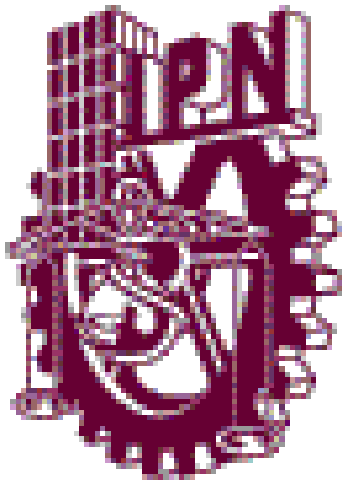




Instituto Politécnico Nacional

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL Ticomán

INGENIERÍA EN AERONÁUTICA

ESPECIALIDAD.

Diseño y Construcción de Aeronaves

TESINA

***DISEÑO, ANÁLISIS NUMÉRICO
Y MANUFACTURA DEL CHASIS DE UN
VEHÍCULO MINIBAJA SAE***

ALUMNOS:

ALAN GEOVANY JAIME SANTIAGO
CEJA PÉREZ LEONARDO
SALCEDO ÁLVAREZ ERICK
VILLA TREJO FRANCISCO

México, DF, 2008



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN:
DEBERÁ PRESENTAR:

INGENIERO EN AERONÁUTICA
CURRICULAR
LOS CC.. PASANTES:
JAIME SANTIAGO ALAN GEOVANY
CEJA PÉREZ LEONARDO
SALCEDO ÁLVAREZ ERICK
VILLA TREJO FRANCISCO

TESINA

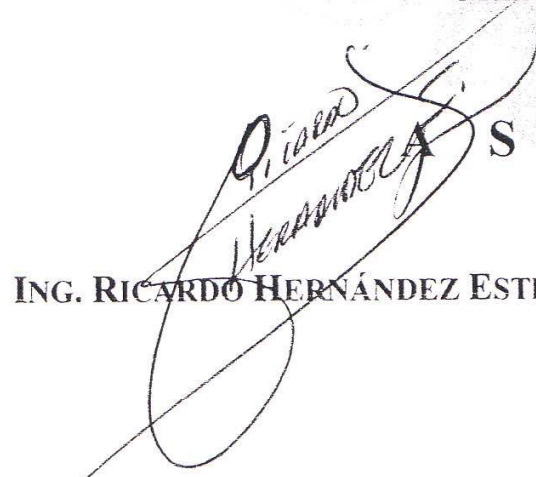
**“DISEÑO, ANÁLISIS NUMÉRICO Y MANUFACTURA DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO
MINIBAJA SAE”**

CAPÍTULO I
CAPÍTULO II
CAPÍTULO III

CONTENIDO
GLOSARIO DE TÉRMINOS
INTRODUCCIÓN
JUSTIFICACIÓN
OBJETIVO GENERAL
OBJETIVO ESPECÍFICO
MARCO TEÓRICO
ALCANCE
METODOLOGÍA
CONCEPTOS Y GENERALIDADES
ANÁLISIS NUMÉRICO
MANUFACTURA
FIGURAS
TABLAS
BIBLIOGRAFÍA

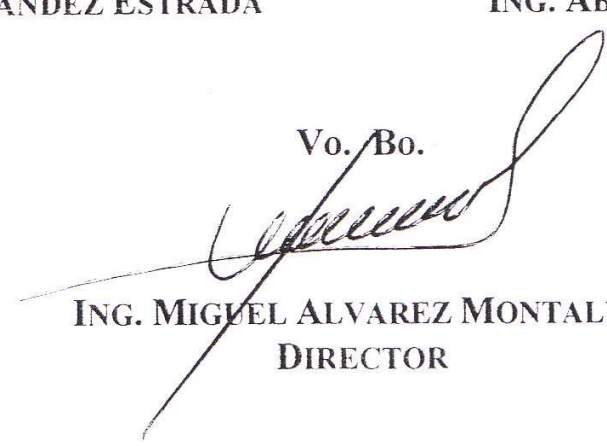
México, DF., a 25 de junio de 2008.

ASESORES


ING. RICARDO HERNÁNDEZ ESTRADA


ING. ABEL HERNANDEZ GUTIERREZ

Vo. Bo.


ING. MIGUEL ALVAREZ MONTALVO
DIRECTOR



I. P. N.
ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN



Contenido

TEMA	PÁGINA
<i>Contenido</i>	<i>ii</i>
<i>Glosario de Términos</i>	<i>v</i>
<i>Introducción</i>	
<i>Justificación</i>	<i>vi</i>
<i>Objetivo General</i>	<i>vii</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>viii</i>
<i>Marco Teórico</i>	<i>ix</i>
<i>Alcance</i>	<i>x</i>
<i>Metodología</i>	<i>xi</i>
<i>Capitulado</i>	<i>xii</i>
 CAPITULO I	
Conceptos y Generalidades	1
1.1. <i>El Chasis</i>	<i>2</i>
1.2. <i>Criterios Sobre la Rigidez</i>	<i>3</i>
1.2.1. <i>Rigidez a la Flexión</i>	<i>5</i>
1.2.2. <i>Rigidez Torsional</i>	<i>5</i>
1.2.3. <i>Triangularización</i>	<i>6</i>
1.3. <i>Criterios Sobre el Peso y su Distribución</i>	<i>9</i>
1.4. <i>Criterios Sobre el Espacio</i>	<i>10</i>
1.5. <i>Cargas Aplicadas</i>	<i>12</i>
1.6. <i>Algoritmo de Diseño de un Chasis Tubular</i>	<i>14</i>



1.7.	<i>Pruebas de Impacto Comerciales (Volvo Cars)</i>	15
1.7.1.	<i>Experimentos Físicos</i>	19
1.7.2.	<i>Simulación de Impactos</i>	21

CAPITULO II

Análisis Numérico 24

2.1.	<i>Modelado Geométrico</i>	25
2.2.	<i>Modelo de Elementos Finitos</i>	27
2.2.1.	<i>Definición de Tipos de Elementos</i>	28
2.2.1.1.	<i>Elemento Shell 163</i>	28
2.2.1.2.	<i>Elemento Beam 161</i>	29
2.2.1.3.	<i>Elemento Mass 166</i>	29
2.2.2.	<i>Definición de Constantes Reales</i>	30
2.2.3.	<i>Definición de Materiales</i>	31
2.2.4.	<i>Mallado</i>	32
2.2.5.	<i>Otras Condiciones para el Análisis</i>	33
2.3.	<i>Resultados</i>	35
2.3.1.	<i>Resultados Gráficos</i>	
2.3.1.1.	<i>Deformaciones</i>	36
2.3.1.2.	<i>Esfuerzos</i>	39
2.3.2.	<i>Resultados Numéricos</i>	41
2.3.2.1.	<i>Deformaciones</i>	42
2.3.2.2.	<i>Esfuerzos</i>	45
2.4.	<i>Comentarios</i>	46



CAPITULO III

Manufactura	49
3.1. Introducción	50
3.2. Selección del Material	50
3.2.1. Tipos de Acero	50
3.2.2. Propiedades Mecánicas y Físicas	51
3.3. Corte del Material	52
3.4. Métodos de Curvado	53
3.4.1. Curvado en Frío por Presión	53
3.4.2. Curvado en Frío Mediante Caja	54
3.4.3. Curvado por Rodillos Giratorios	54
3.5. Soldadura MIG o GMAW	55
3.5.1. Descripción	55
3.5.2. Equipo Básico	57
3.5.3. Funcionamiento en la Zona del Arco	58
3.5.4. Materiales de Aportación	68
3.5.5. Gases de Protección	69
3.5.6. Parámetros de Soldadura	71
3.5.7. Ventajas y Limitaciones de la Soldadura MIG/MAG	77
3.6. Gráfico de Gantt del Proyecto	80
3.7. Ventajas y Desventajas Respecto a Vehículos Anteriores	81
INDICE	82
Figuras	82
Tablas	85
BIGLIOGRAFÍA	85



