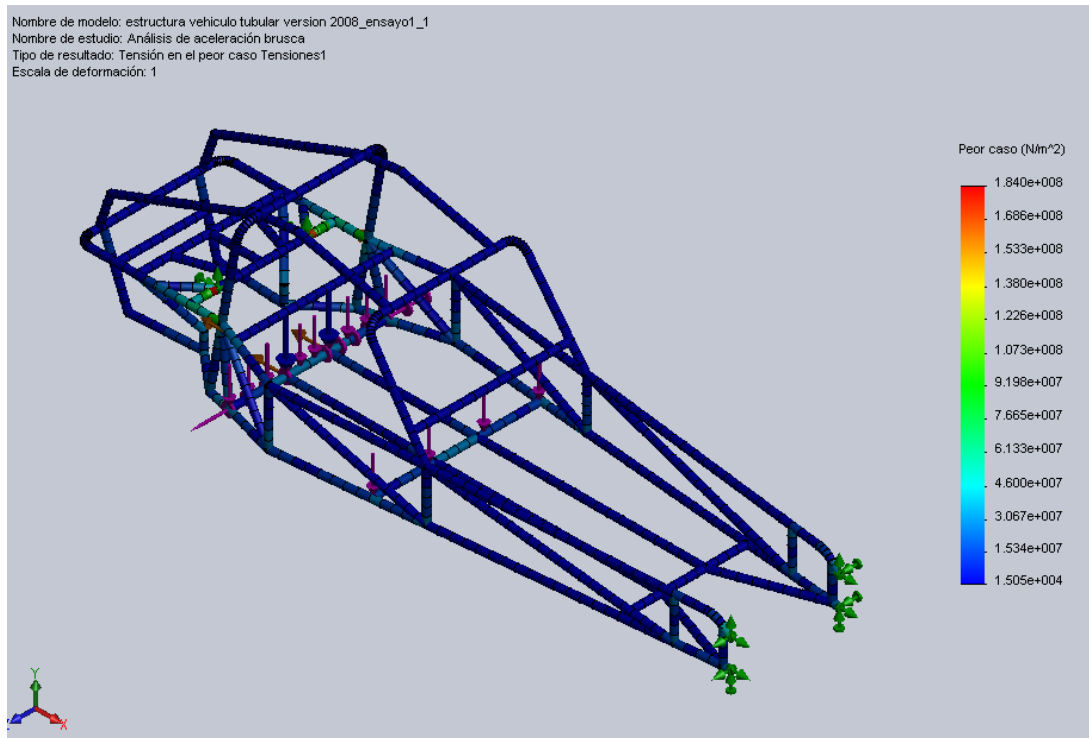


Figura 4.36. Resultado gráfico de los esfuerzos.

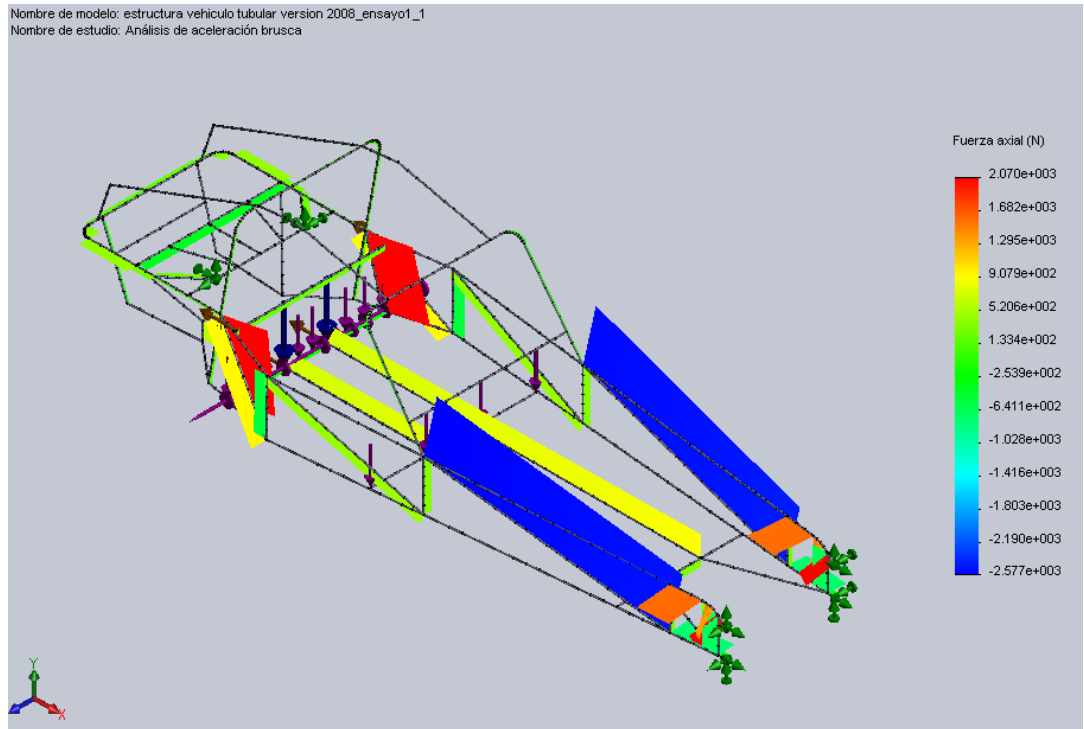


Figura 4.37 -Diagrama de fuerzas axiales.

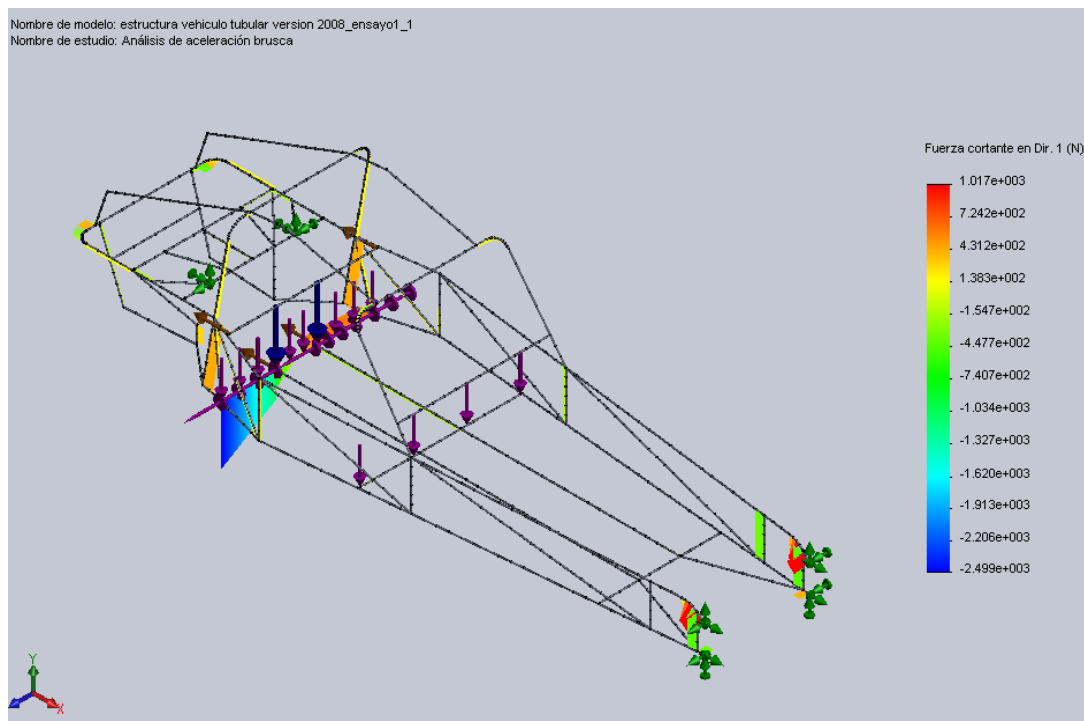


Figura 4.38- Diagrama de fuerza cortante primera dirección.

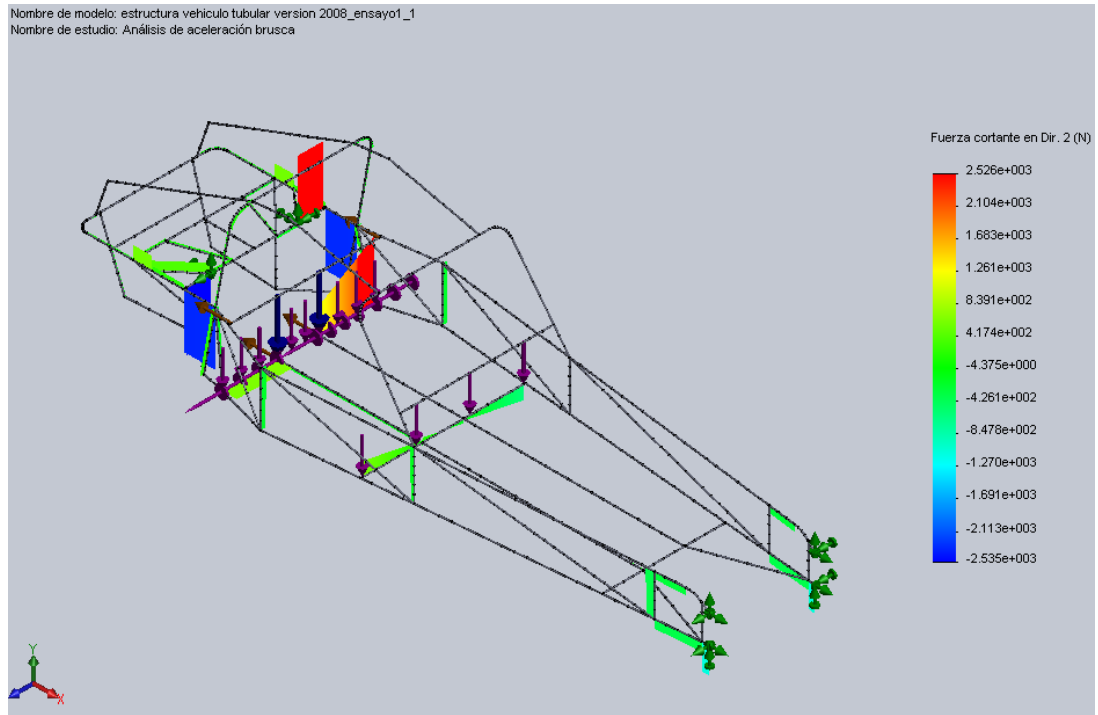


Figura 4.39- Diagrama de fuerza cortante segunda dirección.

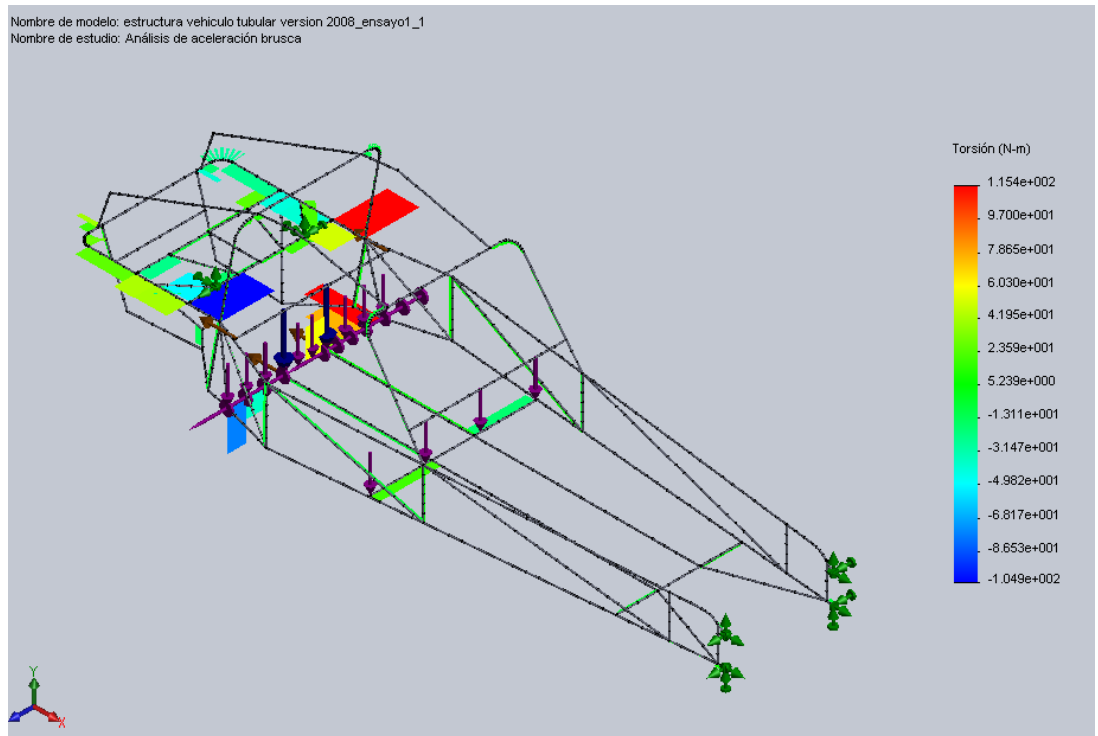


Figura 4.40 Diagrama de torsión.

Además se hará un estudio para verificar la rigidez torsional de la estructura.

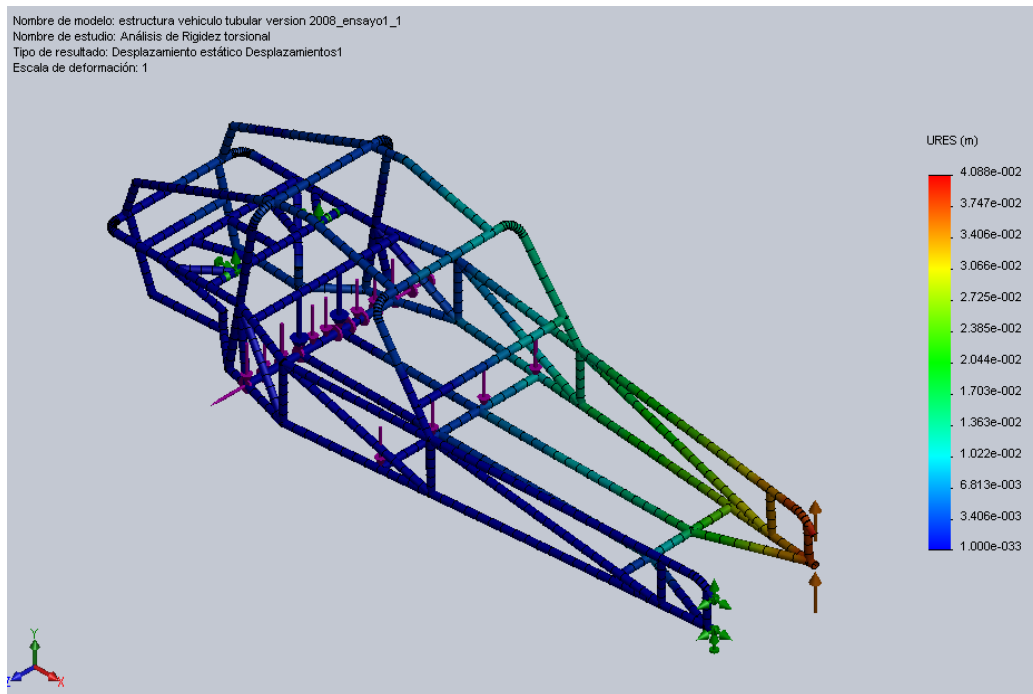


Figura 4.41- Resultado gráfico de las deformaciones absolutas.

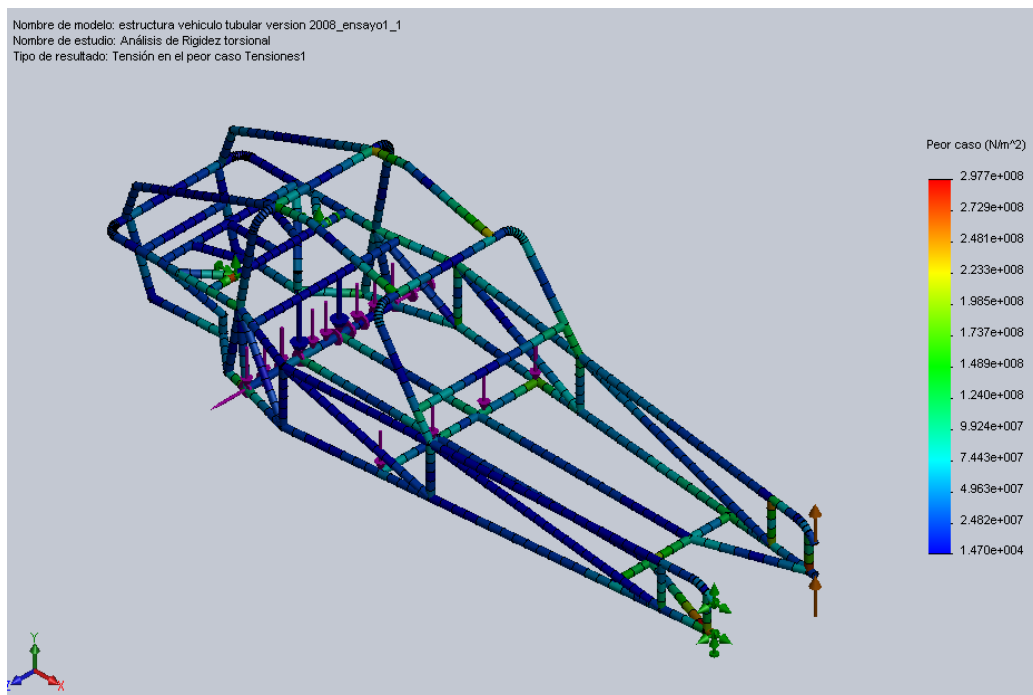


Figura 4.42-Resultado gráfico de los esfuerzos.

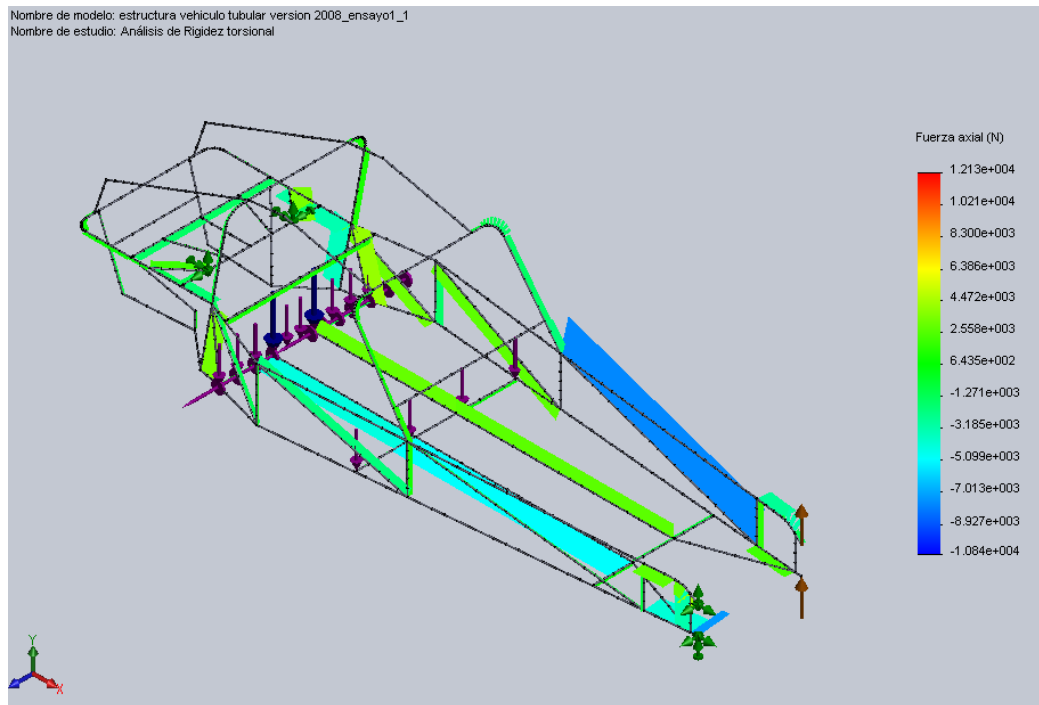


Figura 4.43- Diagrama de fuerzas axiales.

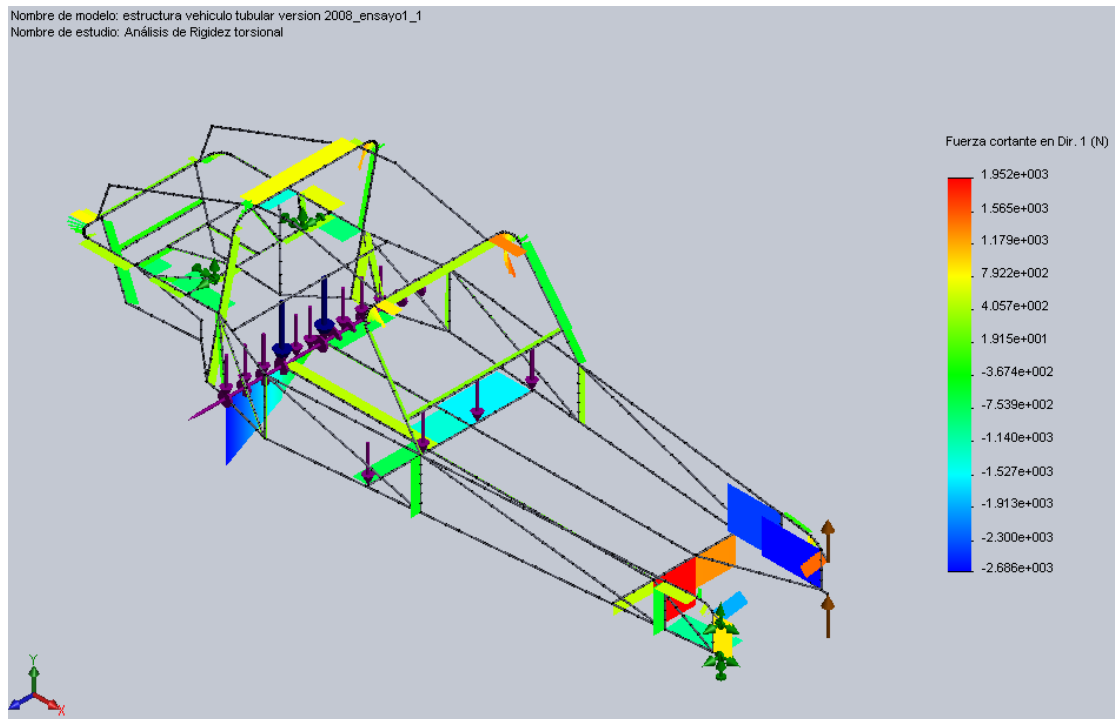


Figura 4.44. Diagrama de fuerza cortante primera dirección.