GLOSARIO DE TÉRMINOS

SÍMBOLO Ó LETRA	NOMBRE	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
δ	Delta de Dirac	adimensional	<i>Deformación unitaria</i>
ν	Ípsilon	adimensional	<i>Relación de Poisson</i>
θ, β	Tetha, Betha	Rad, Grados	<i>Ángulos de Desviación</i>
E	-	GPa, MPsia	<i>Modulo de elasticidad axial (a tensión o compresión)</i>
W	-	Kgf, N, Lb	<i>Peso, carga</i>
in, mm, m	Pulgada, milímetro, metro	-	<i>Unidad de longitud</i>
P	Fuerza	Kgf, N, Lb	<i>Representación de Carga</i>
I	-	m ⁴ , ft ⁴	<i>Momento de Inercia</i>
α	Alpha	-	<i>Símbolo de Proporcionalidad</i>
M	-	gr, Kg	<i>Unidad de masa</i>
A	-	m ² , in ²	<i>Área representativa de la sección transversal</i>
R _i	Reacción	N, Lb	<i>Fuerza resultante, reacción</i>
F	-	Kgf, N, Lb	<i>Fuerza resultante</i>
F _x , F _y , F _z	-	Kgf, N, Lb	<i>Componentes espaciales de Fuerza,</i>
ε	Epsilon	-	<i>Porcentaje de error, Razón entre el valor analítico y valor obtenido por método numérico</i>
Psia, Pa	-	Lb / in ² , N / m ²	<i>Unidad de Esfuerzo</i>



JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se realiza debido a la necesidad de comprender a fondo el comportamiento dinámico del chasis de un vehículo para competencia categoría MINI BAJA fundamentándose en la posible colisión del vehículo mencionado; proponiendo la geometría y la utilización de los materiales lo eficientemente posibles.

Mencionamos que la competencia se efectuara en Febrero del 2008, para lo cual se ha estado trabajando arduamente, ya que, al no haberse realizado el cálculo del vehículo anterior el cual compitiera en el año del 2006¹ se busca en este nuevo automóvil maximizar su eficiencia, así como reducir el costo de producción, por medio del estudio metódico de su comportamiento estructural.

Referencia.



1. Competencia SAE categoría Mini Baja 2006, efectuada en el Parque Natural Desierto de los Leones, no se tiene fuentes ni memoria de cálculo donde poder consultar, existe tan solo el vehículo.

OBJETIVO GENERAL

Se establecerán parámetros de estudio para el proyecto del Vehículo que participara en SAE BAJA, se propondrá un vehículo superior en cuanto a eficiencia con respecto al vehículo de competencia anterior. Se comenzará por la aceptación o rechazo de la parte estructural del chasis, según los resultados obtenidos de una prueba de impacto. Teniendo en cuenta que el superar al vehículo anterior es nuestra más alta prioridad, ya que nos valemos de un 100% más de herramientas, para poder hacerlo.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. A modo esquemático, veremos las diferentes vertientes que se deberían considerar mientras se está diseñando un chasis tubular; estas pautas tienen que ver con la rigidez, el peso, el espacio y el precio. Existen empresas dedicadas ampliamente al trabajo en pruebas de impacto, VOLVO® es una de ellas que presenta experimentos físico y simulaciones.
- II. Se comprenderá, mediante el uso del Software de calculo por elemento finito ANSYS®, como se hace realidad la simulación de pruebas de impacto. Esto nos servirá para conocer los esfuerzos máximos y las deformaciones sobre los elementos del vehículo, lo cual nos ayudara a poder identificar elementos críticos, claves en la manufactura, y que si es posible modificar el chasis para un mejor comportamiento.
- III. Detallaremos la construcción del vehículo, en su fase de armado, podremos observar la variación del modelo primeramente planteado con el que se ha de construir, y se concluirán hipótesis sobre su comportamiento



mediante pruebas de aceleración, impacto, tracción, y maniobrabilidad.



MARCO TEÓRICO.

Se realizará un análisis no lineal de la estructura propuesta para el chasis del vehículo Mini Baja SAE. Los análisis no lineales comprenden fenómenos físicos donde se presentan grandes deformaciones y el material puede entrar en la etapa plástica de su comportamiento mecánico.

Notamos como una forma de aparato crítico el pequeño problema al cual nos enfrentaríamos en el segundo capítulo de nuestra tesina, como hemos visto, esta dedicada al análisis mediante el Software de elemento finito ANSYS®. Todo esto es, debido a que ANSYS® es un programa de análisis estructural, su deficiencia se encuentra en el entorno de modelado, el cual es sumamente bajo en interfaz, muestra serias desventajas, es por ello, que hemos decidido modelar el chasis en el software NX4® de UGS, el cual nos permite por mucho desenrollarnos en la fase de modelado. Aclaremos que NX4®, también genera análisis estructural, pero su deficiencia se encuentra precisamente en ello, de tal forma que deseamos utilizar las bondades de ambos programas.

En un entorno un poco más dado con procesos de manufactura, habríamos de toparnos con el ensamble del mismo vehículo, que si no se crea un diseño adecuado ingenierilmente, sería una barbarie el soldar las uniones y hacerlo un proceso adecuado según la sinergia del equipo.



ALCANCE.

Con la realización de este trabajo se busca construir un chasis-tubular adecuado estructuralmente y siguiendo el reglamento impuesto por SAE-BAJA para este tipo de competencia, para poder tener un buen desempeño en la carrera y por lo tanto llegar un buen lugar al final esta. Todo esto considerando además la experiencia obtenida en la competencia pasada, partiendo y superando de las ventajas que obtuvimos de ese vehículo y competencia y por supuesto mejorar los errores que se cometieron por falta de experiencia.



METODOLOGÍA.

- ✚ Recopilación de información de proyectos SAE-Baja anteriores
- ✚ Diseño estructural del chasis
- ✚ Pruebas de impacto
- ✚ Rediseño correspondiente
- ✚ Manufactura del chasis



CAPITULADO:

En el primer capítulo, se realizará una investigación con la finalidad de esclarecer todos los conceptos necesarios para la elaboración del proyecto. Se pretende conocer el proceso más eficiente de diseño para un chasis tubular, y los tipos de pruebas de impacto realizados en la industria automotriz, para determinar cuáles son las pruebas competentes para determinar la integridad de la estructura. Asimismo se realizará un estudio del reglamento SAE-Baja para proponer la geometría del chasis de nuestro vehículo.

En el capítulo segundo, auxiliándose en algún programa de análisis por el método de elemento finito, se efectuará una simulación de impacto del chasis propuesto en la etapa anterior, con la finalidad de evaluar su seguridad. Se obtendrán datos concretos sobre esfuerzos y deformación de la estructura para analizar posibles mejoras en partes que se consideren críticas.

Finalmente en el tercer capítulo, reportaremos de manera detallada el proceso de manufactura del chasis. Se especificarán los procesos utilizados, y la forma y orden en la que se construyó la estructura.



CAPITULO I

Conceptos y Generalidades

CAPITULO I. Conceptos y Generalidades

1.1. El Chasis.

Se emplea principalmente en vehículos de carga, como por ejemplo camionetas, camiones y autobuses, y también como refuerzo en los coches para competencia, como los Fórmula SAE/Student, Carcross y Nascar.

Se dice entonces que 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 autobús, auto o camioneta, o refuerzo de coches de competencia). La instalación se efectúa mediante la instalación de pernos o en tal caso soldando la carrocería al bastidor; si es utilizada una carrocería con pernos se conoce como "carrocería independiente". Por el contrario si es soldada se conoce como "autoportante".

En los vehículos diseñados para competencia se podría decir que los dos grandes tipos de chasis son los "monocasco" y los "tubulares". En los primeros la diferencia entre chasis y carrocería es más difusa si cabe, ya que el chasis forma parte de la carrocería. **Los chasis tubulares son los que más se emplean como refuerzo de los vehículos de competencia ya que es más sencilla su construcción y la determinación de los esfuerzos a los que pueda estar sometido.** En este proyecto se va a analizar este último tipo de chasis.



Figura 1. *El chasis tubular como refuerzo del vehículo**



* Imagen tomada de www.hyundai.com / Hyundai Inc.

En cuanto al comportamiento mecánico hay que decir que el chasis es más rígido que la carrocería. Interesa, en el momento de un choque, 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.

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 última. Lo determinante es la no deformación o en otras palabras la rigidez. El chasis debe ser rígido para deformarse poco y así no alterar las características de la conducción.

La construcción de un chasis es el compromiso entre la rigidez, el peso y el espacio, todo ello teniendo en cuenta el precio 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 capítulo se van a dar unas pautas, a modo esquemático, que se deberían considerar mientras se está diseñando un chasis tubular. Estas pautas tienen que ver con la rigidez, el peso, el espacio y el precio.

1.2 Criterios Sobre la Rigidez.

La expresión global de la rigidez es:

$$K = \frac{P}{\delta} \quad \dots \text{Ec. 1}$$

Donde:



P = *Fuerza*

δ = *deformación*

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*

A, *el área de la sección*

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 defleca el chasis debido al peso de los diferentes elementos que conforman el vehículo, los cuales pueden ser el peso del conductor, el del propio motor, instrumentación y equipaje, y el de los pasajeros. La experiencia nos dice que realmente no es un problema a la hora de diseñar el chasis.

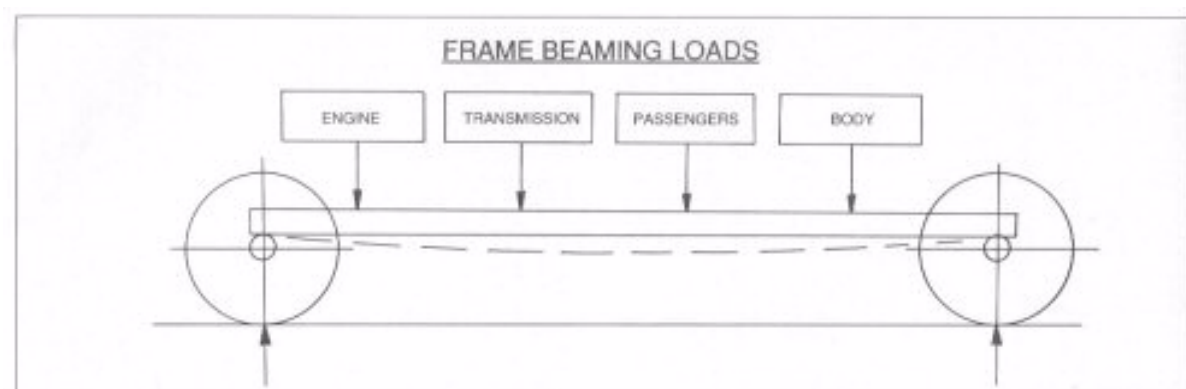


Figura 2: Cargas que pueden deflecar el chasis. **

Rigidez torsional: Se refiere a cuánto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica que, por ejemplo, se da cuando una de las ruedas delanteras pasa por un bache mientras que las demás no lo hacen. Esta es la característica que se debe cuidar para poder validar un chasis en cuanto a rigidez. Según la competencia 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 torsionante 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 aumenta la rigidez para dar un margen de seguridad y para obtener una cifra redonda. En una competencia de Carcross, una rigidez torsional de $150 \text{ kg} \cdot \text{m}/^\circ$ es una cantidad aceptable. Según fuentes consultadas, en una competencia de Fórmula SAE/Student una rigidez torsional razonable sería de $500 \text{ kg} \cdot \text{m}/^\circ$. Según otras fuentes, para una competencia Nascar se requerirían $1500 \text{ kg} \cdot \text{m}/^\circ$ de rigidez torsional.

* Imágene tomada de *Mechanical Vibrations / Singeresu, Rao. New Jersey 2004*

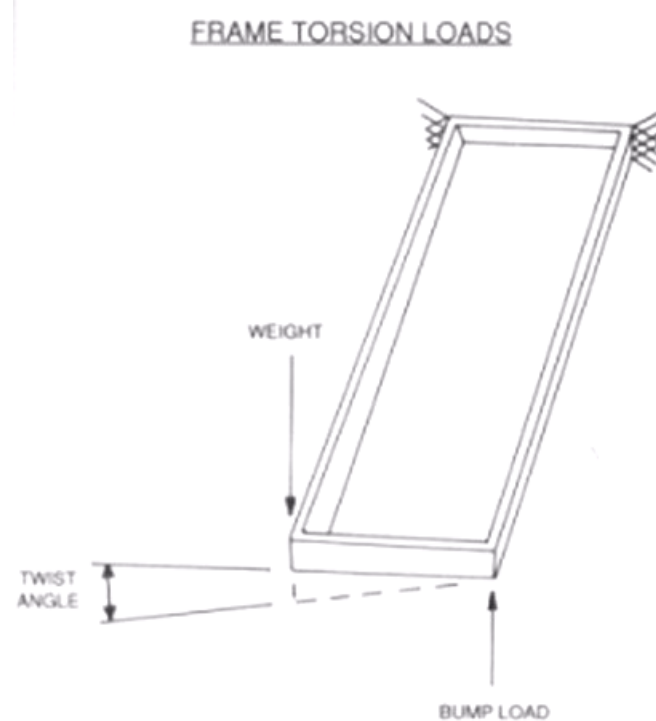


Figura 3: *Marco sometido a Torsión ***

Triangularización: (Utilización de Armaduras) Por ejemplo, tenemos una estructura rectangular a la que se le aplica una carga; como se muestra en la siguiente figura:

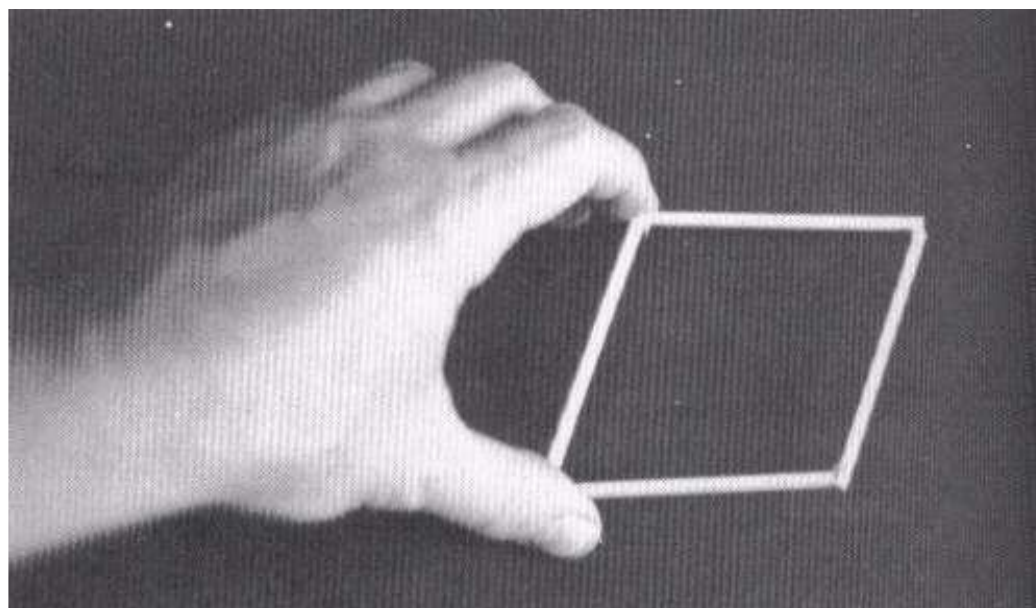


Figura 4: *Estructura rectangular sometida a torsión. **

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 arriostra¹ esta estructura (o se vuelve una armadura) se hace que la barra de arriostramiento trabaje a esfuerzo axial (tracción o compresión) de modo que el nodo sufre un momento flector más pequeño.