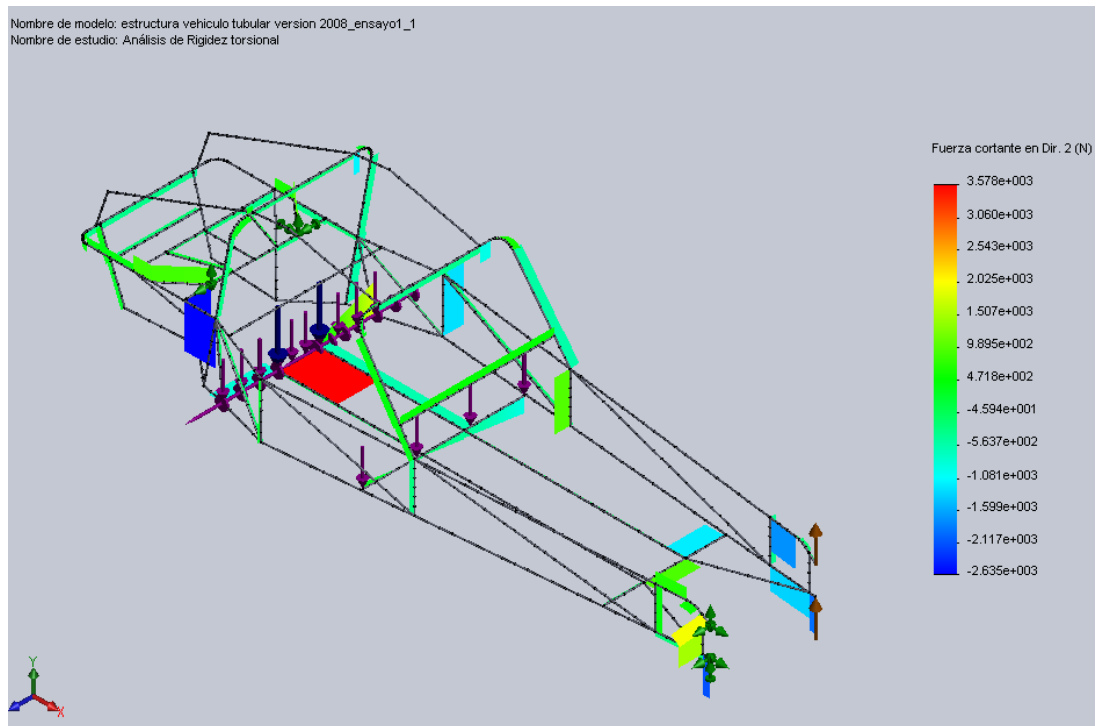


Figura 4.45- Diagrama de fuerza cortante segunda dirección.

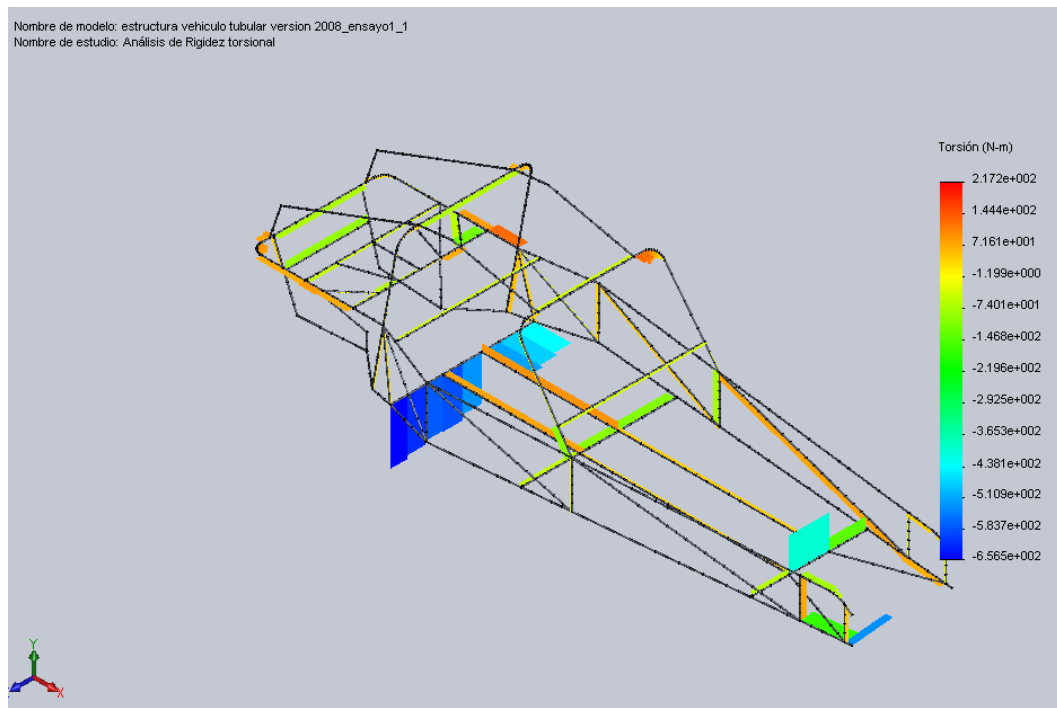


Figura 4.46- Diagrama de torsión.

CAPITULO 5

FABRICACION Y MONTAJE DE UN CHASIS TUBULAR

Al diseñar estructuras, rara vez el proyectista comete el error de no tener en cuenta desde el principio el material a seleccionar y las posibilidades que tiene de poder *moldearlo a su gusto*. El proyectista deberá conocer las herramientas de las que dispone el calderero, los materiales que mejor le convienen, los tipos y dimensiones de tubos de los que dispone, y cómo afecta el proceso de fabricación y montaje al cálculo de la estructura, sin dejar de lado el costo que significa cada ítem. Por ejemplo, si el material está conformado en frío o en caliente, el comportamiento de las uniones soldadas varía. En el montaje también puede ocurrir que la estructura quede pretensada para poder obtener la forma deseada. Según los tipos de unión que puedan construirse el diseño de la estructura será diferente. Según si hay posibilidades de doblar tubos o no, el diseño cambiará.

5.1 TIPOS DE ACERO

La primera pregunta es: ¿por qué acero? También podría hacerse de titanio o aluminio, como se refirió en el capítulo II. La verdad es que se puede hacer casi de cualquier material pero hay que tener en cuenta también el costo, el

comportamiento mecánico y las posibilidades de moldeabilidad que tiene. El acero tiene las siguientes ventajas:

- Su precio es relativamente barato.
- Su soldabilidad es buena.
- Es un material dúctil.
- Su módulo de elasticidad es superior al de muchos otros materiales, como por ejemplo el titanio y el aluminio, con lo que el tamaño de la sección de tubo necesario para tener una misma rigidez es menor.

Como se ha indicado en la introducción el proyectista siempre necesita especificar si el material está acabado en caliente o conformado en frío. Los perfiles tubulares conformados en frío se sueldan siempre, y los perfiles tubulares acabados en caliente, aunque la mayoría se suelda, pueden no presentar costura. Para el caso de la construcción de un chasis tubular lo más usual es utilizar perfiles tubulares conformados en frío.

Los tipos de acero están especificados por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en las normas siguientes:

| | |
|----------|--|
| ISO 630 | Aceros estructurales |
| ISO 4951 | Barras y perfiles de acero de alto límite elástico |
| ISO 4952 | Aceros estructurales con mayor resistencia frente a la corrosión |

Las propiedades mecánicas de los aceros se caracterizan en general, por el límite elástico f_y , la resistencia última a tracción f_u , y el alargamiento δ_u . Estas propiedades se determinan mediante ensayos de tracción y permiten obtener diagramas σ - ϵ .

Una estructura hecha con perfiles tubulares y cargada predominantemente con cargas estáticas debería, en principio, estar diseñada de tal manera que presentase un comportamiento dúctil. Esto significa que si las barras son críticas, éstas deberían garantizar capacidad de rotación, o si las uniones o conexiones son críticas, éstas también deberían garantizar suficiente capacidad de rotación. La ductilidad se mide mediante el ensayo Charpy en V, en el que una pequeña probeta de acero, con dimensiones normalizadas y con una entalla en V normalizada es sometida a una carga de choque en un ambiente con una temperatura especificada. El valor Charpy en V representa la energía de rotura mínima, que las probetas en el ensayo pueden alcanzar cuando se mantiene una temperatura concreta, expresada en julios. Los valores de los aceros normalizados por la ISO cumplen con el requisito mínimo de 27 julios.

Otro aspecto en la caracterización de las propiedades mecánicas viene definido por la resistencia y la ductilidad de los perfiles tubulares cuando se cargan en la dirección del espesor. Si se produce una fisura en el ensayo, es decir, un desgarramiento laminar, se podrá evitar mediante el uso de acero con bajo contenido en azufre o añadiendo azufre en colada junto con otros elementos como, por ejemplo, calcio.

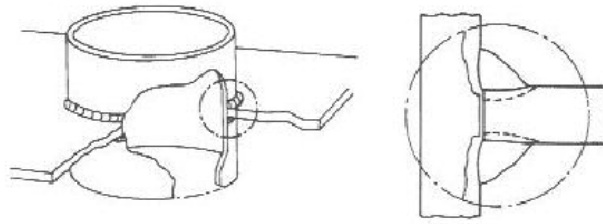


Figura 5.1 Desgarramiento laminar.

Los siguiente tipos de acero corresponden a los perfiles tubulares laminados en caliente así como a los materiales básicos para los perfiles tubulares conformados en frío.

Tabla. 5.1 – lista de elementos de vigas creadas.

| Tipo de acero | Límite elástico mínimo f_y (N/mm ²) | Resistencia a la tracción f_y (N/mm ²) | Porcentaje mínimo de alargamiento $L_o = 5,65 \sqrt{S_o}$ | |
|---------------|--|---|--|-------------|
| | | | Longitudinal | Transversal |
| S235 | 235 | 340...470 | 26 | 24 |
| S275 | 275 | 410...560 | 22 | 20 |
| S355 | 355 | 490...630 | 22 | 20 |
| S460* | 460 | 550...720 | 17 | 15 |

tabla 1: Tipos de acero.

De la recomendación del capítulo anterior, escogemos un acero que tiene un límite elástico $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

5.2.1 Propiedades físicas de los aceros estructurales

A continuación se indican las propiedades físicas recomendadas, válidas para todos los aceros estructurales.

| | |
|------------------------------------|--|
| Módulo de elasticidad: | $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ |
| Módulo de elasticidad transversal: | $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 81000 \text{ N/mm}^2$ |
| Coefficiente de Poisson: | $\nu = 0,3$ |
| Coefficiente de dilatación lineal: | $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ |
| Densidad: | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ |

5.2.2 Tipos de barras para chasis tubulares

En primer lugar hay que preguntarse ¿nos interesan barras huecas o macizas? Es sabido que los tubos de pared delgada aguantan bien a pandeo y a flexión porque el momento de inercia I es mayor que para un tubo macizo del mismo peso. En conclusión las barras que interesan son las huecas o en otras palabras los tubos.

La siguiente pregunta es ¿tubos de sección circular (CHS) o de sección rectangular (RHS)? Los CHS tienen una forma especialmente atractiva y ofrecen una distribución del acero muy efectiva alrededor del eje centroidal. Este perfil opone las mínimas resistencias frente a cargas *de* viento y agua. El inconveniente que tienen es que a la hora de unir formas circulares entre sí puede que se precise de un perfilado especial. Por otra parte, se sabe que las propiedades geométricas de las

barras influyen sobre la capacidad resistente de la unión. Sólo se puede obtener el mejor diseño si el proyectista comprende el comportamiento de la unión y lo tiene en cuenta desde el diseño conceptual. Se conocen las propiedades de las uniones entre CHS y las de las uniones entre RHS, pero no se conocen con tanto rigor las propiedades de las uniones mixtas de CHS con RHS, por lo que no se consideran. En el caso del chasis se prefieren los CHS frente a los RHS por estética, por aerodinámica, por la flexión multiaxial y porque el número de uniones no es excesivamente grande con lo que no es determinante para el costo total.

5.2.3 Incremento en el límite elástico causado por la deformación en frío

Este incremento puede utilizarse solamente para perfiles RHS en elementos a tracción o compresión pero no a flexión. Nuestra elección es el perfil CHS por lo que no tiene importancia este incremento en el límite elástico.

5.2.4 Consideraciones sobre soldabilidad de los materiales

Básicamente es la composición química de un tipo de acero la que determina su soldabilidad. Para la soldabilidad de los aceros sin alear, el utilizado generalmente para la construcción de un chasis, son decisivos el contenido de carbono ($C \leq 0,22 \%$) que presentan y la pureza del acero indicada por el contenido de azufre ($S \leq 0,045 \%$), fósforo ($P \leq 0,045 \%$) y N_2 ($N_2 \leq 0,009 \%$). La soldabilidad mejora, no

sólo por el bajo porcentaje de carbono ($\leq 0,20 \%$), sino que también por la microestructura de grano fino de material, el cual reduce la susceptibilidad a la fractura frágil. La composición química, la cual influye sobre la susceptibilidad a la rotura en frío de la zona afectada *por* el calor, se mide a menudo por el Valor del Carbono Equivalente CEV tal y como se indica a continuación:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Para espesores de pared inferiores a 16 mm, generalmente se acepta que si $CEV < 0,40$ no aparecen grietas. Para $0,40 < CEV < 0,45$, hay que tomar algunas precauciones dependiendo del proceso de soldadura. Para un CEV mayor que 0,45, normalmente se necesita un precalentamiento.

5.2.5 Dimensiones de las secciones

Las siguientes normas ISO describen la gama de dimensiones de los perfiles CHS conformados en *frío*:

Diámetro externo de 21,3 a 1219 mm

Espesor de pared de 2 a 30 mm

5.2 METODOS DE FABRICACION

El costo total de las estructuras de perfiles tubulares también se ve influido en sentido positivo o negativo particularmente por los costos de producción. Los

siguientes trabajos de taller se tienen que planificar y llevar a cabo cuidadosamente:

- Corte o aserrado
- Preparación de bordes para soldaduras
- Soldadura
- Montaje de las barras

Un método para ahorrar costos es pedir perfiles tubulares en longitudes extra largas en estructuras concretas, y así reducir el número de soldaduras a tope.

Al igual que para el resto de las estructuras de acero, la fabricación de estructuras de perfiles tubulares en los talleres debería organizarse, a ser posible, de tal manera que el material siga un proceso unidireccional desde la recepción hasta la entrega final, normalmente se siguen los siguientes pasos:

- a.* Marcado
- b.* Corte a la longitud adecuada por aserrado o corte por soplete
- c.* Curvado (si es necesario)
- d.* Preparación de los bordes para soldar. Este paso se puede realizar junto con el b.
- e.* Soldadura
- f.* Granallado. Este paso también se puede hacer antes que el, ya que puede resultar complicado realizar el granallado después del montaje.

g. Acabado con una primera capa de imprimación (dos o más capas dependiendo de las necesidades).

h. Pintado para protección frente a la corrosión externa o con pinturas intumescentes para proteger frente al fuego. Se deberían considerar las combinaciones de diferentes pasos siempre que resulte viable y económico.

En el caso de barras que hay que soldar entre si, el corte de los extremos debería incluir, a ser posible la preparación o el biselado (si es necesario) de los mismos para soldar. La medida de las dimensiones reales (compensación automática de tolerancias) es fundamental para obtener el corte y/o el biselado necesarios.

Como se ha comentado en la introducción el inconveniente de los perfiles tubulares es que requieren una curva multiplanar en las intersecciones, lo que aumenta el costo. Una posibilidad de facilitar la construcción de las uniones es el aplastamiento de los extremos con el fin de evitar una costosa fabricación con el perfilado de extremos y la preparación de bordes para soldadura. Aunque esta posibilidad no es recomendable para la construcción de un chasis debido a que habría una gran concentración de tensiones en los extremos de las barras debido al estrechamiento de la sección, con el consiguiente peligro de rotura por fatiga.

5.3.1 Corte por aserrado

La fabricación de una estructura empieza, en general, con la preparación de los extremos de las barras. Los métodos que se usan con más frecuencia son el corte por aserrado y el corte por soplete. En el caso de la estructura de un chasis debido al menor coste y a su mayor sencillez de ejecución es preferible el aserrado frente *al* corte por soplete.

También se pueden emplear los siguientes aparatos dependiendo de la calidad y de la precisión del corte deseado:

- ❖ Muela de rectificar: Proceso rápido, falta de precisión, con pronunciadas rebabas.
- ❖ Disco dentado de acero: Proceso rápido pero impreciso, con metal fundido que produce grandes cantidades de rebabas.
- ❖ Fresadora: Velocidad relativamente baja, con alto nivel de precisión y *ausencia de rebabas*. Ritmo de *trabajo satisfactorio*.

La unión directa entre los perfiles circulares necesita un corte "perfilado", a menudo denominado "silla de montar". Sin embargo, las curvas de intersección multiplanares pueden ser sustituidas por cortes planos en la barra, empleando el procedimiento del aserrado, en función de los diámetros relativos de los tubos utilizados en el nudo.

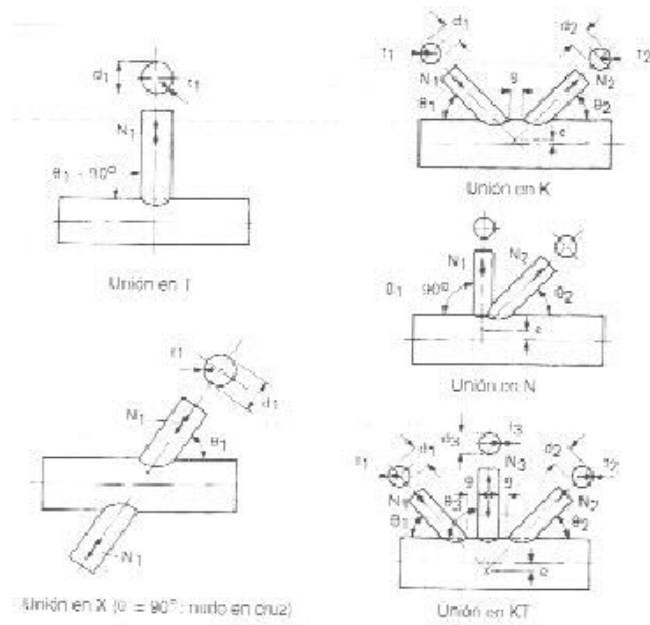


Figura 5.2:- Tipos de uniones soldadas entre CHS

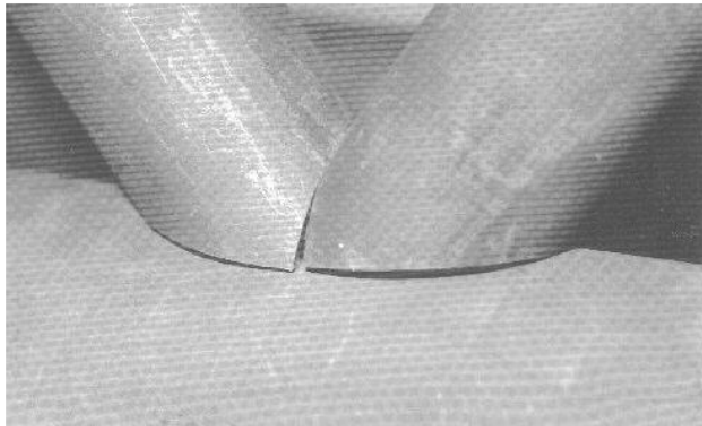


Figura 5.3: Nudo fabricado por aserrado de corte plano antes de soldar

Los siguientes parámetros determinan el tamaño de la separación entre los extremos de las barras de relleno y la superficie de los cordones para realizar la soldadura:

1. Número de cortes planos.
2. Relación entre el diámetro de la barra de relleno y el diámetro del cordón:

$$\frac{d_{1,2}}{d_0}$$

3. Espesor de pared de la barra de relleno, $t_{1,2}$.
4. Ángulo de inclinación del eje de la barra de relleno con respecto al eje del cordón, $\theta_{1,2}$.

Cuando se unen una barra de relleno *CHS* a un cordón de *CHS* con un diámetro considerablemente más grande, la primera se puede cortar plana en el extremo, si se verifica la condición de que $g_1 \leq t_r$ siendo t_r el menor de los dos valores t_0 y $t_{1,2}$. Otra condición más general, es: $g_2 \leq 3 \text{ mm}$.

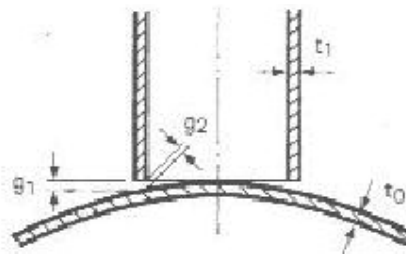


Figura 5.4: Unión entre CHS con un único corte plano en el extremo de la barra de relleno

A continuación se muestran las combinaciones límite recomendadas entre los diámetros de las barras de relleno y los de los cordones para el nudo tipo mostrado en la figura anterior, con la condición de que $g_2 \leq 3$ mm.

Tabla 5.2-Combinaciones límite entre diámetros de barras de relleno y de los cordones

| d_0 mm | d_1 mm | d_0 mm | d_1 mm |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 33,7 | 26,9 | 88,9 | 33,7 |
| 42,4 | 26,9 | 101,6 | 42,4 |
| 48,3 | 26,9 | 114,3 | 42,4 |
| 60,3 | 33,7 | 139,7 | 48,3 |
| 76,1 | 33,7 | 168,3 | 48,3 |

Las relaciones grandes de d_1/d_0 conducen a grandes separaciones para la soldadura y hay que tener especial cuidado durante la misma para evitar cualquier influencia negativa en la capacidad resistente *del* nudo. La verdadera desventaja de una separación grande es el elevado coste que supone la soldadura entre ambos elementos.

En estos casos, se puede reducir la separación de soldadura realizando un "perfilado" apropiado por medio de:

- a) Dos cortes planos seguidos por el rectificado o el corte (cizallado) del área de "punta".

- b) Dos o tres cortes planos sucesivos utilizando las ecuaciones correspondientes a los ángulos de corte β_g y β_d .

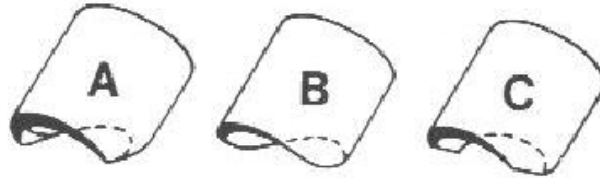


Figura 5.5- Operaciones para alisar el área de "punta"

A: rectificando los ángulos internos, B: rectificando con plantilla, C: cizallando

Método A

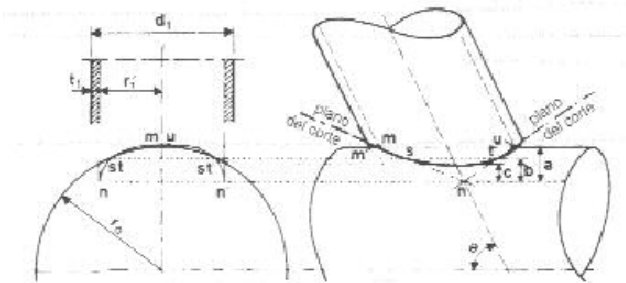


Figura 5.6:- Método A de corte por aserrado

$$a = \frac{r_1'^2}{2r_0} - r_1'$$

$$r_1' = \text{radio interior de la barra de relleno} = \frac{d_1 - 2t_1}{2}$$

$$r_0 = \text{radio exterior del cordón} = \frac{d_0}{2}$$

El valor "a" es constante, independientemente de cual sea el ángulo de inclinación θ . Empezando desde el punto "n" determinado por el valor "a", se dibujan las líneas "n-m" y "n-u", Estas *definen* los planos de corte, cuyas inclinaciones hay que medir. El alisado del "área de punta" se puede llevar a cabo mediante cualquiera de las operaciones mostradas.