*** Imágenes tomadas de Mechanical Vibrations / Singeresu, Rao. New Jersey 2004*

Diversos estudios muestran que la deformación debida a esfuerzo axial es mucho menor, en órdenes de magnitud, que la debida a momentos flectores y torsionales. *Por eso es preferible que se hagan trabajar las barras a esfuerzo axial antes que a momento flector y/o momento torsional. Esto se consigue con las armaduras como la mostrada en la figura 4.* **En cuanto al tipo de esfuerzo axial, es preferible la tracción a la compresión para evitar problemas de pandeo.**

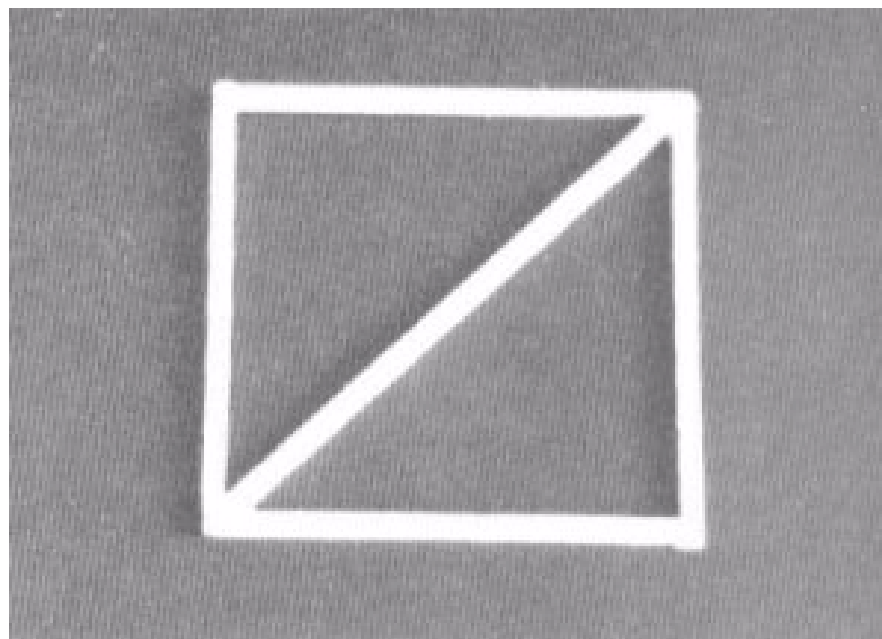


Figura 5: *Marco con elemento diagonal que lo convierte en armadura. **

Referencia

1 – Pieza que, puesta oblicuamente, asegura la invariabilidad de forma de un armazón

* Imágenes tomadas de *Mechanical Vibrations / Singeresu, Rao. New Jersey 2004*

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 bajamos el módulo elástico E porque, por ejemplo, elegimos titanio o 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 juntas de armadura.
- 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 mayor 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 sidepod² que dan un mayor momento de inercia. Estos sidepod también incrementan la protección al impacto lateral.

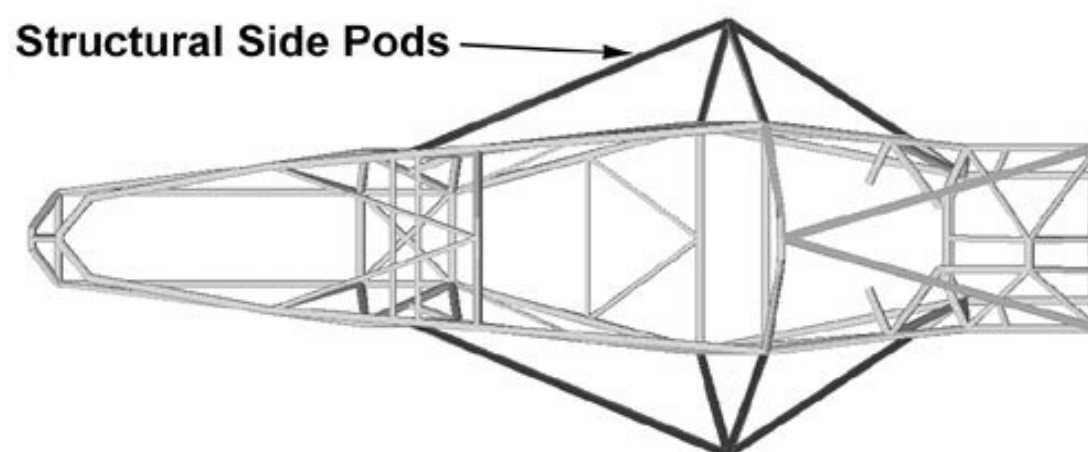


Figura 6: Los "sidepod" en un chasis tubular. *

- La correcta unión de los componentes motrices es muy importante

para una larga vida del chasis.

Referencia

2 – Elementos estructurales de protección contra impacto lateral

* Imágenes tomadas de *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnsen, Butterworth-Heinemann 200*

- 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.

1.3 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; como se puede notar en el siguiente esquema.

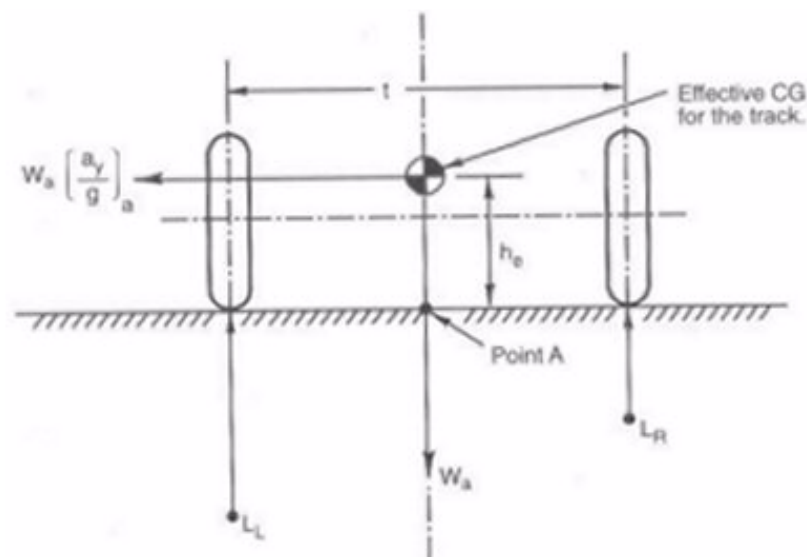


Figura 7: Efectividad del reparto de fuerzas para el balanceo. *

- 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.

* Imágen tomada de *Mechanical Vibrations / Singeresu, Rao. New Jersey 2004*



Figura 8: *La superficie posterior es mayor y hace que el centro de presiones esté por detrás del centro de gravedad. La conducción es más estable. ***

1.4 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.
- ✚ En un porcentaje del 95 se debería poder entrar con comodidad en el coche con el casco puesto. Esto nos 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.

- Las medidas de los pedales, la longitud y el ángulo de los pies determinan la altura de la parte frontal del chasis. Como se muestra en la siguiente figura.