Método B

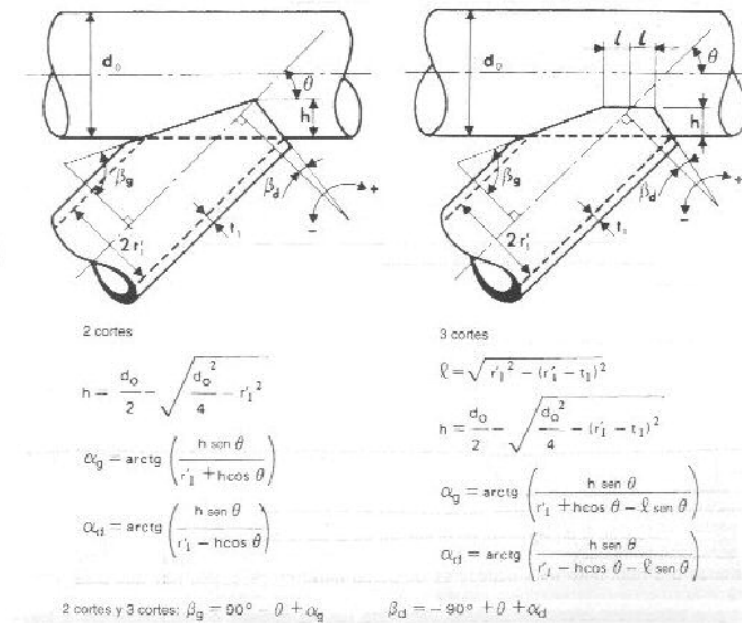


Figura 5.7- Método B de corte por aserrado

El valor "h" es un valor constante, independientemente de cual sea el ángulo θ , que se puede calcular mediante las fórmulas de la figura 17. Los valores intermedios α_g y α_d también se pueden calcular empleando las fórmulas correspondientes. Después se pueden determinar los ángulos de corte necesarios β_g y β_d .

5.3.2 Método de curvado en frío para chs

Durante esta operación podrán aparecer pliegues en la zona interna comprimida y el espesor de la zona externa alargada disminuye. Para evitar la formación de pliegues y la ovalización, son favorables los siguientes condicionantes:

- a) Bajo límite elástico del material.
- b) Alta resistencia última del material.
- c) Considerable alargamiento en la rotura a tracción (por lo menos un 20%)

Otros parámetros determinantes son la relación entre el espesor de la pared con respecto al diámetro del CHS y la relación del radio de curvado con respecto al diámetro del CHS.

Curvado en frío por presión

Tras colocar un perfil tubular entre dos rodillos fijos, se curva por el desplazamiento del conformador central, normalmente conectado a un empujador hidráulico. Esta operación también se puede llevar a cabo manteniendo quieto el conformador central y empujando los rodillos laterales.

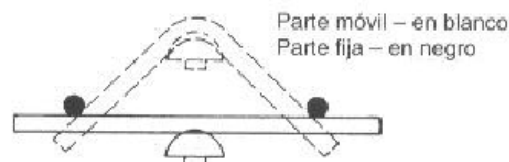


Figura 5.8-Curvado en frío por presión

Curvado en frío mediante caja conformadora

Se introduce la pieza en una caja conformadora preperfilada "A". Los extremos de la pieza a trabajar deben estar provistos de un tapón guía. La lubricación es fundamental. El método sólo resulta económico si se necesitan muchos curvados con el mismo tamaño de perfil tubular. Es un método válido únicamente para tubos que tienen la curvatura cerca del extremo, cosa que no se suele dar muy a menudo en los chasis tubulares.

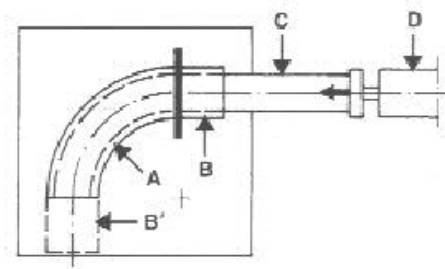


figura 5.9: Curvado en frío mediante caja conformadora

Curvadora de rodillos

Esta herramienta con la que se produce el curvado pasando la pieza a través de tres rodillos, es, en general, la preferida por los fabricantes de estructuras de acero. Las dimensiones *del* rodillo son acordes a *los* tamaños de los CHS. Para curvado en frío con curvadora de rodillos, en la práctica el límite del radio de curvado es de, aproximadamente, 5 veces el diámetro externo del tubo.

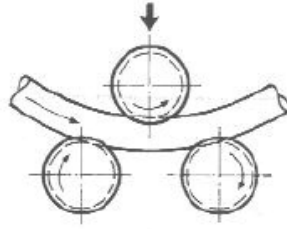


Figura 5.10- Curvadora de rodillos

Curvado mediante cortes a inglete

Normalmente, para curvas de radio grande, se pueden obtener curvas aproximadas uniendo secciones rectas extremo con extremo y soldándolas por dichos extremos previamente cortados con un ángulo adecuado.

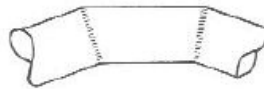


figura 5.11-Curvado mediante cortes a inglete

5.3.3 Métodos para soldar nudos de perfiles tubulares

La soldadura de nudos de perfiles tubulares pertenece principalmente al grupo de la soldadura por fusión, aunque si el número de unidades es elevado, también es aplicable la soldadura por fricción, que pertenece al grupo de la soldadura por presión. Hay cinco subgrupos de la soldadura por fusión denominados autógena, por arco metálico, por *resistencia eléctrica*, por *haz* de electrones y por plasma. La

soldadura por arco se utiliza de manera predominante, en las tres versiones siguientes, para la unión de los perfiles tubulares:

- Soldadura por arco con electrodo revestido (*SMAW*)
- Soldadura por arco con núcleo de fundente (*FCAW*)
- Soldadura por arco metálico y gas MIG/MAG (*GMAW*)

En cuanto a *los equipos y máquinas para soldar, hay que diferenciar tres métodos*, la soldadura manual, con máquina semi-automática o totalmente automática. Los dos primeros se emplean normalmente en el caso de perfiles tubulares.

La soldadura *manual* por arco con *electrodos revestidos con una capa de productos químicos fundentes* se utiliza en los talleres y en el soldeo a pie de obra. Concretamente, se puede aplicar cuando predominan las posiciones de soldar desfavorables.

El revestimiento del electrodo tiene la función de proteger el baño de acero líquido en la soldadura frente a los efectos perjudiciales de las escorias o del gas.

Así pues, todos los puntos críticos, como por ejemplo el tipo de nudo, las posiciones de soldar y los métodos de controlar las soldaduras, determinan el tipo de electrodo utilizado.

Para soldar las estructuras de perfiles tubulares, se aplican los electrodos del tipo estructural rutilo, ácido y básico. Dependiendo del

tipo de acero, del espesor de la pared y de las formas de la soldadura, se recomiendan los siguientes tipos de electrodos:

| | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|
| S235 y S275: | | | |
| Para espesores de pared | ≤ 16 mm (soldadura a tope) | } | Electro estructural rutilo o estructural básico, con bajos contenidos en hidrógeno |
| | ≤ 30 mm (soldadura en ángulo) | | |
| | > 16 mm (soldadura a tope) | | |
| S355 | | | |
| Para todos los espesores de pared | | | Básico con bajo contenido en hidrógeno |

En general, *se deben seguir las recomendaciones sobre protección y almacenamiento de los electrodos indicadas por los fabricantes. Se deben guardar secos y sin daño alguno. Para los electrodos básicos de bajo contenido de hidrógeno se deben emplear hornos de secado. Una alternativa es el utilizar electrodos envasados al vacío. La soldadura manual requiere adecuados conocimientos técnicos y experiencia por parte del soldador.*

5.3.4 Posiciones y secuencias de soldadura

Para comenzar *se mencionan tres puntos principales:*

1. Para los espesores más pequeños, *se deben evitar, en lo posible, las soldaduras con varias pasadas.*
2. Hay que seguir las secuencias de soldadura apropiadas, ya que afectan en gran medida a la contracción, a las tensiones residuales y la deformación de una estructura soldada.

Dependiendo de la posición y de la movilidad de los elementos estructurales, se muestran a continuación cuatro posiciones para soldar en nudos de perfiles tubulares estructurales, junto con las secuencias de soldadura.

1. Soldadura circular de 360°

Se hace la soldadura hacia abajo (plana), mientras la sección gira 360°.



Figura 5.12 Soldadura circular de 360°

2. Soldadura vertical ascendente de 180°

Todas las soldaduras se hacen en la parte superior y después el panel gira sobre sí mismo (180°) para completar la operación.

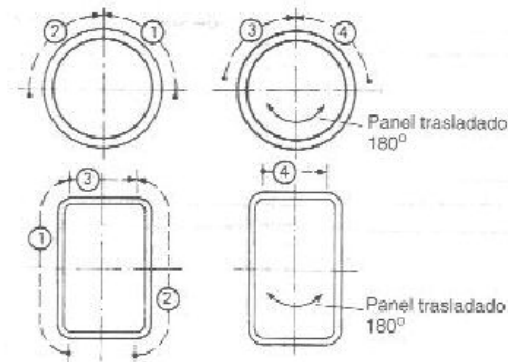


Figura 5.13- Soldadura vertical ascendente de 180°

3. Soldadura vertical ascendente

Los perfiles tubulares no se pueden mover.

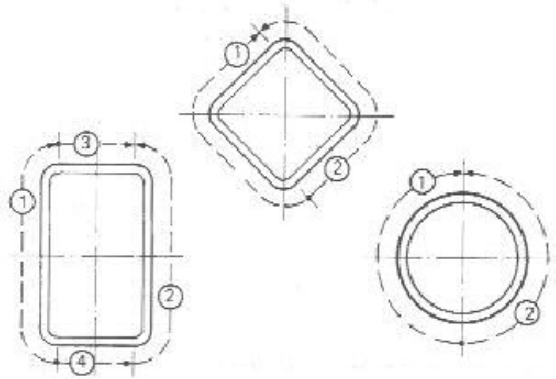


Figura 5.14 soldadura vertical ascendente

4. Soldadura horizontal

Esta posición es necesaria cuando las barras están en posición vertical y no se pueden mover. Si las barras se encuentran en posición horizontal, las soldaduras se hacen en posición vertical.

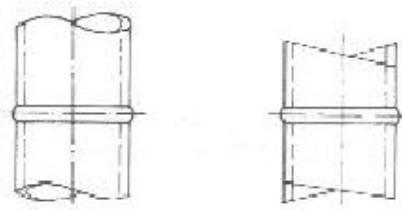


Figura 5.15 Soldadura horizontal

5.3.5. Punteado de la soldadura

El punteado de la soldadura es una soldadura corta hecha para la unión preliminar de las barras de perfil tubular de una estructura, obteniendo una sujeción temporal previa a la soldadura definitiva del montaje. El espesor de la garganta del punteado de soldadura tiene que estar de acuerdo con la posición de la raíz. Este debe garantizar una *unión* limpia en la *raíz* de la soldadura. Los extremos de los puntos de soldadura deben estar correctamente ejecutados para obtener una buena fusión en el cordón de la raíz.

Se tienen que llevar a cabo con mucho cuidado, puesto que los puntos de soldadura se convierten en parte de la soldadura definitiva. Por eso los soldadores precisan de una cualificación especial para hacer trabajos de punteado de la soldadura.

El punteado del CHS se hace de forma circular cuando el diámetro del CHS es pequeño. Con respecto al punteado de la soldadura de un nudo de CHS hay que evitar la soldadura en la posición simétrica A de los tubos acoplados debido a la concentración de tensiones que se localizan en ese punto. En general, la longitud mínima del punteado de un tubo acoplado se puede reducir hasta 1/10 del diámetro exterior del tubo.

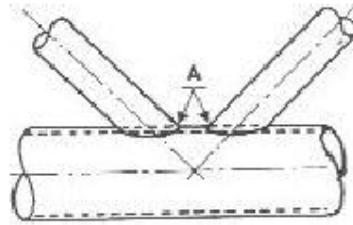


Figura 5.16- Posición simétrica A. Provoca concentración de tensiones

5.3.6 Tratamiento previo y posterior de las construcciones soldadas de perfiles tubulares

Para los aceros estructurales sin alear, generalmente no se necesita precalentamiento. Sin embargo, se recomienda para una temperatura ambiente inferior a $+5^{\circ}\text{C}$ y para espesores *de pared* ≥ 30 mm.

Después de haber hecho la soldadura, se lleva a cabo un tratamiento térmico para aliviar las tensiones, únicamente cuando hay que reducir las tensiones producidas por la soldadura. Normalmente, la temperatura para aliviar las tensiones está entre 530°C y 580°C .

5.3.7 Tensiones residuales y deformaciones producidas por la soldadura

Se producen esfuerzos de contracción debido al acortamiento de la pieza al enfriarse. Las deformaciones y las tensiones residuales en una estructura soldada de perfiles tubulares dependen de los siguientes parámetros:

- Espesor de la soldadura
- Número de pasadas de soldadura
- Distancia entre la soldadura y el eje neutro del elemento estructural
- Coacción del elemento estructural soldado por las barras de unión
- Rigidez del elemento estructural en una estructura soldada
- *Ángulo* de inclinación entre los *ejes* de las barras a unir Secuencia de soldadura
- Método de soldar

En una construcción rígida, las deformaciones provocadas por las contracciones se previenen, en gran medida, durante la soldadura. Para diseñar una estructura, el proyectista está limitado a reducir las deformaciones lo que da lugar a tensiones residuales mayores, o bien a reducir las tensiones residuales lo que aumenta las contracciones. La decisión hay que tomarla teniendo en cuenta ambos efectos.

Con el fin de reducir los trabajos de enderezado y alineación posteriores a la soldadura, las distorsiones pueden ser compensadas por las correspondientes predeformaciones.

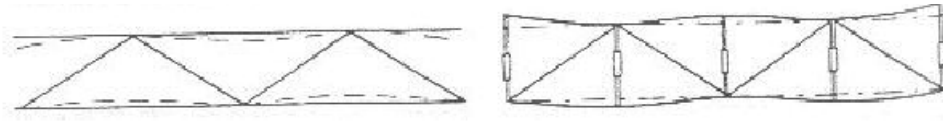


Figura 5.17 .Predeformación de una viga en celosía soldada.

a) Estimación de la deformación b) Preajuste de los cordones con cilindros de presión

Después de estimar las deformaciones de una viga en celosía producidas por la soldadura, los cordones se pueden preajustar convenientemente con cilindros de presión. Las tensiones residuales y las contracciones se determinan proporcionalmente por las disposiciones y secuencias de soldadura. El punteado de las soldaduras previo a la soldadura final debe ser lo bastante numeroso y fuerte como para absorber los esfuerzos de contracción transversales durante la soldadura.

Otras medidas para reducir las deformaciones y/o las tensiones residuales son por ejemplo el calentamiento localizado en los lugares adecuados, el golpeteo de las soldaduras (raras veces utilizado), etc.

5.3.8 Defectos de Soldadura y reparaciones

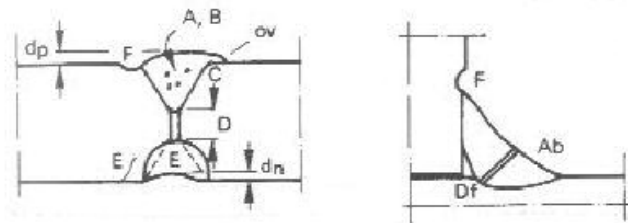


Figura 4.18- Tipos de defectos de soldadura,

E = Fisura *DF = Penetración incompleta de la raíz en una soldadura en ángulo*

C = Ausencia de fusión *D = Penetración incompleta de la raíz soldadura con bordes planos*

A = Inclusiones de gas *F = Mordedura*

Ab = Grieta longitudinal *D_n = Garganta insuficiente*

B = Inclusiones de escorias *D_p = Excesiva convexidad* *ov =*

Recubrimiento

Las caras de las soldaduras en ángulo pueden ser ligeramente convexas, planas o ligeramente cóncavas. Sin embargo, existe un límite de convexidad dependiendo del tamaño de la superficie de fusión o del ancho del reborde de la superficie individual L.

Las soldaduras a tope se harán, preferentemente, con un ligero refuerzo de las caras. Este refuerzo tendrá una transición gradual hacia el plano de la superficie del metal de base, por lo que las soldaduras no presentarían discontinuidades, excesiva convexidad, garganta insuficiente, excesiva *convexidad*, garganta *insuficiente*, *excesiva mordedura ni recubrimiento*. Los defectos de soldadura se pueden reparar eliminando metal de aportación o trozos del metal de base mediante mecanizado, rectificado, cincelado o escopletado.

Hay que eliminar los defectos de soldadura, como ejemplo el recubrimiento, la convexidad excesiva o *la sobrecarga*, sin quitar gran

cantidad de metal de base. Antes de soldar es obligatorio efectuar una limpieza a fondo de la superficie.

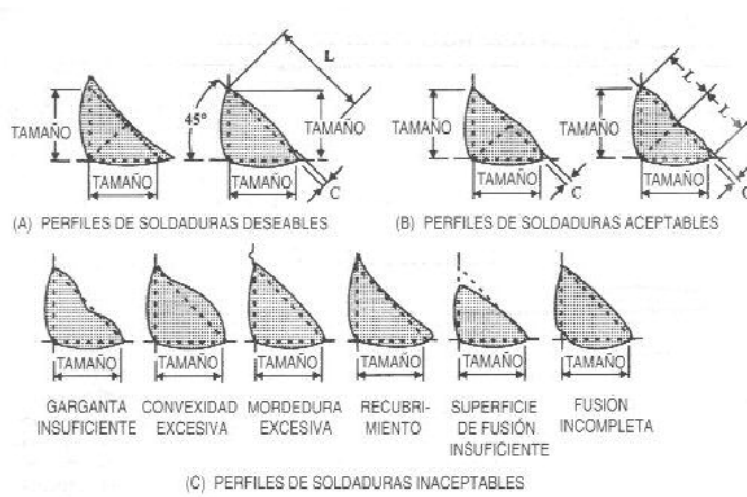


Figura 35.19- Perfiles de soldadura aceptables e inaceptables para soldaduras en ángulo

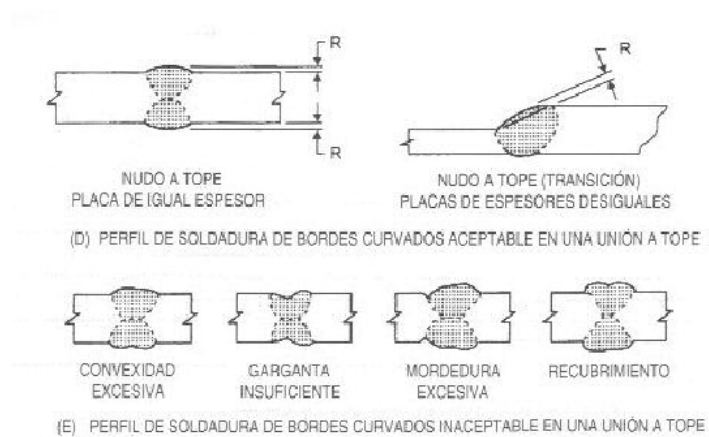


Figura 5.20- Perfiles de soldadura aceptables e inaceptables para soldaduras en ángulo

Cualquier deficiencia en el tamaño de la soldadura producida por concavidad excesiva, soldadura de tamaño insuficiente y mordedura

tiene que ser compensada depositando metal de aportación. Hay que eliminar y volver a soldar las fusiones incompletas, la porosidad excesiva de la soldadura o las inclusiones de escorias. Las grietas de la soldadura o del metal de base se reparan eliminando de la grieta metal sano (dependiendo del espesor) más allá de cada extremo de la grieta y soldando de nuevo.

5.3.9 Inspección de soldaduras

Las soldaduras de las estructuras de acero se pueden comprobar mediante ensayos destructivos (sólo en laboratorio) o no destructivos. Desde el punto de vista económico, la extensión de las inspecciones debería ser mínima. Así pues, las soldaduras en ángulo son preferibles a las soldaduras a tope.

Los ensayos destructivos, que son los ensayos de tracción, de plegado, de resistencia frente al impacto, de dureza y de fatiga, se suelen hacer antes de empezar la soldadura final de una estructura. Estos ensayos también se llevan a cabo para comprobar la capacidad profesional de los soldadores. Los siguientes cinco métodos no destructivos pueden facilitar información concluyente con respecto a la calidad efectiva de la soldadura:

- ❖ Inspección visual
- ❖ Ensayo con partículas magnéticas
- ❖ Ensayo con líquidos penetrantes

- ❖ Inspección ultrasónica
- ❖ Inspección radiográfica mediante rayos X o Y

Es de importancia fundamental efectuar una detenida inspección visual de la costura de la soldadura, así como de la zona próxima a la soldadura, tanto antes como después de soldar. Por lo tanto, se recomienda comprobar la separación de la raíz entre las partes que hay que soldar, el ángulo de inclinación entre los elementos estructurales, la uniformidad en la preparación de los bordes de la soldadura, el ángulo de bisel, la distancia entre la alineación de las caras y la eliminación total de aceite, grasa, etc.

El ensayo con partículas magnéticas es un método rápido y práctico para descubrir los defectos superficiales como las pequeñas fisuras que, por supuesto, no son obviamente visibles. Este método se aplica principalmente para encontrar defectos de soldadura en las uniones de nudos, los cuales resultan difíciles de determinar con otros métodos. Se pulverizan finas partículas magnéticas en la superficie que hay que revisar, y se produce un flujo del campo magnético mediante una bobina o una horquilla magnética. Cuando una fisura distorsiona o produce una discontinuidad en el campo magnético, las partículas magnéticas anteriormente pulverizadas se alinean a lo largo de las fisuras indicando con claridad hasta las más finas de ellas (hasta 1/10000 mm). El registro de la medición se hace con fotografías.

En la práctica, el examen de las soldaduras se limita generalmente a la inspección visual, para cuya realización se precisa de un inspector con experiencia que juzgue la calidad de la soldadura.

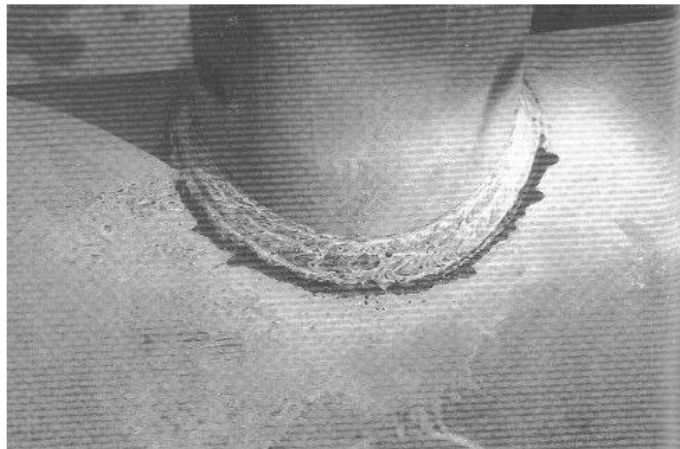


Figura 5.21 Fisuras detectadas mediante el ensayo con líquidos penetrantes

5.3.10 Recomendaciones generales para operaciones de soldadura

1. Es fundamentalmente importante que esté asegurada la accesibilidad para soldar. El soplete para soldar, la boquilla sumergida en gas inerte y la abrazadera de electrodos deben tener espada suficiente para hacer soldaduras de forma cómoda.
2. A menudo los fabricantes tienden a *especificar y llevar a cabo soldaduras* mayores, con espesores de garganta de soldadura más grandes que los que se necesitan técnicamente. Esto no sólo resulta más caro sino también más dañino debido al peligro que existe de contracciones y distorsiones excesivas y al cambio de la microestructura

del metal de base en la zona afectada (HAZ) debido a la entrada de calor adicional.

3. Las soldaduras en ángulo son preferibles a las soldaduras a tope. Se tienen que aplicar siempre que sus tamaños no sean excesivos. Si una soldadura en ángulo no es viable, se puede aplicar soldaduras a tope con penetración parcial, ya que son menos caras que las soldaduras a tope con penetración completa sin anillo interno. Sin embargo, estas últimas pueden ser ejecutadas con anillos internos.
4. El agrupamiento en un nudo soldando demasiadas placas a secciones, no *sólo resulta* perjudicial en la accesibilidad para *soldar*, *sino que* además favorece la corrosión externa al producir colectores de humedad.
5. Como la inspección visual es el método de inspección de soldadura más barata, más cómoda y más aplicada, es imprescindible que el inspector tenga la calificación requerida además de la experiencia necesaria para llevar a cabo este trabajo. En los nudos críticos se aplican *otros* métodos, pero sólo cuando resultan viables.