* Imágen tomada de *Mechanical Vibrations / Singeresu, Rao. New Jersey 2004*

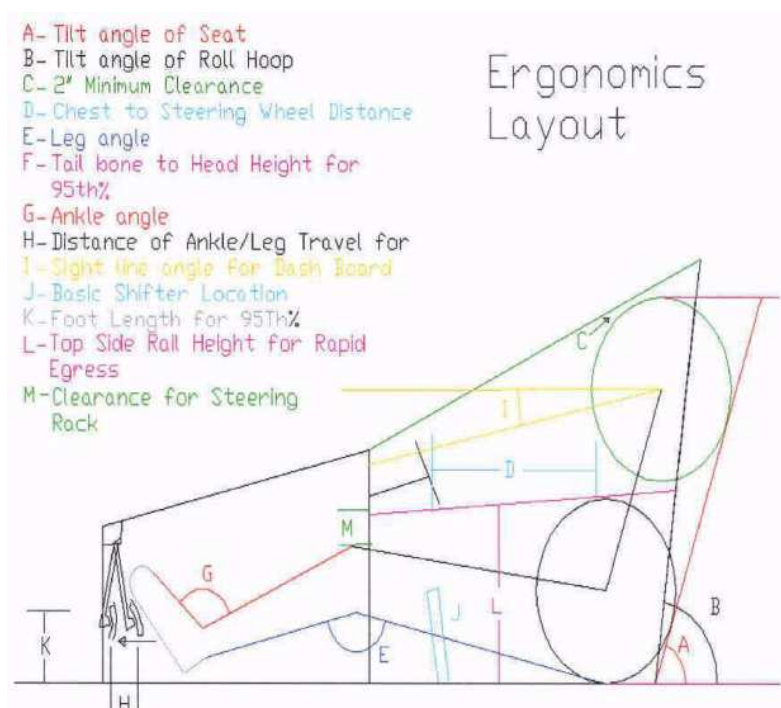


Figura 9: El espacio ocupado por el conductor.*

- 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 del aro frontal.
- Es muy importante una rápida evacuación del conductor si hay accidente. Por ejemplo, en la competencia de Fórmula SAE/Student debe ser menor que cinco segundos.
- Toda la reglamentación SAE/Student trata de cumplir con los requerimientos anteriormente mencionados.



* Imágenes tomadas de *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnsen, Butterworth-Heinemann 2001*

1.5. Cargas Aplicadas.

Los esfuerzos a los que está sometido un chasis en mayor medida son la flexión y la torsión. 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 resista esos esfuerzos. En un chasis tubular tipo Carcross 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 son los de las peores 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:
 - ❖ Amarres de la suspensión (fuerzas de suspensión).
 - ❖ Amarres donde se apliquen pesos considerables (fuerzas de peso e inercia).
 - ❖ 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 o al girar.



Las cargas variables se considerarán como cuasi estáticas. 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 seguramente vaya cambiando a medida que va trazando la curva, porque seguramente 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, un modelado impreciso 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:

$$F_d = \gamma_F * F_k \quad \dots \text{Ec. 2}$$

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

1. Por calibración de una larga y afortunada historia y tradición constructiva. Este es el principio básico de la mayoría de los coeficientes propuestos en los actuales códigos. El laboratorio de automoción por ahora no dispone de una extensa base de datos con los esfuerzos medidos en pruebas de conducción, como para obtener de ahí unos coeficientes de seguridad adecuados, pero con el tiempo todo se consigue.
- 2.



3. 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 $\gamma_Q = 1,5$.

1.6. Algoritmo de Diseño de un Chasis tubular.

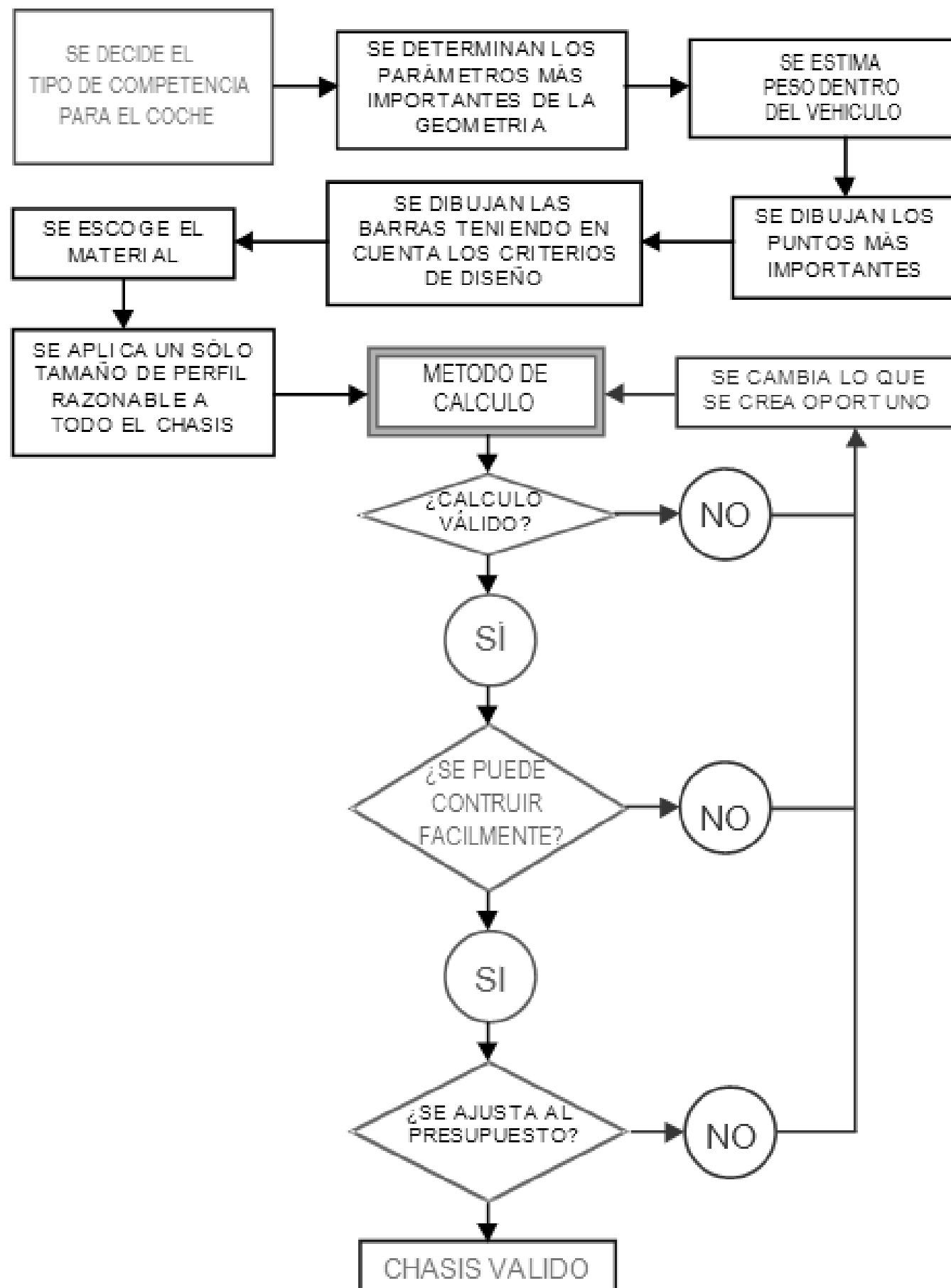


Figura 9: *Algoritmo de Diseño de un Chasis Tubular**

* Imágenes tomadas de *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnßen, Butterworth-Heinemann 2001*

1.7. Pruebas de Impacto Comerciales (Volvo Cars)

Volvo Cars ha sido siempre reconocida como la marca líder a nivel mundial en seguridad automotriz. Ha realizado más de 2000 pruebas de impacto desde que comenzó a incursionar en la experimentación de choques. El centro se encuentra en Gothenburg, Suecia, y fue inaugurado en Marzo del año 2000. Y hay en él invertidos más de \$81 millones de dólares, es por lejos el centro de pruebas de impacto más avanzado del mundo. Una de las principales diferencias de las pruebas de impacto Volvo, es que además de estudiar los impactos estandarizados por la EuroNCAP, también estudian impactos de distinta naturaleza, con velocidades desde los 0 hasta los 120 km/h, y con ángulos variables desde 0° (impacto frontal) hasta 90° (impacto lateral).