5.3.11 Perforaciones

Las perforaciones normalmente se hace en los perfiles tubulares estructurales sólo mediante taladrado. No se pueden hacer mediante punzonado, debido a la forma tubular que presentan, a menos que se utilice un soporte interno.

5.3 UNIONES SOLDADAS

Los tipos de unión, aparte de la soldadura y el atornillado, se pueden clasificar en dos clases principales:

- Uniones directas, donde las barras se unen directamente unas con otras.
- Uniones indirectas, donde las barras se unen de forma indirecta a través de cartelas o de placas de extremo.

En general, la integridad estructural y la economía *de* fabricación, hablan en favor de las uniones directas. En este caso, la integridad estructural es estadísticamente más elevada porque la transmisión de carga se produce dos veces, primero desde un perfil tubular a la placa y después desde la placa hasta la otra barra. Los trabajos de fabricación que consisten en *la* soldadura o el atornillado, o en la combinación de ambos, son también menos voluminosos en el caso de las uniones directas. A continuación se muestran los diferentes tipos de uniones soldadas que existen:

5.3.1 Uniones en prolongación (empalmes)

Para los perfiles tubulares, las uniones en prolongación se hacen principalmente mediante soldadura a tope. El método es sencillo y lo componen tres casos:

Caso 1: Ninguna preparación de soldadura en los extremos de la barra (perfiles tubulares de pared delgada).

Caso 2: Los extremos de la barra se biselan para la soldadura (perfiles tubulares de pared gruesa).

Caso 3: Los *biseles* de los *extremos* están *apoyados* por un *anillo de apoyo* interno que soporta la soldadura líquida y facilita la alineación de las barras.

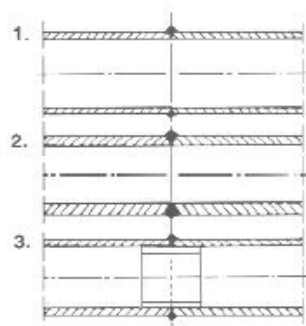


Figura 5.22-

El objetivo es alcanzar, bien la mayor carga aplicada, bien la resistencia total de la barra más débil obteniendo la penetración adecuada de la soldadura. Hay que seleccionar los electrodos apropiados con respecto al acero utilizado.

5.3.2 Uniones soldadas en ángulo recto

Hay dos tipos fundamentales de nudos soldados en ángulo recto (90° de inclinación):

1. Nudo en ángulo recto simple.
2. Nudo en ángulo recto con una placa rigidizadora transversal

Los nudos soldados en ángulo recto también se pueden hacer con perfiles tubulares circulares.

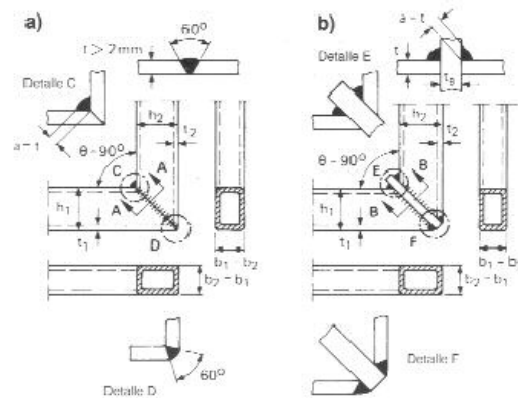
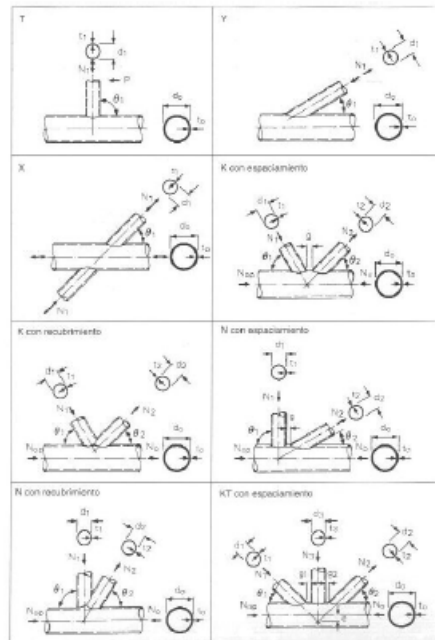


Figura 5.23- Nudos en ángulo recto.

a) sin rigidizadores b) con placa rigidizadora

5.3.3 Nudos de celosía con barras soldadas directamente

Tabla 5.3 Los diferentes tipos de uniones soldadas planas



Las principales configuraciones geométricas de nudos son:

- Nudos en T o en Y
- Nudos en X
- Nudos en N o K
- Nudos en KT

Se puede hacer otra clasificación más para los nudos en N, K y KT basándose en lo siguiente:

- ❖ Espaciamiento (separación) "g" entre los bordes de las barras de relleno (ignorando las soldaduras).
- ❖ Recubrimiento (solape) parcial o total de las barras de relleno.

Normalmente, las barras de los nudos de celosía de *perfiles tubulares* se sueldan directamente entre ellas, empleando soldaduras en ángulo y soldaduras a tope de penetración parcial o total. La selección del tipo de soldadura depende principalmente del ángulo de inclinación θ de la barra de relleno con respecto al cordón, así como del espesor de pared de la barra de relleno, el cual es, en general, inferior al espesor de pared del cordón.

Las uniones en los nudos de celosía de perfiles tubulares soldados directamente se hacen con soldadura en ángulo o una combinación de soldadura en ángulo y a tope.

La siguiente figura muestra las condiciones básicas para aplicar soldaduras en ángulo y a tope (con abertura de penetración total o parcial), los detalles muestran el cambio del bisel de la soldadura al variar el ángulo de abertura punto a punto a lo largo del perímetro de la intersección. Con respecto a la punta de cumbre (punto X), el valle (punto Y) y el talón de cumbre (punto Z) de las figuras antes mencionadas, predominan las siguientes condiciones:

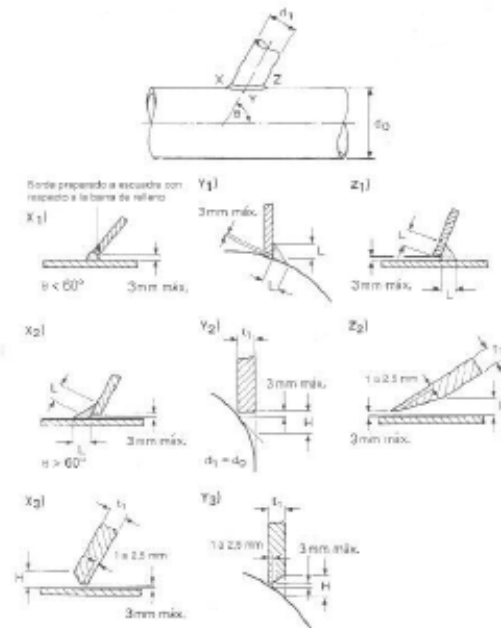


Figura 5.24- Soldaduras en ángulo y a tope entre perfiles tubulares circulares en nudos de celosía.

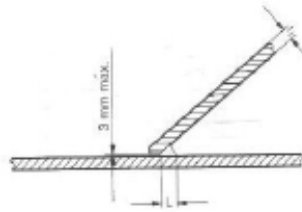


Figura 5.25-Alternativa al detalle Z₂

Cumbre

$\theta \leq 60^\circ$, todos los espesores:

$\theta > 60^\circ$, $t_1 < 8$ mm:

$t_1 \geq 8$ mm:

soldadura a tope (detalle X₁)

soldadura en ángulo (detalle X₂)

soldadura a tope (detalle X₃)

Valle

$t_1 < 8$ mm, d_1/d_0 o $b_1/b_0 \leq 0,85$:

$t_1 < 8$ mm, d_1/d_0 o $b_1/b_0 = 1,0$:

$t_1 \geq 8$ mm:

soldadura en ángulo (detalle Y₁)

soldadura en ángulo (detalle Y₂)

soldadura a tope (detalle Y₃)

Talón

$t_1 < 8$ mm:

$t_1 \geq 8$ mm:

soldadura en ángulo (detalle Z₁)

soldadura a tope (detalle Z₂)

o soldadura en ángulo

Se recomienda que $\theta \geq 30^\circ$ para garantizar la adecuada penetración de la soldadura en la zona del talón. En una combinación de soldadura en ángulo y a tope, la transición debe ser continua y sin brusquedad.

La soldadura más frecuente es la soldadura en ángulo, cuya configuración puede ser convexa, plana o cóncava. El espesor de garganta “a” se describe mediante un triángulo isósceles.

El IIW (Instituto Internacional de Soldadura) propone $a \geq 1.1 t_1$ para $f_y=355$ y $a \geq t_1$ para $f_y=(235 -275)$.

Hay que mencionar aquí que una soldadura de tipo cóncavo produce un mejor comportamiento a fatiga a tener una transición más gradual de la soldadura al metal de base.

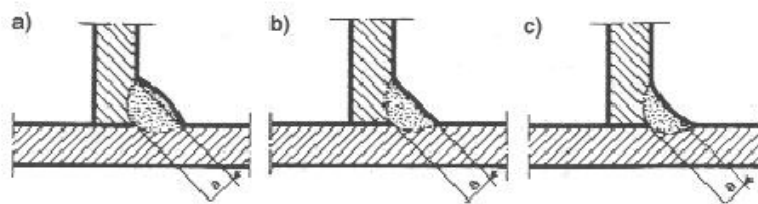


Figura 5.26-Formas de soldaduras en ángulo

a) convexa b) Plana c) Cóncava, que define el espesor de garganta "a"

Desde el punto de vista de la economía de fabricación son preferibles las uniones con espaciamento (en los casos de K, N, KT) a los nudos con recubrimiento parcial, puesto que las barras más fáciles de preparar, ajustar y soldar.

Sin embargo, los nudos con recubrimiento total puedan proporcionar al nudo una mayor resistencia con una fabricación similar a la de los nudos con espaciamento, aunque con menos tolerancia de ajuste.

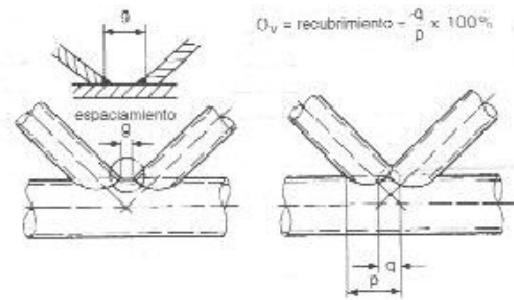


Figura 5.27- Nudos K con a) espaciamiento b) recubrimiento parcial

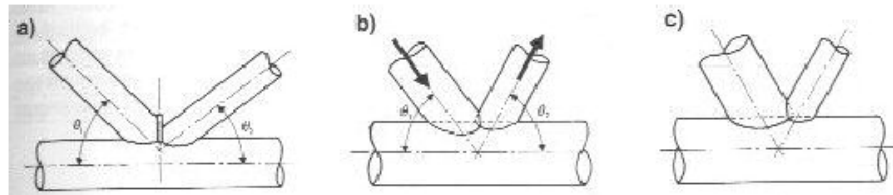


Figura 5.28: Varios nudos de tipo K en CHS con recubrimiento parcial

- a) Las dos barra de relleno se unen por soldadura a través de una placa intermedia (corte a escuadra para las barras de relleno de intersección)
- b) En el caso de que los diámetros y los espesores de pared de las dos barras de relleno sean iguales, primero se soldará la barra traccionada al cordón y después la barra comprimida cubrirá parcialmente la barra traccionada mediante soldadura (corte de la barra de relleno comprimida según dos perfiles).
- c) En el caso de que la diferencia entre los diámetros de las barras de relleno sea grande, primero se soldará la mayor al nudo y posteriormente la pequeña cubrirá la mayor (perfilado doble de la barra más pequeña).

Es preciso hacer un comentario especial sobre nudos con recubrimiento parcial. En los talleres de fabricación, es habitual situar en posición las barras de una viga en celosía sobre un bastidor y puntearlas con soldadura. La soldadura final se lleva a cabo después en una operación aparte. Esta secuencia impide soldar la costura de la parte cubierta "A". Sin embargo, los ensayos han mostrado que, por lo general, la resistencia del nudo no se ve afectada al excluir la soldadura de "A".

No obstante, si los componentes verticales de la carga en las dos barras de relleno difieren en *más* de un 20%, entonces habrá que soldar dicha zona.

Los pasos de fabricación y la secuencia de soldadura se tienen que hacer de manera que las tensiones y las deformaciones residuales originadas por la soldadura se mantengan lo más bajas posible.

Ante todo, las tensiones residuales se pueden reducir eligiendo la secuencia de soldadura adecuada, que permita la contracción libre. Por ejemplo, en las vigas en celosía la soldadura de las barras de relleno debe empezar desde el centro hacia afuera y hasta el extremo de las barras. Como consecuencia, se originan tensiones residuales en la soldadura antes que indeseables tensiones de tracción en la soldadura.

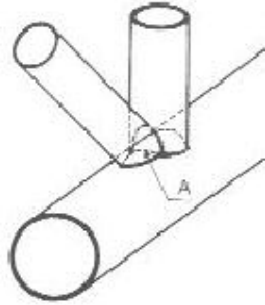


Figura 5.29: Soldadura de un nudo con recubrimiento parcial

Se recomienda que la secuencia de soldadura se base en las siguientes directrices:

- Las posiciones de parada / comienzo no deben estar en la zona de la cresta ni en la valle en un nudo soldado de dos perfiles tubulares circulares, o cerca de ellas.
- La soldadura entre los perfiles tubulares debe hacerse en todo el perímetro con una misión estancadora, incluso si no es *necesaria una longitud* total como ésta por razones de resistencia.
- Se deben elegir las posiciones de parada / comienzo en soldaduras de una pasada de tal forma que se evite el paso por estas posiciones en una soldadura posterior. Sin embargo, pueden ser necesarias posiciones de parada / comienzo intermedias, en las que la geometría de los nudos, es decir, los nudos recubiertos y reforzados, son tales que no se puede soldar de forma continua .

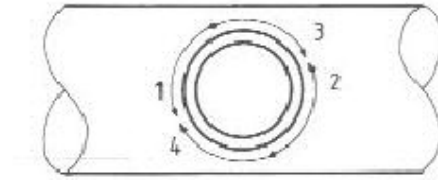


Figura 5.30- Secuencia de soldadura recomendada para nudos de perfiles circulares

5.4 PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA LA FABRICACION Y MONTAJE

5.5.1 Fabricación, planos a gran escala y aprobación

El proceso de fabricación comienza con la preparación de los planos de fabricación basados en los planos trazados por el diseñador. Estos describen cada elemento de la estructura, así como las uniones en detalle. A menudo es aconsejable trazar planos a tamaño natural, por lo menos de las piezas de escala reducida.

Los componentes para construcción, los tipos de acero elegidos para los elementos estructurales y sus dimensiones, así como los métodos de fabricación a los que se tienen que someter, deberían ser comprobados con cuidado con el fin de evitar cualquier discrepancia entre la fabricación y el plano. Las etiquetas de fabricación que contienen las dimensiones de los perfiles tubulares con los espesores de pared son importantes, puesto que *resulta* difícil la comprobación cuando la estructura está en la fase final de fabricación.

5.5.2 .Calificación de los talleres y soldadores

Los talleres de fabricación deben estar adecuadamente equipados para fabricar estructuras de perfiles tubulares. Es posible que haya que adoptar el equipamiento al diseño requerido.

Las personas encargadas de la fabricación deben poseer conocimientos adecuados sobre fabricación de estructuras de *perfiles* tubulares, así como la capacidad técnica y la experiencia necesarias para realizar el trabajo.

Los soldadores deberían obtener de los apropiados examinadores el título de soldadores cualificados de estructuras de perfiles tubulares.

5.5.3 Montaje

La buena elección de un método de montaje se ve afectada en gran medida por la disponibilidad de bastidores o estructuras de montaje en el taller o a pie de obra, las cuales facilitan las operaciones de soldadura y atornillado. Con el fin de conseguir posiciones favorables al soldador, los bastidores permiten la rotación de los montajes parciales de celosías.

En la fabricación del bastidor hay que tener en cuenta las contracciones de la soldadura y considerar las deformaciones por distorsión para garantizar la precisión del tamaño y la forma correcta de los productos.

El bastidor también se puede colocar fijo en una mesa plana, la cual suele constar de un armazón hecho con perfiles de acero dispuestos en posición horizontal y fijados con hormigón y cubiertos con una chapa de acero. El montaje se hace montando encima de la mesa los elementos a fijar.

Para las celosías de perfiles tubulares, es fundamental de antemano el orden y la secuencia del montaje, en especial para nudos en los que intersectan más de dos barras de relleno, en los cuales hay que tener un cuidado especial con respecto al método de montaje. Se pueden aplicar diversos sistemas de montaje, por ejemplo el armazón con apoyos, *la losa para el marcado y el entramado con rotación*. Los apoyos sujetan las barras de la celosía en las posiciones adecuadas, unas con respecto a las otras.

El equipamiento de un bastidor de rotación tiene como función sujetar las piezas estructurales en las posiciones correctas para soldarlas y permitir la rotación del conjunto de la pieza alrededor de la línea de giro. La aplicación económica de un bastidor depende en gran medida del número de unidades que hay que fabricar, así como del grado de precisión de fabricación necesaria para un proyecto.

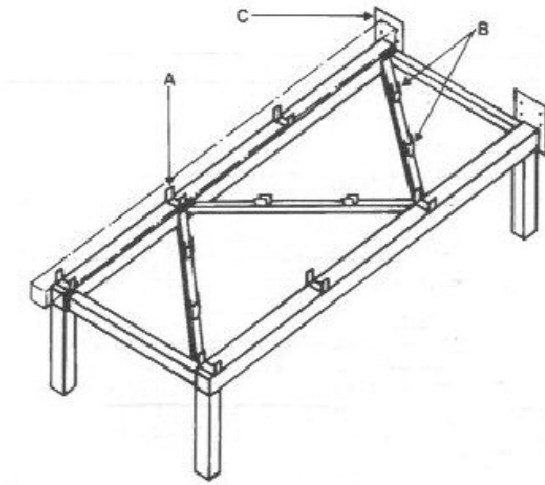


Figura5.31- Estructura de Montaje con apoyos

Las contracciones y las distorsiones provocadas por la soldadura, que evidentemente se originan durante el soldeo, se deberían compensar, preferiblemente, apretando el bastidor, etc.

En el plan de fabricación también hay que considerar los siguientes factores:

- Espacio de trabajo
- Posibilidades de almacenamiento y apilamiento de los elementos estructurales.
- Maquinas herramientas
- Mano de obra especializada.

Existen dos alternativas posibles para fabricar montajes parciales de construcción con perfiles tubulares:

1. Se marcan en el entramado de montaje las posiciones de los diversos componentes estructurales unos con respecto de otros. Es imprescindible hacer las revisiones adecuadas durante esta operación para prevenir errores. A continuación, se montan los componentes y se unen punteando con soldadura sobre la mesa de montaje. Después, se trasladan los montajes parciales a la zona de soldadura, donde finaliza el proceso de soldadura siguiendo una secuencia predeterminada, la cual trae consigo reducidas distorsiones.
2. Se sujetan los montajes parciales estructurales en la posición correcta en el taller de soldadura (posiblemente con tolerancia para distorsiones posteriores) y después se lleva a cabo la soldadura final.

CAPITULO 6

COSTOS Y PRESUPUESTOS

En este capítulo se hace una estimación del costo de la realización de este proyecto, que aunque sea teórico también supone un desembolso de dinero.

6.1 MEDICIONES y CONSIDERACIONES

Se considera que el plazo *de* realización *del* proyecto es *de* 9 meses. Suponiendo que cada mes se trabaja en este tema, con dedicación exclusiva, una media de 6 horas diarias, 5 días a la semana y 4 semanas por mes. En total se tiene *que se* trabajan 1080 horas útiles.

Tampoco se van a tener en cuenta el coste de los elementos de medida y de adquisición de datos que lleva instalados este vehículo por el mismo motivo.

Algo parecido sucede con el escáner y la impresora, ya que se utilizan con asiduidad en el laboratorio por muchas personas. La proporción que se imputaría a este caso resulta despreciable.

Para la realización del ejemplo, se pidió asesoramiento a dos caldererías. Fueron tan amables que no cobraron nada por ello, por lo que tampoco se incluye en el presupuesto.

6.2. CUADRO DE COSTOS UNITARIOS

| | Coste anual US \$ | Horas Optimas | Coste por hora US \$ |
|---|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Servicio del Ingeniero proyectando (no cobrado) | 50400 | 2400 | 21.00 |
| Dirección proyecto (no cobrado) | | 2400 | 50.00 |
| Alquiler de puesto de oficina | 3600 | 2400 | 1.50 |
| PC Core Duo 3Ghz RAM | 830 | 2400 | 0.35 |
| Licencia COSMOS Works DesignSTAR | 1000 | 2400 | 0.42 |
| Mantenimiento COSMOS WORKS DesignSTAR | 30 | 2400 | 0.012 |
| Licencia Office 2007 educacional | 100 | 2400 | 0.042 |
| Licencia Antivirus | 121 | 2400 | 0.05 |

6.3. COSTO DEL PROYECTO DEL MODELAMIENTO

Tabla 18 : Listado de precios

| | Horas empleadas | Costo US \$ |
|---|----------------------------|------------------------|
| Dirección proyecto (no cobrado) | 30 | 1500.00 |
| Alquiler de puesto de oficina | 1080 | 1620.00 |
| PC Core Duo 3Ghz RAM | 950 | 332.50 |
| Licencia COSMOS Works DesignSTAR | 280 | 117.60 |
| Mantenimiento COSMOS WORKS DesignSTAR | | 30.00 |
| Licencia Office 2007 educacional | 1080 | 45.36 |
| Licencia Antivirus | 1080 | 54.00 |
| | | 3699.46 |
| GASTOS GENERADOS | | |
| Servicio del Ingeniero proyectando (no cobrado) | 1080 | 22680 |
| | | |
| TOTAL | | 26379.46 |

CONCLUSIONES

- Se estableció un método de cálculo y de análisis para lo cual se utilizó una herramienta computacional, optándose por el SolidWorks que incluye el CosmosWorks como herramienta complemento para análisis por elementos finitos y analizar el chasis tubular.
- Se diseñó una estructura liviana y económica la cual soportó sin problemas las hipótesis de carga planteadas (análisis estático lineal, frenada brusca, arranque brusco y rigidez torsional), con aplicación de materiales de alta resistencia y baja aleación HSLA (ASTM 500).
- Es económicamente factible aplicar este tipo de análisis computarizado a cualquier caso estructural, ya que disminuye el tiempo de diseño y pruebas en prototipos.
- Siguiendo el método de cálculo tradicional de la funcionalidad de la estructura (por comparación de elementos críticos) se sigue un procedimiento tedioso y no automatizable de cálculo, mientras que por el método de elementos finitos computarizado mostramos el resultado integral del modelo con sus valores de esfuerzos y deformaciones en forma rápida y didáctica.
- En cada simulación con cargas aplicadas a la estructura, fácilmente se logró obtener factores de seguridad por encima de 1.5, permitiéndonos optimizar el uso de material y evitar sobredimensionar el chasis.