Figura 10: *Pruebas de Impacto realizadas por la ADAC **



Figura 11. *Pruebas de Impacto frontales y laterales realizadas por EuroNCAP**

* Imágenes tomadas de www.adac.es / ADAC España 2005

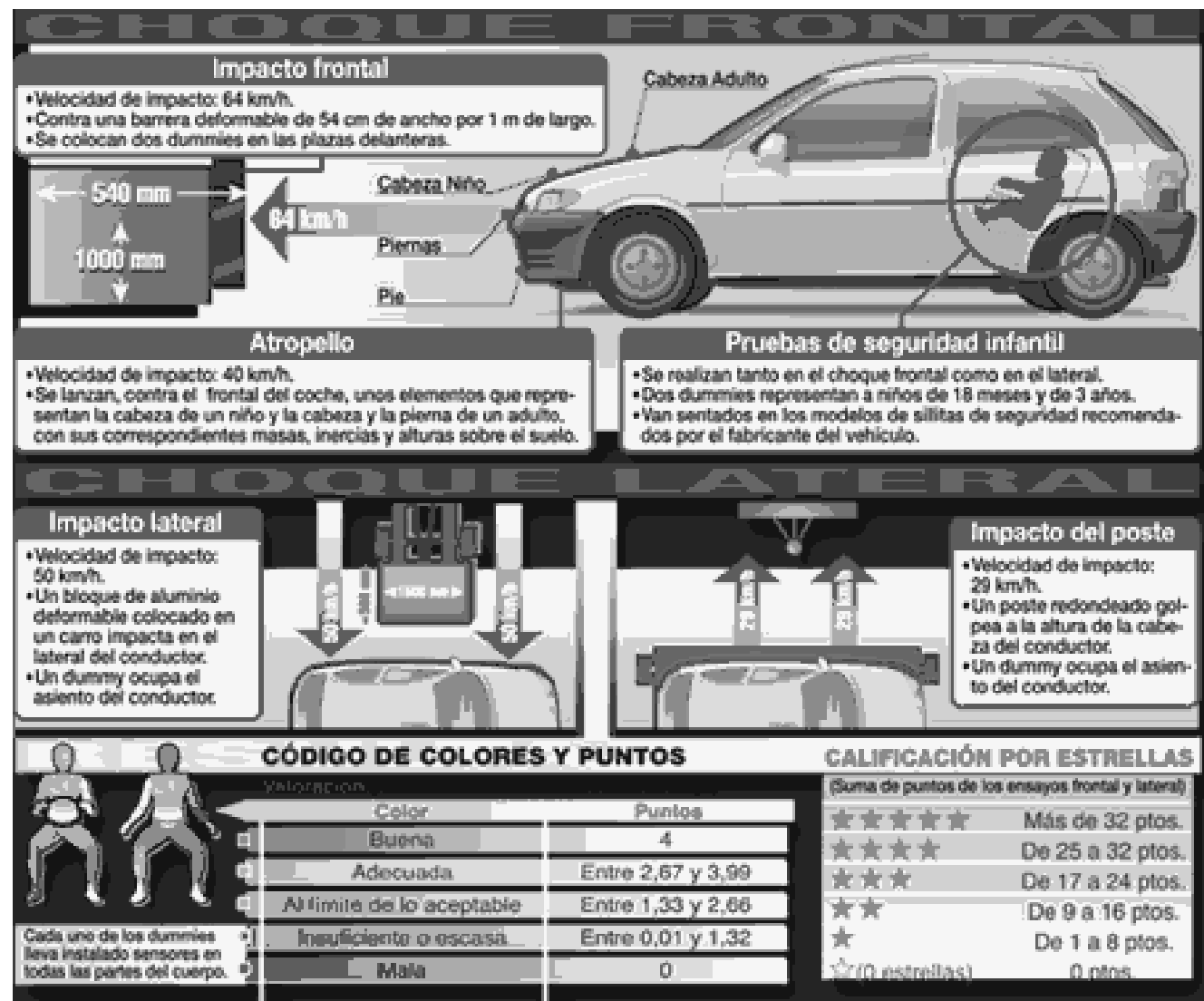


Figura 12: Test de Impacto Frontal y lateral de ADAC *

* Imágenes tomadas de www.adac.es / ADAC España 2005



Figura 13: *Centro de Seguridad Volvo*

Algunas de las pruebas que Volvo realiza son:

- Free Motion Head (FMH): Para asegurar que el interior del carro cumple con los estándares internacionales.
- Dynamic Inspector Test System: Se utilizan distintas partes del cuerpo, (torso, piernas, rodillas) que se dirigen hacia, por ejemplo el capo, para determinar los efectos de una colisión con un peatón desprotegido.
- Drop Test Rigs: Objetos son soltados desde 3 distintas alturas a partes del carro, por ejemplo un panel de la puerta o el panel de instrumentos.
- High-tech Crash Barrier: Se miden las fuerzas y deformaciones del carro en pruebas de impacto.
- Computer Simulation: Una supercomputadora impacta carros inexistentes para obtener resultados de una manera rápida.
- Parking: Se determinan los daños a baja velocidad, desde 3 mph (4.8 km/h) y 5mp (8km/h).
- Sled test: Se monta un chasis del auto en un trineo impulsado por aire comprimido. Se determinan los efectos del impacto de ocupantes (dummies) en componentes como bolsas de aire, panel de instrumentos, columna de dirección, asientos, asientos de seguridad.

Fotografía tomada de www.volvo.com / Volvo Company, Gothenburg, Suecia



Éste laboratorio de experimentación de impactos tiene dos pistas, una de ellas fija de 154m de longitud y otra movable de 108m y 600 toneladas de peso, que se puede girar hasta 90° utilizando un sistema de cojines de aire.



•

1.7.1. Experimentos Físicos

Las pruebas se realizan simulando situaciones reales de tráfico, colisionando vehículos de distintos tamaños en distintas condiciones. Se analiza también la forma en la que los impactos de la cabina o del exterior del vehículo con el cuerpo humano afectan la integridad física de los ocupantes. Los experimentos se realizan con gran precisión, por ejemplo, pequeños cambios en la forma del volante pueden tener grandes consecuencias en el resultado de los experimentos de seguridad.

Los carros son acelerados con la ayuda de 2 motores eléctricos en cada pista. Se utilizan sensores láser para asegurarse de que las pruebas se realicen con precisión milimétrica, controlando fuertemente la aceleración y la velocidad para cerciorarse de que las pruebas sean totalmente repetibles. Antes del experimento, se debe aclarar el tipo de experimento a realizarse y el objetivo del mismo, todo desde velocidad, aceleración, punto de impacto, etc., es controlado minuciosamente.

Un ejemplo de la ventaja de controlar tan meticulosamente todas estas variables, es el control de distintos tamaños de ocupante, bajo choque exactamente idénticos, para determinar las especificaciones óptimas de las bolsas de aire. Los datos de pruebas como estas ayudaron a desarrollar una nueva generación de bolsas de aire, estas tienen 2 etapas de inflado, una primera en la que se utiliza el 70% del aire disponible, y una segunda donde se aprovecha el 30% restante. De esta forma se obtiene un impacto más suave y seguro cuando la bolsa se infla. Se utilizan barreras de colisión de un peso de 880 toneladas métricas, que se pueden colocar en cualquier posición utilizando un sistema de cojines de aire, para recrear muchas situaciones de accidentes.



Figura 14: *Bloque de 800 Toneladas Utilizado en Pruebas Volvo**

Para la obtención de resultados, sensores y cámaras de alta velocidad ayudan para la obtención de datos de la experimentación. Se utilizan acelerómetros ENDEVCO provistos por Brüel&Kjær para medir los efectos de los impactos en el vehículo y sus ocupantes. Los acelerómetros montados en los dummies están especificados hasta de 500g, mientras que los montados en el automóvil tienen especificación de 2000g. Alrededor de 80 acelerómetros se usan en pruebas regulares, aunque en condiciones especiales se pueden conectar hasta 200. Después de una prueba, los acelerómetros se revisan en el departamento de calibraciones VOLVO para corroborar que el elemento sigue dentro de sus especificaciones.

Los acelerómetros se conectan a una computadora de recolección de datos que se encuentra en el vehículo de prueba. Esta computadora se conecta a la habitación de control por medio de un cable que sigue al carro en todo el trayecto de la prueba. Otro cable recoleta y transmite la información de las cámaras digitales. En las pruebas de impacto contra barreras sólidas, los sensores se concentran en la superficie de la barrera, utilizando hasta 128 canales de datos.

* Fotografía tomada de www.volvo.com / Volvo Company, Gothenburg, Suecia



Junto con su centro original de pruebas de impacto, Volvo puede realizar aproximadamente 450 pruebas de impacto al año, lo que da una clara muestra de su preocupación por la seguridad. En el centro de pruebas original, se realizan pruebas hasta 50mph (80 km/h), mientras que en el nuevo centro se realizan pruebas de hasta 75 mph (120 km/h).

Los carros utilizados en las pruebas de impacto son modelos de producción como los que el cliente adquiriría. Se tiene un equipo de unas 20 personas, a las que les toma aproximadamente 10 días preparar el carro para los experimentos. Los carros se pintan en naranja mate, que es el color que les proporciona las imágenes más claras para las cámaras de alta velocidad. Aproximadamente 10 cámaras digitales de alta velocidad son colocadas en el vehículo a impactarse, en el carro, en los lados, adelante, atrás, abajo del chasis, y en lugares de difícil acceso se utiliza fibra óptica. Estas cámaras graban hasta 3000 cuadros por segundo. Se colocan cámaras incluso en el suelo y debajo de suelos de cristal para observar el comportamiento de las partes bajas del vehículo. En zonas oscuras, se utilizan lámparas que simulan la luz del día, y se ha encontrado de nuevo que el color naranja es el que mejores resultados produce. En total, se utilizan de 30 a 40 cámaras en una prueba.

1.7.2. Simulación de Impactos

La preparación para las pruebas de impacto es muy larga y costosa, por lo que la simulación por computadora se ha convertido en una herramienta muy importante en los últimos tiempos para realizar un mayor número de pruebas con menores costos. Además, se tiene la ventaja de poder probar los carros en etapas tempranas de su diseño, reduciendo el número de pruebas reales requeridas.

Con la ayuda de supercomputadoras, se puede probar virtualmente la seguridad de los vehículos, incluso antes de que se construyan físicamente. Asimismo, el mismo impacto se puede analizar cualquier número de veces sin grandes costos adicionales, a diferentes velocidades, utilizando distintos sistemas de seguridad y con tamaños de ocupantes variables. Además, el número de pruebas por día se mucho más elevado que realizando pruebas físicas, realizando hasta 45 pruebas por día. Se puede realizar todo tipo de pruebas, colisiones

frontales, impactos laterales, volcaduras, y colisiones con objetos del entorno en el tráfico circundante.

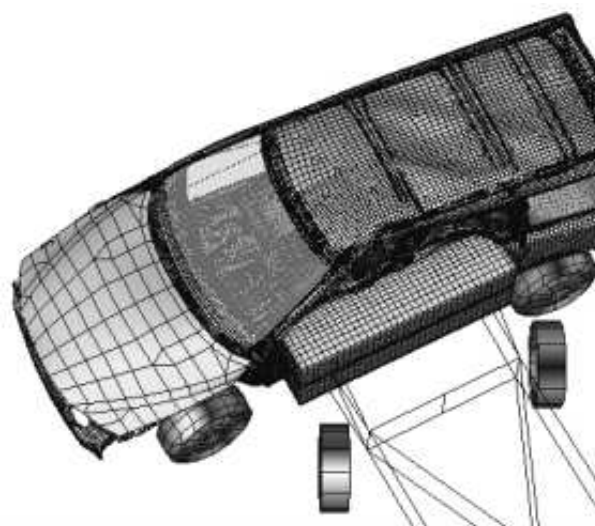


Figura 15: *Simulación de Impacto Lateral**

Volvo Cars comenzó a utilizar supercomputadoras desde el desarrollo del volvo 850 en 1987. En aquella época se introdujeron computadoras de alto rendimiento para analizar el flujo, compresión de paneles y cálculo de simulación de impacto. Su uso se ha incrementado considerablemente en los últimos años, para disminuir los tiempos y costos de producción. Un equipo de 25 ingenieros es el encargado de preparar el modelo.

La idea de éste nuevo método de análisis es que los ingenieros puedan introducir los datos de la simulación en la tarde antes de irse a casa, para obtener los resultados la mañana siguiente. De esta forma se pueden revisar los datos conseguidos en el transcurso del día, para realizar las modificaciones pertinentes y volver a introducir los datos esa noche. Trabajando de esta manera se reducen considerablemente los tiempos de prueba y rediseño. Generalmente se está trabajando en muchos cálculos de manera paralela, sin embargo cuando es necesario se puede concentrar todo el poder de cálculo disponible para una sola simulación, en cuyo caso se obtienen resultados en muy corto tiempo.

En la actualidad, la supercomputadora utilizada puede realizar un choque virtual en cinco horas, mientras que hace 10 años tomaban tres días. Esto aún cuando los modelos matemáticos son 10 veces más grandes (en otras palabras, más precisos) que en aquel entonces.

* Fotografía tomada de www.volvo.com / Volvo Company, Gothenburg, Suecia

La simulación por computadora no puede, sin embargo, sustituir las pruebas físicas debido a que se necesita en las etapas finales de diseño para verificar los resultados de las simulaciones, y para cumplir con ciertos lineamientos legales. De esta manera, tanto las pruebas físicas como las computaciones llevan una relación muy cercana.

En el año 2001 se utilizaban servidores Silicon Graphics SGI Origin 3800 con 160 microprocesadores MIPS R14000 a 600Mhz, y 160 Gbytes de memoria, y el software RADIOSS, de Mecalog. Fue la primera vez que se utilizó éste programa en la simulación de impactos para proyectos de desarrollo automotriz.

Actualmente, Volvo cuenta con 151 nodos (servidores IBM eServer 325), cada uno con 2 CPU's, haciendo un total de 302 procesadores AMD Opteron. La capacidad de éste sistema está medida en 1.3 TFlops (pico), haciendo que las instalaciones de Volvo Cars sean las instalaciones más rápidas utilizando una plataforma Linux en la industria automotriz.



Figura 16: *Simulación de Impacto Frontal**

Los datos obtenidos de todas las pruebas son permanentemente guardados en archivos seguros. A su vez, los carros utilizados en todas las pruebas se almacenan en un gran edificio.

* Tomada de www.volvo.com / Gothenburg, Suecia



CAPITULO II

Análisis Numérico



CAPITULO II. Análisis Numérico

2.1. Modelado geométrico

Se realizó la geometría del chasis en el programa NX-4, debido a su mayor flexibilidad para el modelado respecto al modelado en ANSYS. La primera etapa de establecer la geometría utilizando líneas no tuvo grandes contratiempos, sólo se establecieron las medidas adecuadas para el chasis.

Sin embargo, al momento de intentar modelar el carro como sólido o como superficies, debido a que se deben establecer adecuadamente los empates de los tubos, se tuvieron muchos problemas para crear un modelo consistente. Por lo tanto, la geometría del chasis se importó como líneas al software de análisis, que para nuestro caso se utilizó ANSYS. Una vez con la geometría del chasis en el programa, se agregaron las llantas y las superficies de contacto (la pared de impacto y el piso).

La siguiente figura muestra el plano final del chasis realizado en NX-4.