RECOMENDACIONES

- En el modelamiento es muy importante y necesario tener cuidado al realizar todas las restricciones de movimiento, para considerar adecuadamente los grados de libertad del modelo, evitándose la creación de matrices no solucionables.
- Se recomienda, utilizar la herramienta miembro estructural para el modelado de la estructura, que nos permitirá optimizar el límite de ejecución.
- Se recomienda tener especial cuidado en el dimensionamiento de los miembros sometidos a compresión para así evitar su inestabilidad.
- Para obtener resultados de estabilidad se debería realizar ensayos que simulen el efecto de curvas bruscas teniendo en cuenta el peralte de la vía.
- Resultaría óptimo analizar escenarios de impactos, sin embargo esto sugiere un estudio aparte.
- Para este modelo se tomó elementos finitos del tipo viga, lo cual nos brinda resultados mucho más aproximados, frente a los elementos del tipo tetraédrico.

BIBLIOGRAFIA

Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones, Richard A flinn / Pauñl K. Troyan –
Editorial McGraw_Hill Latinoamericana S.A.

Ciencia y e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland / Pradeep P. Phule –
Editorial Thompson.

Procesos de Manufactura y Materiales para Ingenieros, Doyle Lawrence –
Editorial Diana 1988

Materiales y Procesos de Fabricación, De Garmo Paul –
Editorial Reverte 1975

Fundamentals of vehicle dynamics, Thomas D. Gillespie –Publicado por Societiy of
Automotive Engineer, Inc

Finite Element Modeling for stress analysis, Robert D. Cook – John Wiley & Lons,
Inc.

Guía de Diseño para nudos de perfiles tubulares bajo carga predominantemente
estáticos, J. Warnier y Kurubane.

Mecanica de Materiales, R.C. Hibbeler, 3ra Edicion

Introducción al estudio del Elemento Finito en Ingeniería, Tirupathi R. Chandrupatla
/ Ashok D. Belegundi, Editorial Pearson

Manual of Steel Construction, American Institute of steel Costruction, Inc - Third
Edition 2005

Guia del Usuario, COSMOS/WORKS

APENDICE



Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes¹

This standard is issued under the fixed designation A 500; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers cold-formed welded and seamless carbon steel round, square, rectangular, or special shape structural tubing for welded, riveted, or bolted construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 This tubing is produced in both welded and seamless sizes with a maximum periphery of 64 in. (1626 mm) and a maximum wall of 0.625 in. (15.88 mm). Grade D requires heat treatment.

NOTE 1—Products manufactured to this specification may not be suitable for those applications such as dynamically loaded elements in welded structures, etc., where low-temperature notch-toughness properties may be important.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions of the values in inch-pound units to values in SI units.

1.4 The text of this specification contains notes and footnotes that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products²

A 700 Practices for Packaging, Marking, and Loading Methods for Steel Products for Domestic Shipment³

A 751 Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products²

A 941 Terminology Relating to Steel, Stainless Steel, Related Alloys, and Ferroalloys⁴

2.2 Military Standards:

MIL-STD-129 Marking for Shipment and Storage⁵

MIL-STD-163 Steel Mill Products, Preparation for Shipment and Storage⁵

2.3 Federal Standards:

Fed. Std. No. 123 Marking for Shipment⁵

Fed. Std. No. 183 Continuous Identification Marking of Iron and Steel Products⁵

2.4 AIAG Standard:

B-1 Bar Code Symbology Standard⁶

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this specification, refer to Terminology A 941.

4. Ordering Information

4.1 Orders for material under this specification shall contain information concerning as many of the following items as are required to describe the desired material adequately:

4.1.1 Quantity (feet or number of lengths),

4.1.2 Name of material (cold-formed tubing),

4.1.3 Method of manufacture (seamless or welded),

4.1.4 Grade (A, B, C, or D),

4.1.5 Size (outside diameter and nominal wall thickness for round tubing and the outside dimensions and nominal wall thickness for square and rectangular tubing),

4.1.6 Length (random, multiple, specific; see 11.3),

4.1.7 End condition (see 16.3),

4.1.8 Burr removal (see 16.3),

4.1.9 Certification (see Section 18),

4.1.10 ASTM specification designation and year of issue,

4.1.11 End use,

4.1.12 Special requirements, and

4.1.13 Bar coding (see 19.3).

5. Process

5.1 The steel shall be made by one or more of the following processes: open-hearth, basic-oxygen, or electric-furnace.

5.2 When steels of different grades are sequentially strand cast, the steel producer shall identify the resultant transition

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.09 on Carbon Steel Tubular Products.

Current edition approved Mar. 10, 2001. Published May 2001. Originally published as A 500 – 64. Last previous edition A 500 – 99.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

⁵ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

⁶ Available from Automotive Industry Action Group, 26200 Lahser Road, Suite 200, Southfield, MI 48034.

material and remove it using an established procedure that positively separates the grades.

6. Manufacture

6.1 The tubing shall be made by a seamless or welding process.

6.2 Welded tubing shall be made from flat-rolled steel by the electric-resistance-welding process. The longitudinal butt joint of welded tubing shall be welded across its thickness in such a manner that the structural design strength of the tubing section is assured.

NOTE 2—Welded tubing is normally furnished without removal of the inside flash.

6.3 Except as required by 6.4, it shall be permissible for the tubing to be stress relieved or annealed.

6.4 Grade D tubing shall be heat treated at a temperature of at least 1100 °F (590 °C) for one hour per inch (25.4 mm) of thickness.

7. Heat Analysis

7.1 Each heat analysis shall conform to the requirements specified in Table 1 for heat analysis.

8. Product Analysis

8.1 The tubing shall be capable of conforming to the requirements specified in Table 1 for product analysis.

8.2 If product analyses are made, they shall be made using test specimens taken from two lengths of tubing from each lot of 500 lengths, or fraction thereof, or two pieces of flat-rolled stock from each lot of a corresponding quantity of flat-rolled stock. Methods and practices relating to chemical analysis shall be in accordance with Test Methods, Practices, and Terminology A 751. Such product analyses shall conform to the requirements specified in Table 1 for product analysis.

8.3 If both product analyses representing a lot fail to conform to the specified requirements, the lot shall be rejected.

8.4 If only one product analysis representing a lot fails to conform to the specified requirements, product analyses shall be made using two additional test specimens taken from the lot. Both additional product analyses shall conform to the specified requirements or the lot shall be rejected.

9. Tensile Requirements

9.1 The material, as represented by the test specimen, shall conform to the requirements as to tensile properties prescribed in Table 2.

TABLE 2 Tensile Requirements

| Round Structural Tubing | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Grade A | Grade B | Grade C | Grade D |
| Tensile strength, min, psi (MPa) | 45 000 (310) | 58 000 (400) | 62 000 (427) | 58 000 (400) |
| Yield strength, min, psi (MPa) | 33 000 (228) | 42 000 (290) | 46 000 (317) | 36 000 (250) |
| Elongation in 2 in. (50.8 mm), min, % ^D | 25 ^A | 23 ^B | 21 ^C | 23 ^B |
| Shaped Structural Tubing | | | | |
| | Grade A | Grade B | Grade C | Grade D |
| Tensile strength, min, psi (MPa) | 45 000 (310) | 58 000 (400) | 62 000 (427) | 58 000 (400) |
| Yield strength, min, psi (MPa) | 39 000 (269) | 46 000 (317) | 50 000 (345) | 36 000 (250) |
| Elongation in 2 in. (50.8 mm), min, % ^D | 25 ^A | 23 ^B | 21 ^C | 23 ^B |

^A Applies to specified wall thicknesses (*t*) equal to or greater than 0.120 in. (3.05 mm). For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be calculated by the formula: percent elongation in 2 in. (50.8 mm) = 56*t* + 17.5, rounded to the nearest percent.

^B Applies to specified wall thicknesses (*t*) equal to or greater than 0.180 in. (4.57 mm). For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be calculated by the formula: percent elongation in 2 in. (50.8 mm) = 61*t* + 12, rounded to the nearest percent.

^C Applies to specified wall thicknesses (*t*) equal to or greater than 0.120 in. (3.05 mm). For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be by agreement with the manufacturer.

^D The minimum elongation values specified apply only to tests performed prior to shipment of the tubing.

10. Flattening Test

10.1 The flattening test shall be made on round structural tubing. A flattening test is not required for shaped structural tubing.

10.2 For welded round structural tubing, a specimen at least 4 in. (102 mm) in length shall be flattened cold between parallel plates in three steps, with the weld located at 90° from the line of direction of force. During the first step, which is a test for ductility of the weld, no cracks or breaks on the inside or outside surfaces shall occur until the distance between the plates is less than two thirds of the original outside diameter of the tubing. As a second step, the flattening shall be continued. During the second step, which is a test for ductility exclusive of the weld, no cracks or breaks on the inside or outside surfaces, except as provided for in 10.5, shall occur until the distance between the plates is less than one half of the original outside diameter of the tubing but is not less than five times the wall thickness of the tubing. During the third step, which is a test for soundness, the flattening shall be continued until the specimen breaks or the opposite walls of the tubing meet. Evidence of laminated or unsound material or of incomplete weld that is revealed during the entire flattening test shall be cause for rejection.

10.3 For seamless round structural tubing 2 3/8 in. (60.3 mm) outside diameter and larger, a section not less than 2 1/2 in. (63.5 mm) in length shall be flattened cold between parallel plates in two steps. During the first step, which is a test for ductility no cracks or breaks on the inside or outside surfaces, except as provided for in 10.5, shall occur until the distance between the plates is less than the value of “H” calculated by the following equation:

$$H = (1 + e)t / (e + t / D) \tag{1}$$

TABLE 1 Chemical Requirements^A

| Element | Composition, % | | | |
|---|--------------------|------------------|---------------|------------------|
| | Grades A, B, and D | | Grade C | |
| | Heat Analysis | Product Analysis | Heat Analysis | Product Analysis |
| Carbon, max | 0.26 | 0.30 | 0.23 | 0.27 |
| Manganese, max | ... | ... | 1.35 | 1.40 |
| Phosphorus, max | 0.035 | 0.045 | 0.035 | 0.045 |
| Sulfur, max | 0.035 | 0.045 | 0.035 | 0.045 |
| Copper, when copper steel is specified, min | 0.20 | 0.18 | 0.20 | 0.18 |

^A Where an ellipsis (...) appears in this table, there is no requirement.

where:

- H = distance between flattening plates, in.,
- e = deformation per unit length (constant for a given grade of steel, 0.09 for Grade A, 0.07 for Grade B, and 0.06 for Grade C),
- t = specified wall thickness of tubing, in., and
- D = actual outside diameter of tubing, in.

During the second step, which is a test for soundness, the flattening shall be continued until the specimen breaks or the opposite walls of the tubing meet. Evidence of laminated or unsound material that is revealed during the entire flattening test shall be cause for rejection.

10.4 Surface imperfections not found in the test specimen before flattening, but revealed during the first step of the flattening test, shall be judged in accordance with Section 15.

10.5 When low D -to- t ratio tubulars are tested, because the strain imposed due to geometry is unreasonably high on the inside surface at the 6 and 12 o'clock locations, cracks at these locations shall not be cause for rejection if the D -to- t ratio is less than 10.

11. Permissible Variations in Dimensions

11.1 *Outside Dimensions:*

11.1.1 *Round Structural Tubing*—The outside diameter shall not vary more than $\pm 0.5\%$, rounded to the nearest 0.005 in. (0.13 mm), from the specified outside diameter for specified outside diameters 1.900 in. (48.3 mm) and smaller, and $\pm 0.75\%$, rounded to the nearest 0.005 in., from the specified outside diameter for specified outside diameters 2.00 in. (50.8 mm) and larger. The outside diameter measurements shall be made at positions at least 2 in. (50.8 mm) from the ends of the tubing.

11.1.2 *Square and Rectangular Structural Tubing*—The outside dimensions, measured across the flats at positions at least 2 in. (50.8 mm) from the ends of the tubing, shall not vary from the specified outside dimensions by more than the applicable amount given in Table 3, which includes an allowance for convexity or concavity.

11.2 *Wall Thickness*—The minimum wall thickness at any point of measurement on the tubing shall be not more than 10 % less than the specified wall thickness. The maximum wall

TABLE 3 Permissible Variations in Outside Flat Dimensions for Square and Rectangular Structural Tubing

| Specified Outside Large Flat Dimension, in. (mm) | Permissible Variations Over and Under Specified Outside Flat Dimensions, ^A in. (mm) |
|--|--|
| 2½ (63.5) or under | 0.020 (0.51) |
| Over 2½ to 3½ (63.5 to 88.9), incl | 0.025 (0.64) |
| Over 3½ to 5½ (88.9 to 139.7), incl | 0.030 (0.76) |
| Over 5½ (139.7) | 0.01 times large flat dimension |

^A The permissible variations include allowances for convexity and concavity. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension less than 1.5, and for square tubing, the permissible variations in small flat dimension shall be identical to the permissible variations in large flat dimension. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension in the range of 1.5 to 3.0 inclusive, the permissible variations in small flat dimension shall be 1.5 times the permissible variations in large flat dimension. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension greater than 3.0, the permissible variations in small flat dimension shall be 2.0 times the permissible variations in large flat dimension.

thickness, excluding the weld seam of welded tubing, shall be not more than 10 % greater than the specified wall thickness. For square and rectangular tubing, the wall thickness requirements shall apply only to the centers of the flats.

11.3 *Length*—Structural tubing is normally produced in random lengths 5 ft (1.5 m) and over, in multiple lengths, and in specific lengths. Refer to Section 4. When specific lengths are ordered, the length tolerance shall be in accordance with Table 4.

11.4 *Straightness*—The permissible variation for straightness of structural tubing shall be 1/8 in. times the number of feet (10.4 mm times the number of metres) of total length divided by 5.

11.5 *Squareness of Sides*—For square or rectangular structural tubing, adjacent sides shall be square (90°), with a permissible variation of $\pm 2^\circ$ max.

11.6 *Radius of Corners*—For square and rectangular structural tubing, the radius of each outside corner of the section shall not exceed three times the nominal wall thicknesses specified.

11.7 *Twist*—For square and rectangular structural tubing, the permissible variations in twist shall be as given in Table 5. Twist shall be determined by holding one end of the tubing down on a flat surface plate, measuring the height that each corner on the bottom side of the tubing extends above the surface plate near the opposite ends of the tubing, and calculating the twist (the difference in heights of such corners), except that for heavier sections it shall be permissible to use a suitable measuring device to determine twist. Twist measurements shall not be taken within 2 in. (50.8 mm) of the ends of the tubing.

12. Special Shape Structural Tubing

12.1 The availability, dimensions, and tolerances of special shape structural tubing shall be subject to inquiry and negotiation with the manufacturer.

13. Number of Tests

13.1 One tension test as specified in Section 15 shall be made from a length of tubing representing each lot.

13.2 The flattening test, as specified in Section 10, shall be made on one length of round tubing from each lot.

13.3 The term “lot” shall apply to all tubes of the same specified size that are produced from the same heat of steel.

14. Retests

14.1 If the results of the mechanical tests representing any lot fail to conform to the applicable requirements specified in Sections 9 and 10, the lot shall be rejected or retested using

TABLE 4 Length Tolerances for Specific Lengths of Structural Tubing

| | 22 ft (6.7 m) and Under | | Over 22 to 44 ft (6.7 to 13.4 m), incl | |
|---|-------------------------|---------|--|---------|
| | Over | Under | Over | Under |
| Length tolerance for specific lengths, in. (mm) | ½ (12.7) | ¼ (6.4) | ¾ (19.0) | ¼ (6.4) |

TABLE 5 Permissible Variations in Twist for Square and Rectangular Structural Tubing

| Specified Outside Large Flat Dimension, in. (mm) | Maximum Permissible Variations in Twist per 3 ft of Length (Twist per Metre of Length) | |
|--|--|-------|
| | in. | mm |
| | 1½ (38.1) and under | 0.050 |
| Over 1½ to 2½ (38.1 to 63.5), incl | 0.062 | 1.72 |
| Over 2½ to 4 (63.5 to 101.6), incl | 0.075 | 2.09 |
| Over 4 to 6 (101.6 to 152.4), incl | 0.087 | 2.42 |
| Over 6 to 8 (152.4 to 203.2), incl | 0.100 | 2.78 |
| Over 8 (203.2) | 0.112 | 3.11 |

additional tubing of double the original number from the lot. The lot shall be acceptable if the results of all such retests representing the lot conform to the specified requirements.

14.2 If one or both of the retests specified in 14.1 fail to conform to the applicable requirements specified in Sections 9 and 10, the lot shall be rejected or, subsequent to the manufacturer heat treating, reworking, or otherwise eliminating the condition responsible for the failure, the lot shall be treated as a new lot and tested accordingly.

15. Test Methods

15.1 Tension test specimens shall conform to the applicable requirements of Test Methods and Definitions A 370, Annex A2.

15.2 Tension test specimens shall be full-size longitudinal test specimens or longitudinal strip test specimens. For welded tubing, any longitudinal strip test specimens shall be taken from a location at least 90° from the weld and shall be prepared without flattening in the gage length. Longitudinal strip test specimens shall have all burrs removed. Tension test specimens shall not contain surface imperfections that would interfere with proper determination of the tensile properties.

15.3 The yield strength corresponding to an offset of 0.2 % of the gage length or to a total extension under load of 0.5 % of the gage length shall be determined.

16. Inspection

16.1 All tubing shall be inspected at the place of manufacture to ensure conformance to the requirements of this specification.

16.2 All tubing shall be free from defects and shall have a workmanlike finish.

16.2.1 Surface imperfections shall be classed as defects when their depth reduces the remaining wall thickness to less than 90 % of the specified wall thickness. It shall be permissible for defects having a depth not in excess of 33⅓ % of the specified wall thickness to be repaired by welding, subject to the following conditions:

16.2.1.1 The defect shall be completely removed by chipping or grinding to sound metal,

16.2.1.2 The repair weld shall be made using a low-hydrogen welding process, and

16.2.1.3 The projecting weld metal shall be removed to produce a workmanlike finish.

16.2.2 Surface imperfections such as handling marks, light die or roll marks, or shallow pits are not considered defects

providing the imperfections are removable within the minimum wall permitted. The removal of such surface imperfections is not required. Welded tubing shall be free of protruding metal on the outside surface of the weld seam.

16.3 Unless otherwise specified in the purchase order, structural tubing shall be furnished with square cut ends, with the burr held to a minimum. When so specified in the purchase order, the burr shall be removed on the outside diameter, inside diameter, or both.

17. Rejection

17.1 It shall be permissible for the purchaser to inspect tubing received from the manufacturer and reject any tubing that does not meet the requirements of this specification, based upon the inspection and test methods outlined herein. The purchaser shall notify the manufacturer of any tubing that has been rejected, and the disposition of such tubing shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

17.2 It shall be permissible for the purchaser to set aside any tubing that is found in fabrication or installation within the scope of this specification to be unsuitable for the intended end use, based on the requirements of this specification. The purchaser shall notify the manufacturer of any tubing that has been set aside. Such tubing shall be subject to mutual investigation as to the nature and severity of the deficiency and the forming or installation, or both, conditions involved. The disposition of such tubing shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

18. Certification

18.1 When specified in the purchase order or contract, the manufacturer shall furnish to the purchaser a certificate of compliance stating that the product was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with this specification and any other requirements designated in the purchase order or contract, and was found to meet all such requirements. Certificates of compliance shall include the specification number and year of issue.

18.2 When specified in the purchase order or contract, the manufacturer shall furnish to the purchaser test reports for the product shipped that contain the heat analyses and the results of the tension tests required by this specification and the purchase order or contract. Test reports shall include the specification number and year of issue.

18.3 A signature or notarization is not required on certificates of compliance or test reports; however, the documents shall clearly identify the organization submitting them. Notwithstanding the absence of a signature, the organization submitting the document is responsible for its content.

18.4 A certificate of compliance or test report printed from, or used in electronic form from, an electronic data interchange (EDI) shall be regarded as having the same validity as a counterpart printed in the certifying organization's facility. The content of the EDI transmitted document shall conform to any existing EDI agreement between the purchaser and the manufacturer.

19. Product Marking

19.1 Except as noted in 19.2, each length of structural

tubing shall be legibly marked to show the following information: manufacturer's name, brand, or trademark; the specification designation (year of issue not required); and grade letter.

19.2 For structural tubing having a specified outside diameter or large flat dimension of 4 in. (101.6 mm) or less, it shall be permissible for the information listed in 19.1 to be marked on a tag securely attached to each bundle.

19.3 *Bar Coding*—In addition to the requirements in 19.1 and 19.2, the manufacturer shall have the option of using bar coding as a supplementary identification method. When a specific bar coding system is specified in the purchase order, that system shall be used.

NOTE 3—In the absence of another bar coding system being specified in the purchase order, it is recommended that bar coding be consistent with AIAG Standard B-1.

20. Packing, Marking, and Loading

20.1 When specified in the purchase order, packaging, marking, and loading shall be in accordance with Practices A 700.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

21. Government Procurement

21.1 When specified in the contract, material shall be preserved, packaged and packed in accordance with the requirements of MIL-STD 163, with applicable levels being specified in the contract. Marking for shipment of such materials shall be in accordance with Federal Std. No. 123 for civil agencies and MIL-STD 129 or Federal Std. No. 183 if continuous marking is required.

21.2 *Inspection*—Unless otherwise specified in the contract, the manufacturer shall be responsible for the performance of all applicable inspection and test requirements specified herein. Except as otherwise specified in the contract, the manufacturer shall use its own or any other suitable facilities for the performance of such inspections and tests.

EN 10 210

EN 10 219

| Designación según EN 10 027-1 y IC 10 | | Limite Elástico R _{eH} | | | | Resiliencia Temperatura de ensayo °C | Promedio mínimo J | Limite Elástico R _{eH} | | | Resiliencia Temperatura de ensayo °C | Promedio mínimo J |
|--|--------|---------------------------------|-----------|-----------|------|---|-------------------------|---------------------------------|-----|----|---|-------------------------|
| | | mínimo N/mm ² | | | | | | mínimo N/mm ² | | | | |
| | | espesores nominales en mm | | | | | | espesores nominales, mm | | | | |
| EN 10 027-2 | | ≤ 16 | > 16 ≤ 40 | > 40 ≤ 65 | ≤ 16 | > 16 ≤ 40 | | | | | | |
| S235JRH | 1.0039 | 235 | 225 | 215 | 20 | 27 | 235 | 225 | 20 | 27 | | |
| S275J0H | 1.0149 | 275 | 265 | 255 | 0 | 27 | 275 | 265 | 0 | 27 | | |
| S275J2H | 1.0138 | 275 | 265 | 255 | -20 | 27 | 275 | 265 | -20 | 27 | | |
| S355J0H | 1.0547 | 355 | 345 | 335 | 0 | 27 | 355 | 345 | 0 | 27 | | |
| S355J2H | 1.0578 | 355 | 345 | 335 | -20 | 27 | 355 | 345 | -20 | 27 | | |
| S275MH | 1.8843 | | | | | | 275 | 265 | -20 | 40 | | |
| S275MLH | 1.8844 | | | | | | 275 | 265 | -50 | 27 | | |
| S355MH | 1.8845 | | | | | | 355 | 345 | -20 | 40 | | |
| S355MLH | 1.8846 | | | | | | 355 | 345 | -50 | 27 | | |
| S420MH | 1.8847 | | | | | | 420 | 400 | -20 | 40 | | |
| S420MLH | 1.8848 | | | | | | 420 | 400 | -50 | 27 | | |
| S460MH | 1.8849 | | | | | | 460 | 440 | -20 | 40 | | |
| S460MLH | 1.8850 | | | | | | 460 | 440 | -50 | 27 | | |
| S275NH | 1.0493 | 275 | 265 | 255 | -20 | 40 | 275 | 265 | -20 | 40 | | |
| S275NLH | 1.0497 | 275 | 265 | 255 | -50 | 27 | 275 | 265 | -50 | 27 | | |
| S355NH | 1.0539 | 355 | 345 | 335 | -20 | 40 | 355 | 345 | -20 | 40 | | |
| S355NLH | 1.0549 | 355 | 345 | 335 | -50 | 27 | 355 | 345 | -50 | 27 | | |
| S460NH | 1.8953 | 460 | 440 | 430 | -20 | 40 | 460 | 440 | -20 | 40 | | |
| S460NLH | 1.8956 | 460 | 440 | 430 | -50 | 27 | 460 | 440 | -50 | 27 | | |

EN 10 210 : TUBOS REDONDOS, CUADRADOS Y RECTANGULARES, DE ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO, ACABADOS EN CALIENTE

EN 10 219 : TUBOS REDONDOS, CUADRADOS Y RECTANGULARES, DE ACEROS NO ALEADOS Y DE GRANO FINO, CONFORMADOS EN FRÍO

S235JRH : S (Acero para estructuras), 235 (Grado = Limite Elástico mínimo en N/mm² para espesores ≤ 16 mm), JR (Calidad), H (Hollow section = Sección hueca)

M : Acero de grano fino. Indica, además, que el material (la bobina) utilizado en la conformación de los tubos ha sido obtenido por Laminación Termomecánica, para mejorar las características mecánicas, especialmente, su resistencia a la fatiga y a los choques a bajas temperaturas

N : Acero de grano fino. Indica, además, que el material (la bobina) utilizado en la conformación de los tubos ha sido obtenido por Laminación a temperatura de Normalizado o Laminado y posteriormente Normalizado

L : Valor mínimo de Resiliencia a una temperatura de - 50°C

CORRESPONDENCIA

| EN 10 027 | | DIN | |
|-----------|----------|----------|------------|
| Simbólica | Númerica | Númerica | Simbólica |
| S275NH | 1.0493 | 1.0486 | StE 285 N |
| S275NLH | 1.0497 | 1.0488 | TSiE 285 N |
| S355NH | 1.0539 | 1.0562 | StE 355 N |
| S355NLH | 1.0549 | 1.0566 | TSiE 355 N |
| S460NH | 1.8953 | 1.8905 | StE 460 N |
| S460NLH | 1.8956 | 1.8915 | TSiE 460 N |

DESIGNACIONES EN - DIN - UNE

| EN 10 027 | | DIN | UNE | | | | | | |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Simbólica | Númerica | | 36080 1990 | 36080 1985 | 36080-4 1979 | 36080-2 1978 | 36080-1 1978 | 36080 1973 | 36080 1964 |
| S185 | 1.0035 | St 33 | Fe 310-0 | A 310-0 | - | - | A 310-0 | A 33-0 | A 33-0 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | A 34-b |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | A 34-c |
| - | - | - | - | - | - | - | - | A 37 a | A 37 a |
| S235JR | 1.0037 | St 37-2 | Fe 360 B | AE 235 B | - | A 330 B | A 360-B | A 37 b | A 37 b |
| S235JRG1 | 1.0036 | USt 37-2 | Fe 360 B FU | AE 235 B FU | - | - | - | - | - |
| S235JRG2 | 1.0038 | RSt 37-2 | Fe 360 B FN | AE 235 B FN | - | - | - | - | - |
| S235J0 | 1.0114 | St 37-3 U | Fe 360 C | AE 235 C | - | - | A 360-C | A 37 c | A 37 c |
| S235J2G3 | 1.0116 | St 37-3 N | Fe 360 D1 | AE 235 D | - | A 330 D | A 360-D | A 37 d | A 37 d |
| S235J2G4 | 1.0117 | - | Fe 360 D2 | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | A 42 a | A 42 a |
| - | - | - | - | - | - | - | A 410-B | A 42 b | A 42 b |
| - | - | - | - | - | - | - | A 410 C | A 42 c | A 42 c |
| - | - | - | - | - | - | - | A 410 D | A 42 d | A 42 d |
| - | - | - | - | - | - | - | - | A 44 a | - |
| S275JR | 1.0044 | St 44-2 | Fe 430 B | AE 275 B | - | A 370-B | A 430-B | A 44 b | - |
| S275J0 | 1.0143 | St 44-3 U | Fe 430 C | AE 275 C | - | - | A 430-C | A 44 c | - |
| S275J2G3 | 1.0144 | St 44-3 N | Fe 430 D1 | AE 275 D | - | A 370-D | A 430-D | A 44 d | - |
| S275J2G4 | 1.0145 | - | Fe 430 D2 | - | - | - | - | - | - |
| S355JR | 1.0045 | - | Fe 510 B | AE 355 B | - | A 450 B | A 510-B | A 52 b | - |
| S355J0 | 1.0553 | St 52-3 U | Fe 510 C | AE 355 C | - | - | A 510-C | A 52 c | - |
| S355J2G3 | 1.0570 | St 52-3 N | Fe 510 D1 | AE 355 D | - | A 450 D | A 510-D | A 52 d | A 52 d |
| S355J2G4 | 1.0577 | - | Fe 510 D2 | - | - | - | - | - | - |
| S355K2G3 | 1.0595 | - | Fe 510 DD1 | AE 355 DD | - | - | - | - | - |
| S355K2G4 | 1.0596 | - | Fe 510 DD2 | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | A 50-1 |
| E 295 | 1.0050 | St 50-2 | Fe 490-2 | A 490-2 | A 490 | - | - | A 50-2 | A 50-2 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | A 60-1 |
| E 335 | 1.0060 | St 60-2 | Fe 590-2 | A 590-2 | A 590 | - | - | A 60-2 | A 60-2 |
| E 360 | 1.0070 | St 70-2 | Fe 690-2 | A 690-2 | A 690 | - | - | A 70-2 | A 70-2 |

CORRESPONDENCIA ENTRE DESIGNACIONES DE CALIDADES

| Designación según | | Resiliencia Temperatura de ensayo °C | CORRESPONDENCIA ENTRE DESIGNACIONES DE CALIDADES | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|---|--|-----------------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------------------|-----------|-------------------|
| EN 10 027-1 y ECISSE IC 10 | EN 10 027-2 | | Alemania DIN | Austria ONORM | Bélgica NBN | España UNE | Francia AFNOR | Italia UNI | Portugal NP | Reino Unido B.S. | Suecia SS | USA AISI/SAE/ASTM |
| S185 | 1 0035 | - | St 33 | St 320 | A 320 | Fe 310-0 | A 33 | Fe 320 | Fe 310-0 | | 1300 | A 283 Gr. A |
| S235JR | 1 0037 | + 20 | St 37-2 | | AE 235-B | Fe 360 B | E 24-2 | Fe 360 B | Fe 360 B | | 1311 | A 283 Gr. C |
| S235JRG1 | 1 0036 | + 20 | USt 37-2 | USt 360 B | | Fe 360 B FU | | Fe 360 B FU | | | | A 570 Gr. 33 |
| S235JRG2 | 1 0038 | + 20 | RSt 37-2 | RSt 360 B | | Fe 360 B FN | E 24-2 NE | Fe 360 B FN | | 40 B | 1312 | A 570 Gr. 36 |
| S235J0 | 1 0114 | 0 | St 37-3 U | St 360 C St 360 CE | AE 235 C | Fe 360 C | E 24-3 | Fe 360 C | Fe 360 C | 40 C | | |
| S235J2G3 | 1 0116 | -20 | St 37-3 N | St 360 D | AE 235-D | Fe 360 D1 | E 24-4 | Fe 360 D | Fe 360 D | 40 D | 1313 | A 284 Gr. D |
| S235J2G4 | 1 0117 | -20 | - | | | Fe 360 D2 | | | | | | |
| S275JR | 1 0044 | + 20 | St 44-2 | St 430 B | AE 255-B | Fe 430 B | E 28-2 | Fe 430 B | Fe 430 B | 43 B | 1412 | A 570 Gr. 40 |
| S275J0 | 1 0143 | 0 | St 44-3 U | St 430 C St 430 CE | AE 255-C | Fe 430 C | E 28-3 | Fe 430 C | Fe 430 C | 43 C | | A 572 Gr. 42 |
| S275J2G3 | 1 0144 | -20 | St 44-3 N | St 430 D | AE 255-D | Fe 430 D1 | E 28-4 | Fe 430 D | Fe 430 D | 43 D | 1414-00 | A 611 Gr. D |
| S275J2G4 | 1 0145 | -20 | - | | | Fe 430 D2 | | | | | 1414-01 | |
| S355JR | 1 0045 | + 20 | - | | AE 355-B | Fe 510 B | E 36-2 | Fe 510 B | Fe 510 B | 50 B | | |
| S355J0 | 1 0553 | 0 | St 52-3 U | St 510 C | AE 355-C | Fe 510 C | E 36-3 | Fe 510 C | Fe 510 C | 50 C | | A 572 Gr. 50 |
| S355J2G3 | 1 0570 | -20 | St 52-3 N | St 510 D | AE 355-D | Fe 510 D1 | | Fe 510 D | Fe 510 D | 50 D | | A 572 Gr. 50 |
| S355J2G4 | 1 0577 | -20 | - | | | Fe 510 D2 | | | | | | A 738 |
| S355K2G3 | 1 0595 | -20 | - | | AE 355-DD | Fe 510 DD1 | E 36-4 | | Fe 510 DD | 50 DD | | |
| S355K2G4 | 1 0596 | -20 | - | | | Fe 510 DD2 | | | | | | |
| E285 | 1 0050 | - | St 50-2 | St 490 | A 490-2 | Fe 490-2 | A 50-2 | Fe 490 | Fe 490-2 | | 1550 | A 570 Gr. 50 |
| E335 | 1 0060 | - | St 60-2 | St 590 | A 590-2 | Fe 590-2 | A 60-2 | Fe 590 | Fe 590-2 | | 1650 | A 572 Gr. 65 |
| E360 | 1 0070 | - | St 70-2 | St 690 | A 690-2 | Fe 690-2 | A 70-2 | Fe 690 | Fe 690-2 | | 1650 | |

EN 10 025 : Norma de Condiciones Técnicas de Suministro de Productos Largos y Productos Planos , no aleados, laminados en caliente
Las Calidades son las recogidas en EN 10 027. Las Calidades apropiadas para ser conformadas en frío se designan de la misma manera seguidas de una C

| Ejemplo | Laminadas en caliente | | | Apropiadas para conform. en frío | | |
|---------|-----------------------|---------|-----------------|----------------------------------|---------|-----------------|
| | Grado | Calidad | Nº del Material | Grado | Calidad | Nº del Material |
| | S355 | JR | 1 0045 | S355 | JRC | 1 0551 |
| | | J0 | 1 0553 | | J0C | 1 0554 |
| | | J2G3 | 1 0570 | | J2G3C | 1 0569 |
| | | J2G4 | 1 0577 | | J2G4C | 1 0579 |
| | | K2G3 | 1 0595 | | K2G3C | 1 0593 |
| | | K2G4 | 1 0596 | | K2G4C | 1 0594 |

RESILIENCIA

| Promedio mínimo en Julios | | | Temperat. °C |
|---------------------------|------|------|--------------|
| 27 J | 40 J | 60 J | |
| JR | KR | LR | + 20 |
| J0 | K0 | L0 | 0 |
| J2 | K2 | L2 | - 20 |
| J3 | K3 | L3 | - 30 |
| J4 | K4 | L4 | - 40 |
| J5 | K5 | L5 | - 50 |
| J6 | K6 | L6 | - 60 |

TUBO SIN SOLDADURA
Espesores complementarios (mm)

| DIN - ISO | | DIN 2440 | | DIN 2441 | | DIN 2448 | | Espesores complementarios (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|----------------|------|----------------|--------|----------------|--------|--------------------------------|------|---------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| D. NOMINAL | D.E. | e TEORICO kg/m | | e TEORICO kg/m | | e TEORICO kg/m | | 17.5 | 18 | 20 | 22.2 | 25 | 28 | 30 | 32 | 36 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| mm | Pulg. | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 6 | 1/8" | 10.2 | 2.00 | 0.404 | Galv. | 2.65 | 0.493 | Galv. | 1.8 | 0.339 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1/4" | 13.5 | 2.35 | 0.646 | | 2.90 | 0.758 | | 1.8 | 0.519 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3/8" | 17.2 | 2.35 | 0.861 | | 2.90 | 1.023 | | 1.8 | 0.684 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1/2" | 21.3 | 2.65 | 1.219 | 1.336 | 3.25 | 1.447 | 1.573 | 2.0 | 0.952 | 1.077 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 3/4" | 26.8 | 2.65 | 1.585 | 1.728 | 3.25 | 1.895 | 2.052 | 2.3 | 1.385 | 1.558 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 1" | 33.7 | 3.25 | 2.440 | 2.648 | 4.05 | 2.961 | 3.193 | 2.6 | 1.994 | 2.211 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 1 1/4" | 42.4 | 3.25 | 3.138 | 3.391 | 4.05 | 3.830 | 4.105 | 2.6 | 2.542 | 2.821 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 1 1/2" | 48.3 | 3.25 | 3.611 | 3.881 | 4.05 | 4.419 | 4.718 | 2.6 | 2.900 | 3.230 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 2" | 60.3 | 3.65 | 5.099 | 5.457 | 4.50 | 6.192 | 6.564 | 2.9 | 4.145 | 4.513 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 2 1/2" | 76.1 | 3.65 | 6.521 | 6.933 | 4.50 | 7.945 | 8.382 | 2.9 | 5.235 | 5.742 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 3" | 88.9 | 4.05 | 8.474 | 8.962 | 4.85 | 10.052 | 10.605 | 3.2 | 6.793 | 7.355 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | 3 1/2" | 101.6 | | | | | | | 3.6 | 8.700 | 9.417 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 4" | 114.3 | 4.50 | 12.185 | 12.885 | 5.40 | 14.502 | 15.198 | 3.6 | 9.828 | 10.593 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 5" | 133.0 | | | | | | | 4.0 | 12.133 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 6" | 152.4 | | | | | | | 4.5 | 16.412 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 6" | 152.4 | 4.85 | 19.166 | 20.122 | 5.40 | 21.266 | 22.223 | 4.5 | 17.145 | 19.268 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 175 | 7" | 193.7 | | | | | | | 5.6 | 25.976 | 27.300 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 8" | 219.1 | | | | | | | 6.3 | 33.040 | 34.656 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 225 | 9" | 244.5 | | | | | | | 6.3 | 37.006 | 38.770 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 10" | 273.0 | | | | | | | 6.3 | 41.434 | 43.389 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 12" | 323.9 | | | | | | | 7.1 | 55.447 | 58.553 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 350 | 14" | 355.6 | | | | | | | 8.0 | 68.575 | 72.202 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 400 | 16" | 406.4 | | | | | | | 8.8 | 86.282 | 90.830 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 450 | 18" | 457.0 | | | | | | | 10.0 | 110.230 | 116.025 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 20" | 508.0 | | | | | | | 11.0 | 134.816 | 141.412 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 550 | 22" | 559.0 | | | | | | | 12.5 | 168.459 | 176.083 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 600 | 24" | 610.0 | | | | | | | 12.5 | 184.179 | 192.490 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 650 | 26" | 660.0 | | | | | | | 14.2 | 225.141 | 236.370 | | | | | | | | | | | | | | | |

CALIDADES: Límite Elástico N/mm² (mínimo)

DIN 2440 St 33-2 185
 DIN 2441 St 33-2 185
 DIN 2448/1629 St 37-0 235
 St 44-0 275
 St 52-0 355
 DIN 2448/17 121 St 37-2 235
 St 37-3 235
 St 44-2 275
 St 44-3 275
 St 52-3 N 355
 DIN 2448/17 175 St 35-8 I y III 235
 St 45-8 I y III 255
 17 Mn 4 270
 18 Mn 2 310
 15 Mo 3 270
 13 CrMo 4 4 290
 10 CrMo 9 10 280
 14 MoV 9 3 320
 x 20 CrMoV 12 1 460
 DIN 2448/17 173 TTSI 35 N 225
 10 Ni 14 390
 DIN 2448/17 179 TSIE 255 255
 TSIE 285 285
 TSIE 355 355
 TSIE 420 420
 TSIE 460 460

Los Límites Elásticos (mínimos) indicados se corresponden con tubos de espesor

DIN 2440 ≤ 16 mm
 DIN 2441 ≤ 16 mm
 DIN 2448/1629 ≤ 16 mm
 DIN 2448/17 121 ≤ 16 mm
 DIN 2448/17 173 ≤ 16 mm
 DIN 2448/17 173 y 17 179 Ver Norma A mayor espesor. menor Límite Elástico

Cálculo del peso:
 Los pesos reales de los tubos pueden variar en más o en menos en función de las tolerancias dimensionales que contemplan las Normas de Fabricación.

Sirve para tubos de acero al carbono. Los tubos de acero inoxidable pesan aproximadamente:
 Ferríticos un 5% menos
 Austeníticos un 2% más

Fórmula simplificada
 $0,02466 (D - e) e = \text{kg/m}$
 D = Diámetro exterior
 e = espesor

LONGITUDES:

1 m = 25,4 mm
 = 0,0254 m
 = 0,08333 ft
 = 0,02778 yd
 1 ft = 304,8 mm
 = 12 in
 = 0,3333 yd
 1 yd = 914,4 mm
 = 36 in
 = 3 ft
 1 milla terrestre = 1.6093 km
 1 milla náutica = 1.8532 km
 1 micra (μ) = 0,001 mm
 1 nm (nanóm.) = 0,000 001 mm

PESOS Y MASAS:

1 kg = 1.000 g
 = 0,01 quintal métrico
 = 0,001 tonelada métrica
 = 980.665 dina
 = 9.80665 N (newton)
 = 2,204622 lb
 = 35,272966 oz
 = 0,0220462 short cwt
 = 0,0198841 long cwt
 = 6,00110321 short ton
 = 0,000984206 long ton

PRESIONES Y ESFUERZOS:

1 kg/cm² = 0,01 kgf/mm²
 = 10.000 kgf/m²
 = 980.665 baria (dina/cm²)
 = 1 al métrica
 = 0,96784 atm standard
 = 10 m.c.a (4°C)
 = 735,56 mm Hg (0°C)
 = 0,980665 bar
 = 0,980665 Hg/c
 = 98.066,5 Pa
 = 98.066,5 N/m²
 = 0,0980665 Mpa
 = 0,0980665 N/mm²
 = 14,223 psi (lbf/in²)
 = 2.048,17 psf (lbf/ft²)
 = 98.0665 kPa
 = 0,014223 ksi (kip/in²)

NOTA: El peso (kg/m) del tubo Galv. (galvanizado) ha sido cogido de las Tablas de Control de Toma de Zinc de una de las empresas dedicadas a la galvanización en caliente

1.1. Tipo de corriente y revestimiento según norma

| Clasificación AWS | Tipo de Revestimiento | Posición de soldado según AWS | Corriente eléctrica |
|-------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| E 6010 E 6011 | Alta celulosa, sodio Alta celulosa, potasio | E\VOH,H | CC (+) CA o CC (+) |
| E 6012 E 6013 | Alto titanio, sodio Alto titanio, potasio | E\VOH,H | CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-) |
| E 6020 | Alto óxido de hierro | H-Fillete F | CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-) |
| E 7014 E 7015 | hierro en polvo, titanio bajo hidrógeno, sodio | E\VOH,H | CA, CC (+) o CC (-) CC(+) |
| E 7016 E 7018 | Bajo hidrógeno, potasio Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo | E\VOH,H | CA o CC (+) CA o CC (+) |
| E 7018M E 7024 | Bajo hidrógeno, hierro en polvo Hierro en polvo, titanio | E\VOH,H H-Fillete, F | CC (+) CA, CC (+) o CC (-) |
| E 7027 | Alto óxido de hierro, hierro en polvo | H-Fillete F | CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-) |
| E 7028 | Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo | H-Fillete, F | CA o CC(+) |
| E 7048 | Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo | E\VOH,H E\VOH,HV-Descen. | CA o CC(+) |

Según las normas AWS las posiciones de soldado son:

F = plana; H = horizontal; H - filete = filete horizontal; V-Descend. (V-down) = vertical descendente; V = vertical; OH = sobre cabeza.

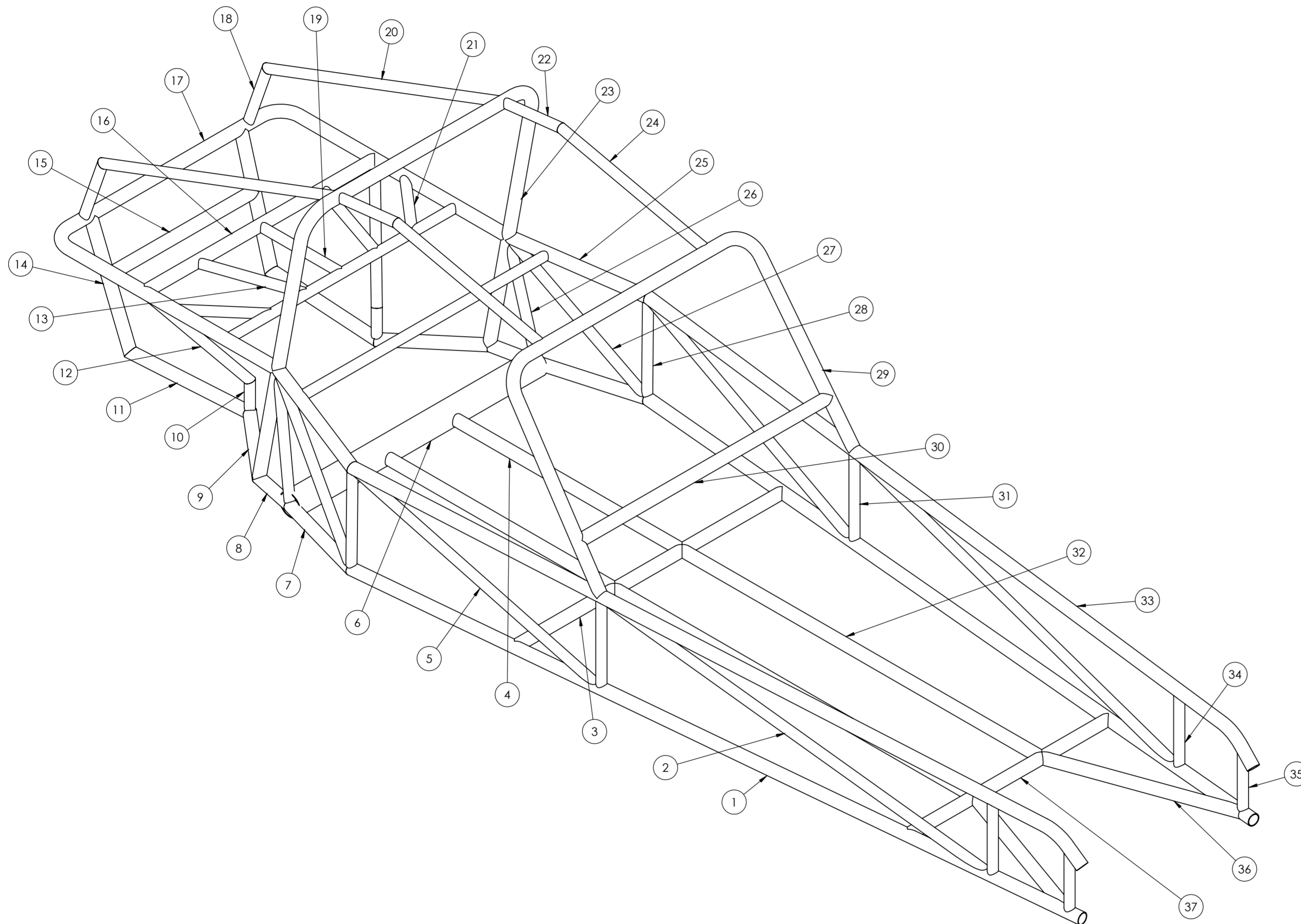
Las normas AWS A5.1 y AWS A5.5 señala otras propiedades de estos electrodos, especialmente en cuanto a características físicas y a la composición química, que deben tener los depósitos de soldadura efectuados con estos electrodos.

| Acero AISI | Carbono | Manganeso | Fósforo | Azufre |
|------------|-----------|-----------|---------|--------|
| C 1015 | 0,13-0,18 | 0,30-0,60 | 0,040 | 0,050 |
| C 1016 | 0,13-0,18 | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,050 |
| C 1017 | 0,15-0,20 | 0,30-0,60 | 0,040 | 0,050 |
| C 1018 | 0,15-0,20 | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,050 |
| C 1019 | 0,15-0,20 | 0,70-1,00 | 0,040 | 0,050 |
| C 1020 | 0,18-0,23 | 0,30-0,60 | 0,040 | 0,050 |
| C 1021 | 0,18-0,23 | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,050 |
| C 1022 | 0,18-0,23 | 0,70-1,00 | 0,040 | 0,050 |
| C 1023 | 0,20-0,25 | 0,30-0,60 | 0,040 | 0,050 |
| C 1024 | 0,19-0,25 | 1,35-1,65 | 0,040 | 0,050 |

Espesor de la pieza a soldar en mm

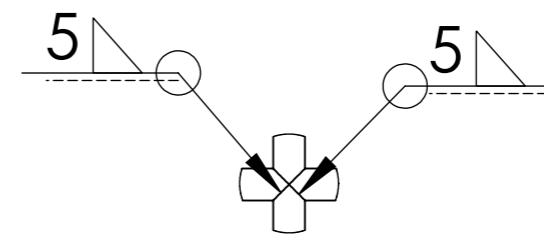
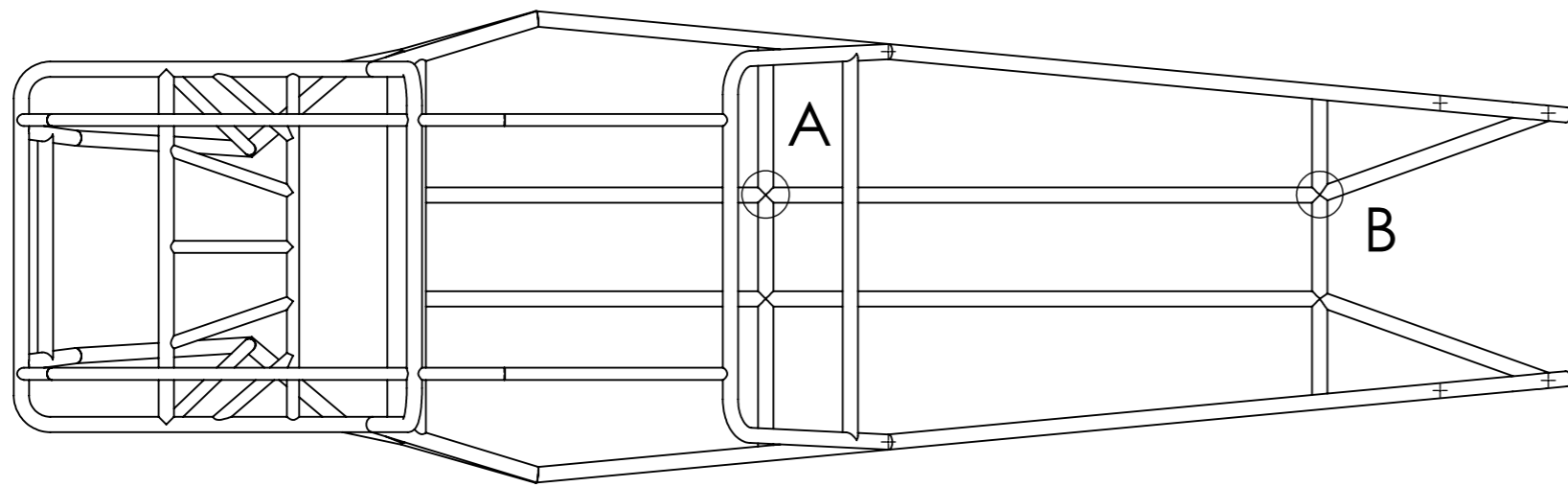
| SAE | 2, 5 | 5 | 10 | 25 | 50 | 250 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1030 | --- | --- | 70°C | 180°C | 220°C | 250°C |
| 1035 | --- | --- | 140°C | 220°C | 260°C | 290°C |
| 1040 | --- | 130°C | 240°C | 290°C | 320°C | 330°C |
| 1045 | 60°C | 240°C | 300°C | 340°C | 360°C | 370°C |
| 1050 | 170°C | 290°C | 330°C | 360°C | 380°C | 390°C |
| 1052 | 200°C | 300°C | 340°C | 390°C | 390°C | 400°C |
| 1055 | 240°C | 320°C | 350°C | 380°C | 400°C | 410°C |
| 1060 | 280°C | 340°C | 370°C | 400°C | 420°C | 430°C |
| 1065 | 320°C | 370°C | 400°C | 430°C | 440°C | 450°C |
| 1070 | 330°C | 380°C | 410°C | 440°C | 450°C | 460°C |
| 1080 | 380°C | 420°C | 450°C | 470°C | 480°C | 490°C |
| 1085 | 400°C | 440°C | 460°C | 480°C | 490°C | 500°C |
| 1090 | 410°C | 450°C | 470°C | 490°C | 500°C | 510°C |
| 1095 | 420°C | 460°C | 480°C | 500°C | 510°C | 520°C |

PLANOS

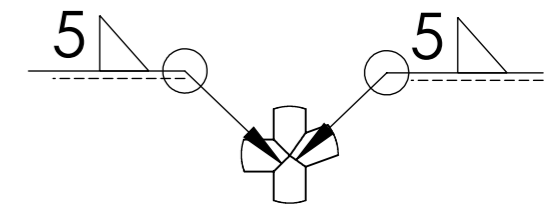


| | | | | | |
|----|---|---------------------------------|-----|-----------|--|
| 37 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 855mm | ISO | ASTM A500 | |
| 36 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 669mm | ISO | ASTM A500 | |
| 35 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 235mm | ISO | ASTM A500 | |
| 34 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 285mm | ISO | ASTM A500 | |
| 33 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 2881mm | ISO | ASTM A500 | |
| 32 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 1530mm | ISO | ASTM A500 | |
| 31 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 340mm | ISO | ASTM A500 | |
| 30 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 1066mm | ISO | ASTM A500 | |
| 29 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 2454mm | ISO | ASTM A500 | |
| 28 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 375mm | ISO | ASTM A500 | |
| 27 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 645mm | ISO | ASTM A500 | |
| 26 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 450mm | ISO | ASTM A500 | |
| 25 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 480mm | ISO | ASTM A500 | |
| 24 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 640mm | ISO | ASTM A500 | |
| 23 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 3058mm | ISO | ASTM A500 | |
| 22 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 250mm | ISO | ASTM A500 | |
| 21 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 290mm | ISO | ASTM A500 | |
| 20 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 1070mm | ISO | ASTM A500 | |
| 19 | 1 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 350mm | ISO | ASTM A500 | |
| 18 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 260mm | ISO | ASTM A500 | |
| 17 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 2851mm | ISO | ASTM A500 | |
| 16 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 980mm | ISO | ASTM A500 | |
| 15 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 622mm | ISO | ASTM A500 | |
| 14 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 465mm | ISO | ASTM A500 | |
| 13 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 370mm | ISO | ASTM A500 | |
| 12 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 451mm | ISO | ASTM A500 | |
| 11 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 480mm | ISO | ASTM A500 | |
| 10 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 120mm | ISO | ASTM A500 | |
| 9 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 340mm | ISO | ASTM A500 | |
| 8 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 170mm | ISO | ASTM A500 | |
| 7 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 380mm | ISO | ASTM A500 | |
| 6 | 1 | Tubo HSS 3" x 3.2mm x 1050mm | ISO | ASTM A500 | |
| 5 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 1042mm | ISO | ASTM A500 | |
| 4 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 1000mm | ISO | ASTM A500 | |
| 3 | 1 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 1140mm | ISO | ASTM A500 | |
| 2 | 2 | Tubo HSS 1" x 2.6mm x 1567mm | ISO | ASTM A500 | |
| 1 | 2 | Tubo HSS 1.25" x 2.6mm x 2857mm | ISO | ASTM A500 | |

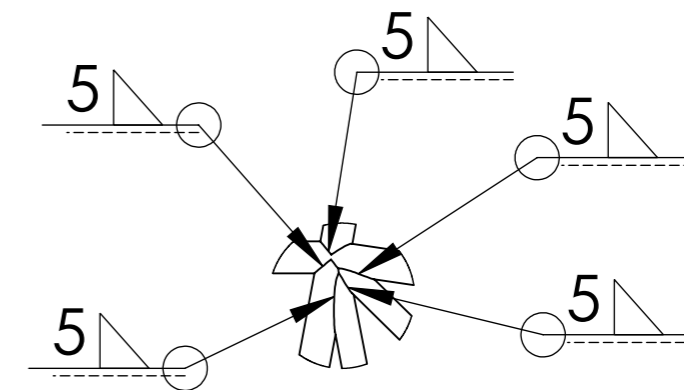
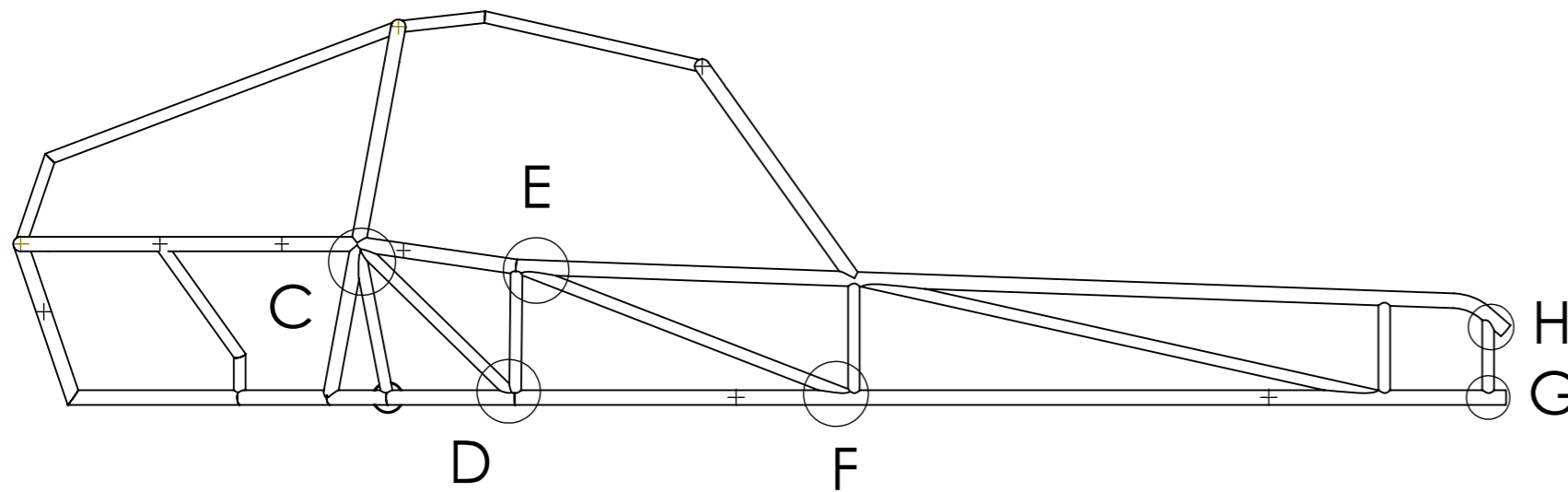
| POS. | CANT. | DESCRIPCIÓN | NORMA | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|---|-------|-----------------------------|-------|----------|----------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA | | | | | |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN | | PROYECTO DE TESIS | | | ESCALA |
| | | LISTA DE MATERIALES | | | SCALE:1:10 |
| REVISADO POR: | | REALIZADO POR: | | | FECHA: |
| ING. JORGE V. E. | | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | | | 07 - 12 - 2008 |
| | | | | | LAMINA: |
| | | | | | A2 - 01 |



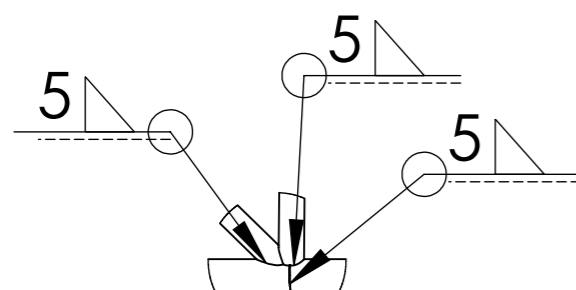
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



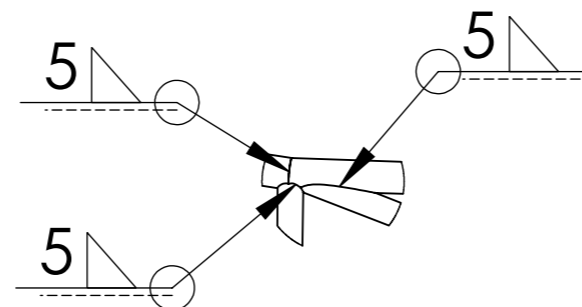
DETALLE B
ESCALA 1 : 10



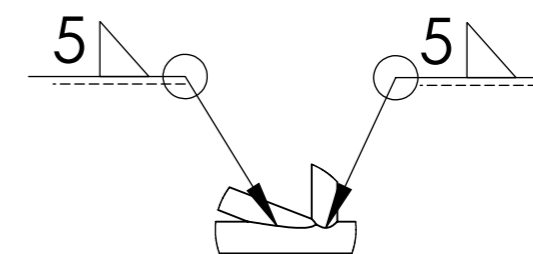
DETALLE C
ESCALA 1 : 10



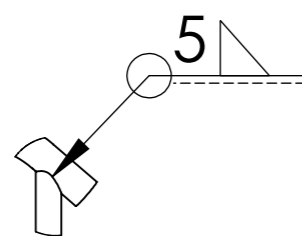
DETALLE D
ESCALA 1 : 10



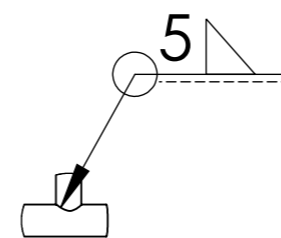
DETALLE E
ESCALA 1 : 10



DETALLE F
ESCALA 1 : 10



DETALLE H
ESCALA 1 : 10



DETALLE G
ESCALA 1 : 10

| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | |
| <i>FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA</i> | | |
| <i>MÉTODO DE PROYECCIÓN</i> | <i>PROYECTO DE TESIS</i> | <i>ESCALA</i> |
| | DETALLES ESTRUCTURA | SCALE:1:20 |
| <i>REVISADO POR:</i> | <i>REALIZADO POR:</i> | <i>FECHA:</i> |
| ING. JORGE V. E. | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | 07 - 12 - 2008 |
| | | <i>LAMINA:</i> A3-02 |

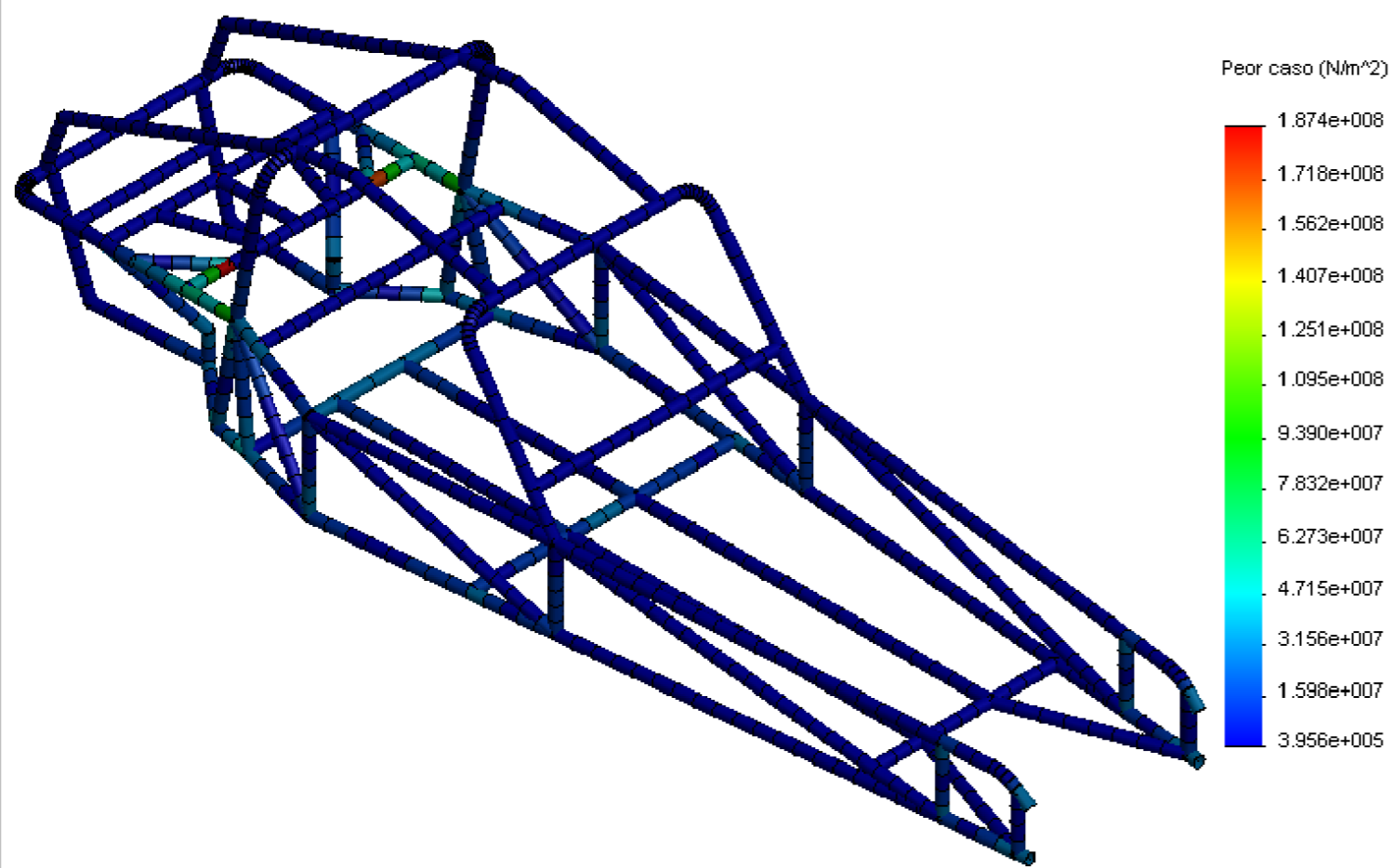


DIAGRAMA DE ESFUERZOS

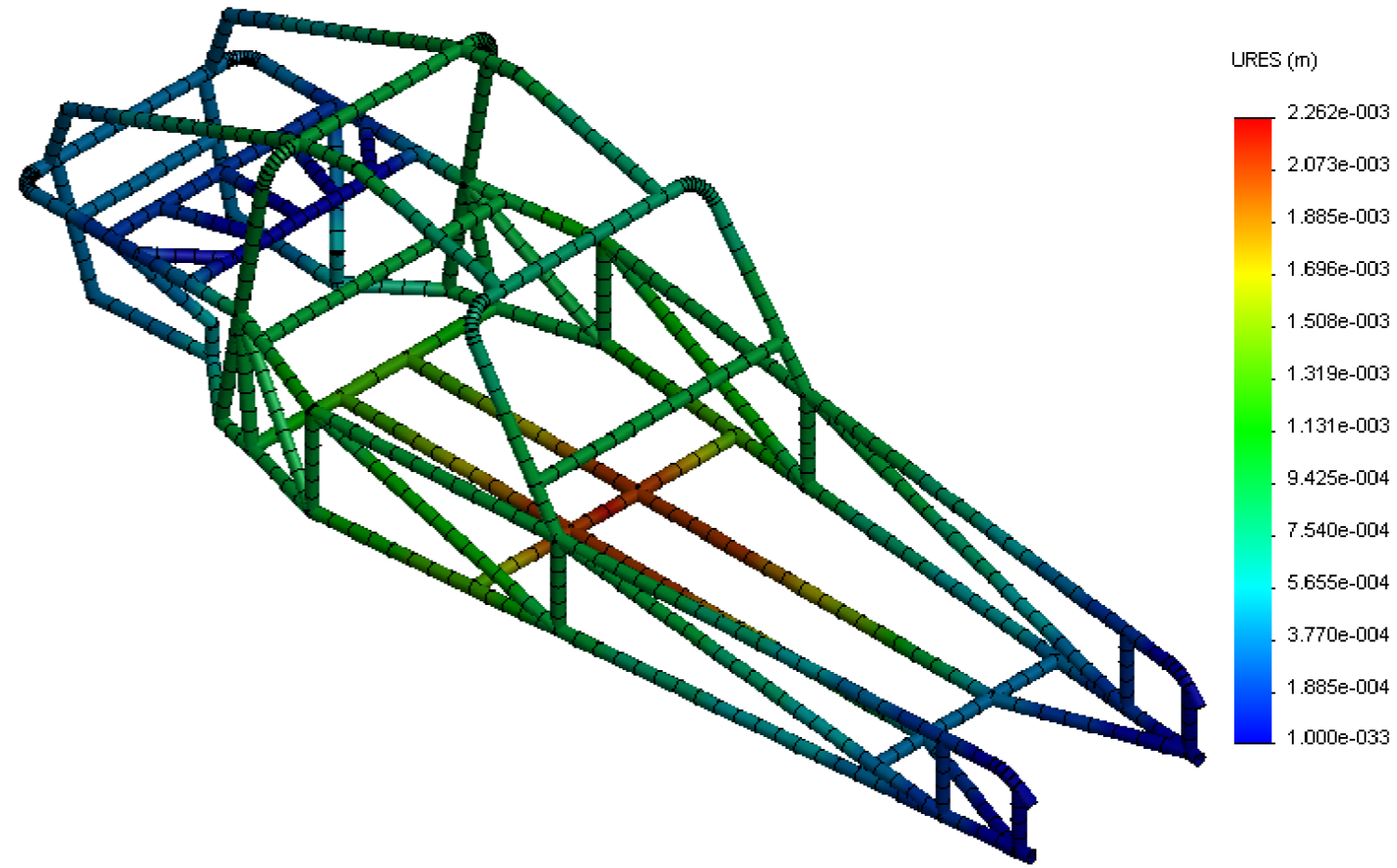


DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS

| | | |
|---|-------------------------------------|----------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA | | |
| <i>MÉTODO DE PROYECCIÓN</i> | <i>PROYECTO DE TESIS</i> | <i>ESCALA</i> |
| | RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO | SCALE:1:20 |
| <i>REVISADO POR:</i> | <i>REALIZADO POR:</i> | <i>FECHA:</i> |
| ING. JORGE V. E. | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | 07 - 12 - 2008 |
| | | <i>LAMINA:</i> |
| | | A3-03 |

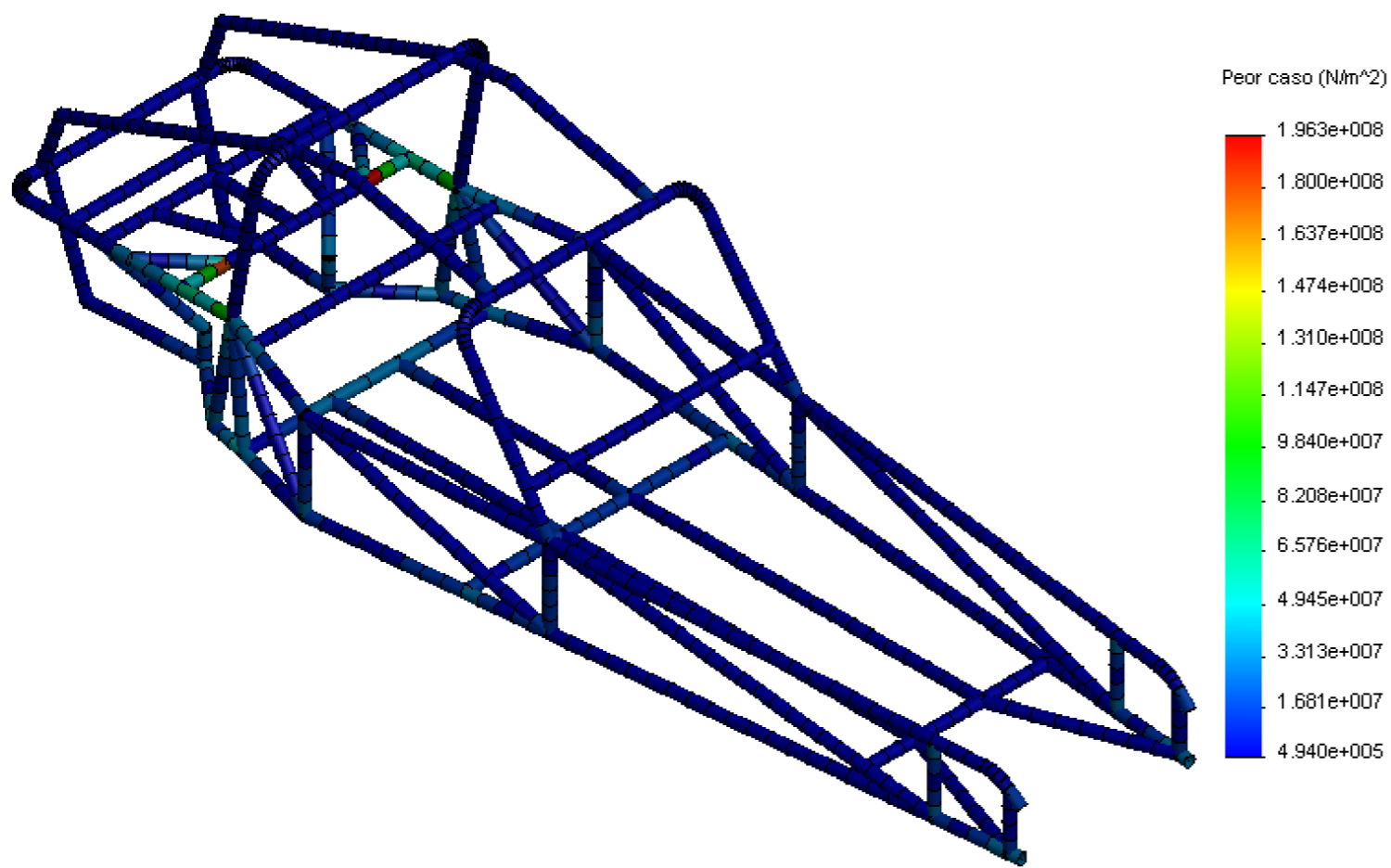


DIAGRAMA DE ESFUERZOS

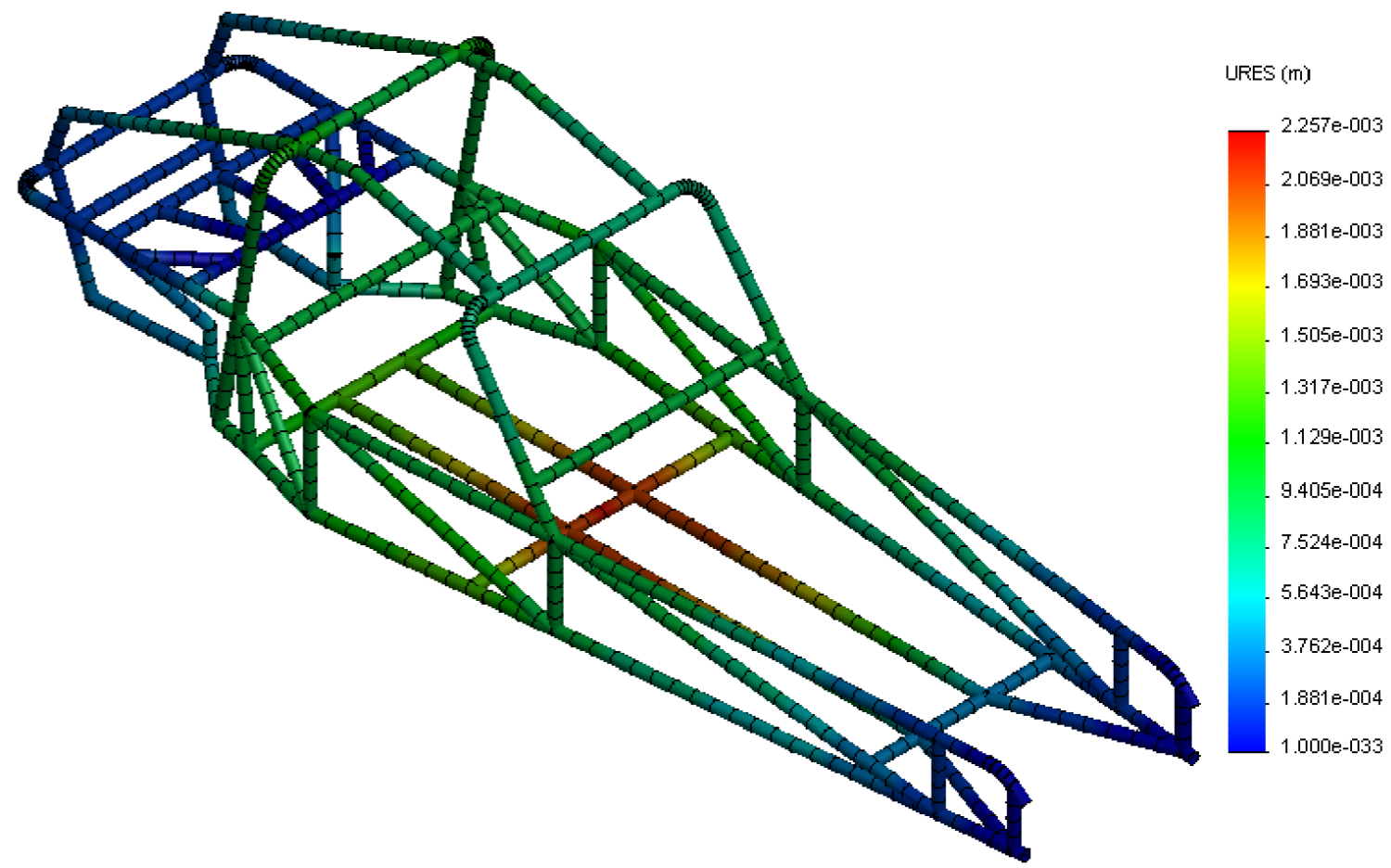
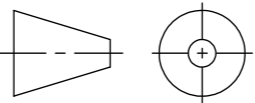


DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS

| | | |
|---|-----------------------------|----------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA | | |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN | PROYECTO DE TESIS | ESCALA |
|  | RESULTADOS ANÁLISIS | SCALE:1:20 |
| FRENADA BRUSCA | | |
| REVISADO POR: | REALIZADO POR: | FECHA: |
| ING. JORGE V. E. | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | 07 - 12 - 2008 |
| | | LAMINA: |
| | | A3-04 |

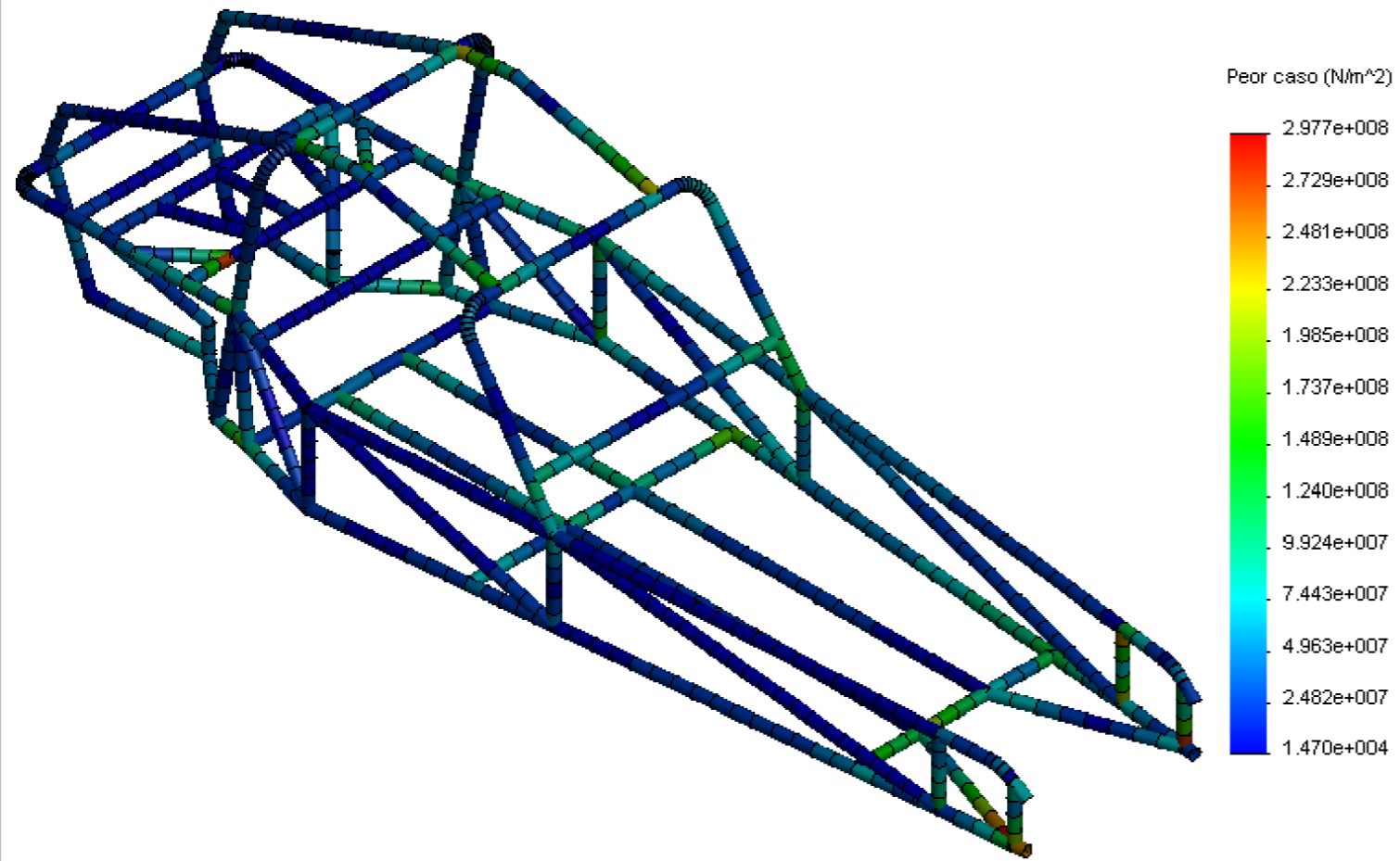


DIAGRAMA DE ESFUERZOS

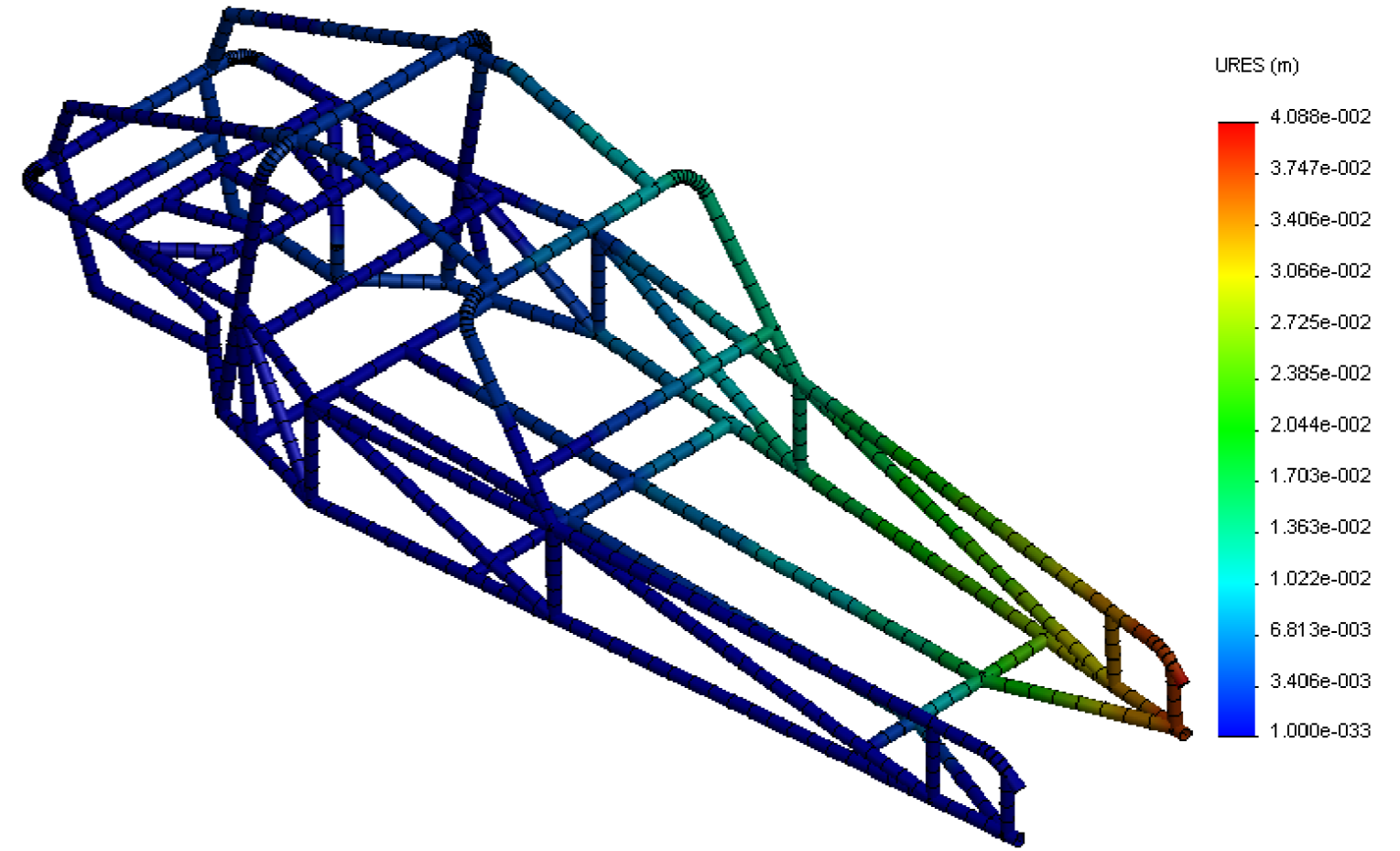
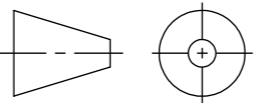


DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS

| | | |
|---|-----------------------------|----------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA | | |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN | PROYECTO DE TESIS | ESCALA |
|  | RESULTADOS ANÁLISIS | SCALE:1:20 |
| | RIGIDEZ TORSIONAL | |
| REVISADO POR: | REALIZADO POR: | FECHA: |
| ING. JORGE V. E. | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | 07 - 12 - 2008 |
| | | LAMINA: |
| | | A3-06 |

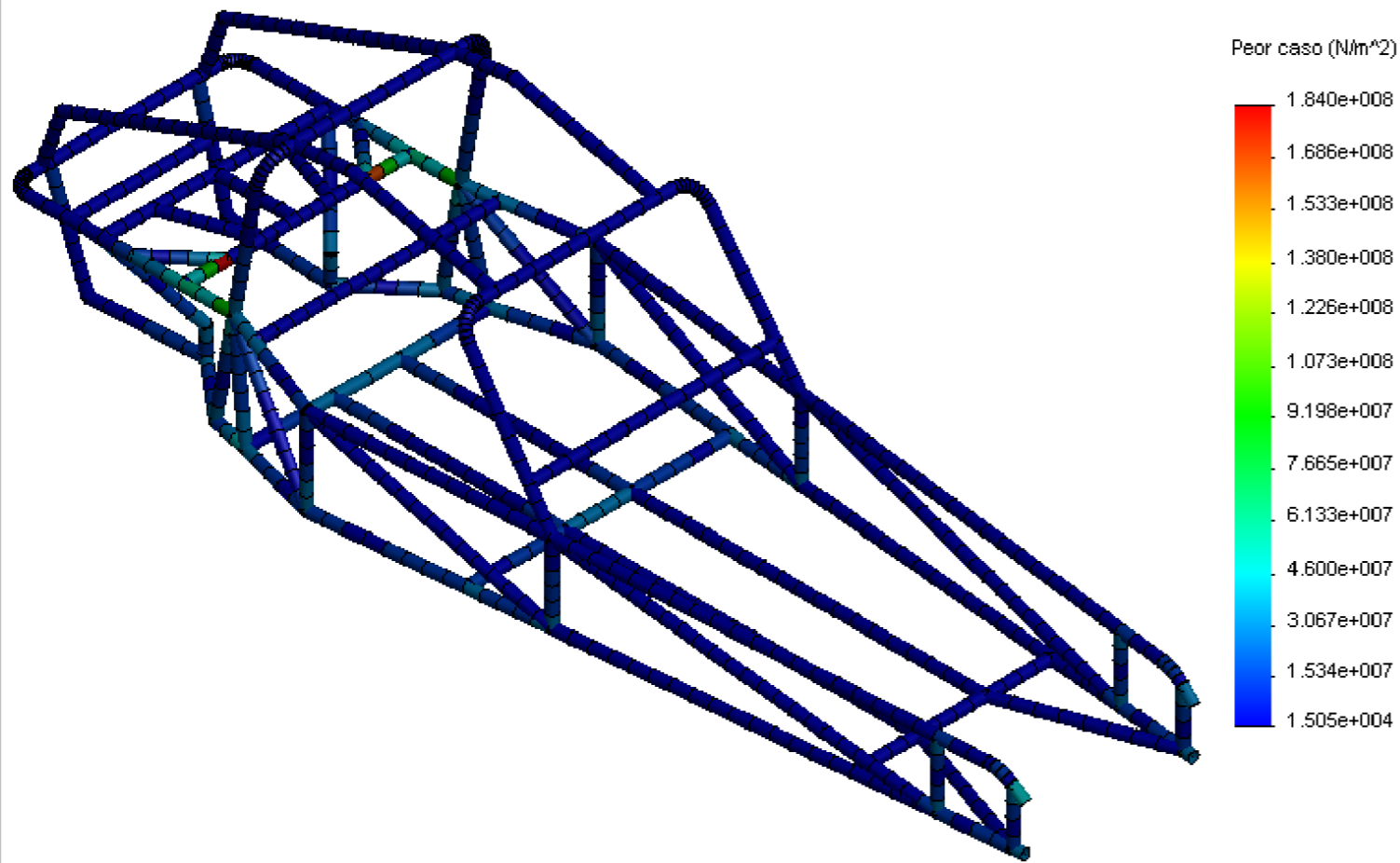


DIAGRAMA DE ESFUERZOS

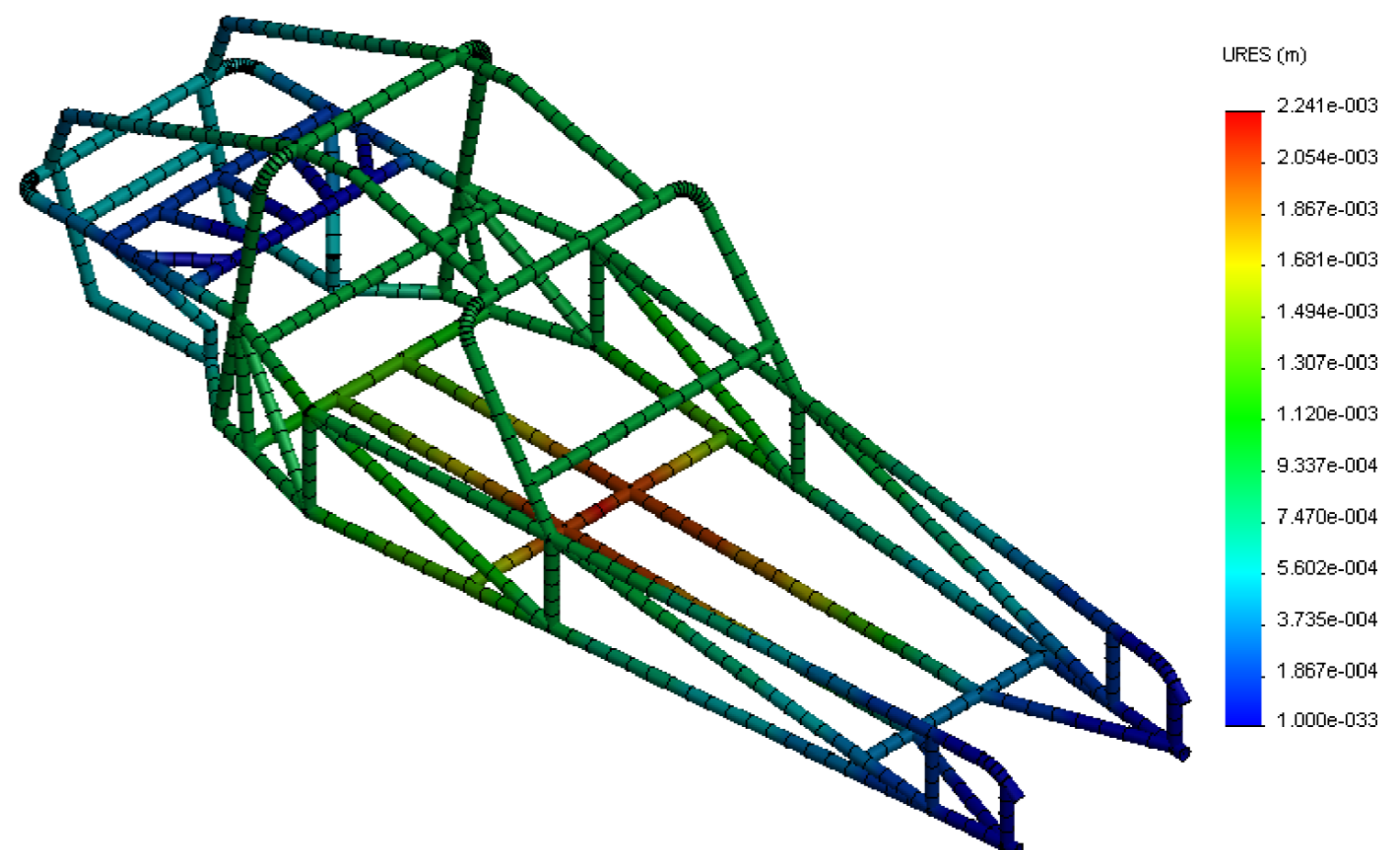


DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS

| | | |
|---|-----------------------------|----------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA | | |
| <i>MÉTODO DE PROYECCIÓN</i> | <i>PROYECTO DE TESIS</i> | <i>ESCALA</i> |
| | RESULTADOS ANÁLISIS | SCALE:1:20 |
| | ACELERACIÓN BRUSCA | |
| <i>REVISADO POR:</i> | <i>REALIZADO POR:</i> | <i>FECHA:</i> |
| ING. JORGE V. E. | PERCY NOLASCO ESPADA GARCÍA | 07 - 12 - 2008 |
| | | <i>LAMINA:</i> |
| | | A3 - 05 |