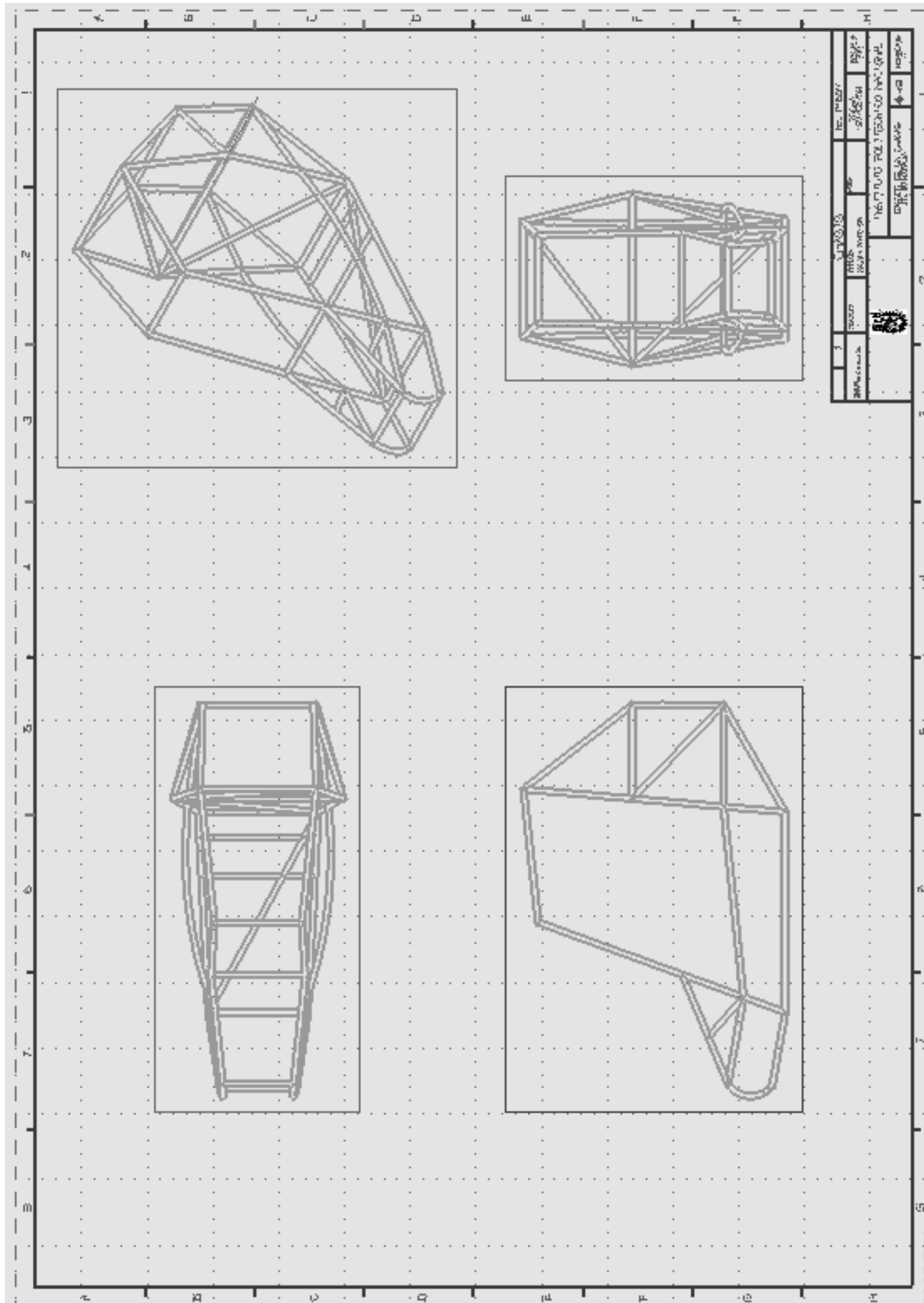


Figura 17: Chasis realizado en NX-4

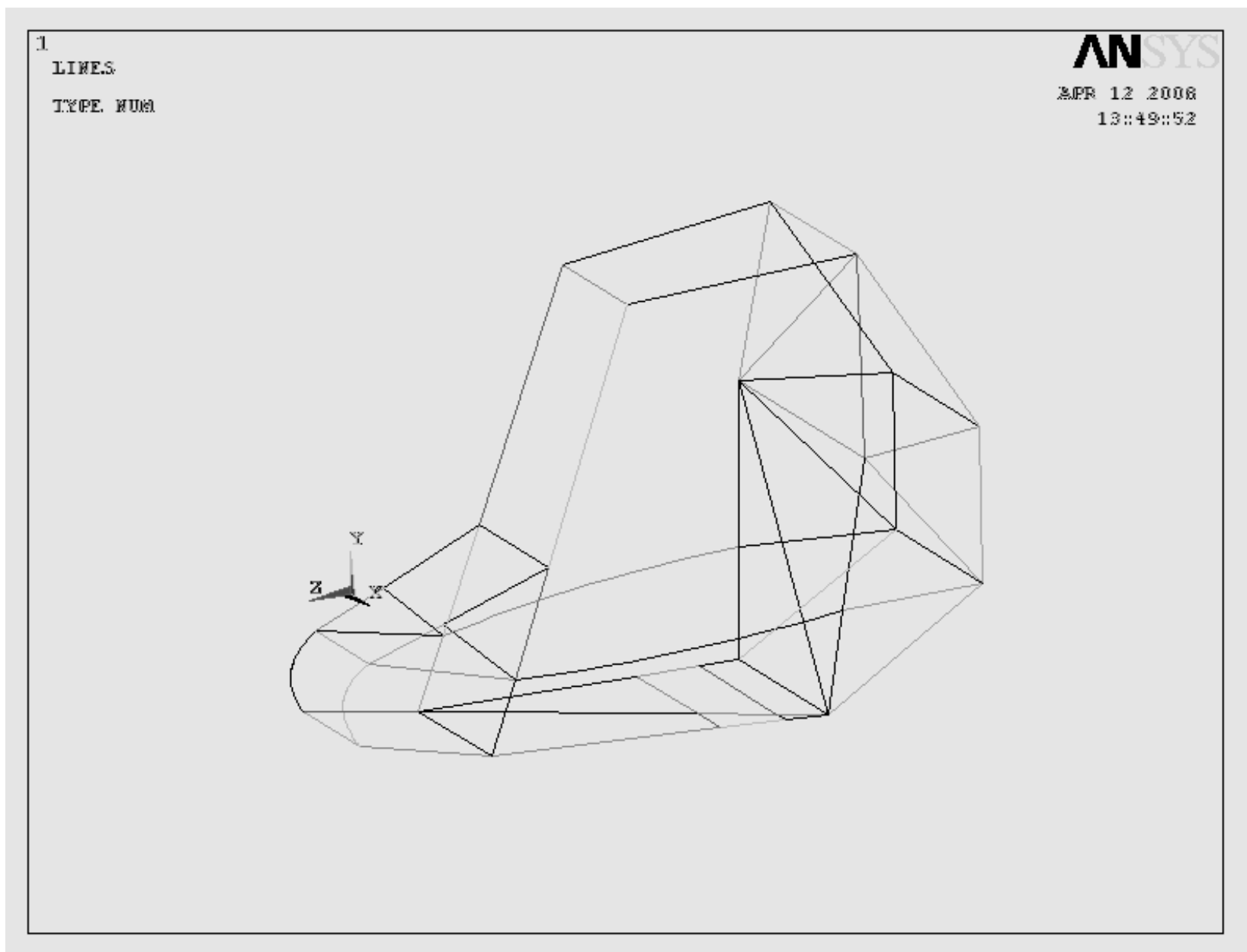


Figura 18: Geometría del chasis recién importada a ANSYS

2.2. Modelo de Elementos Finitos

Se realizó una simulación de impacto frontal con el módulo ANSYS LS-DYNA. El Módulo LS-DYNA combina este módulo de solución de elemento finito con las capacidades de pre y post procesamiento de ANSYS. Utiliza un método explícito de solución que provee soluciones precisas en fenómenos dinámicos no lineales de corta duración y grandes deformaciones, así como en problemas complejos de contacto o impacto.

2.2.1. Definición de Tipos de Elementos

Este módulo de solución cuenta con varios elementos para representar la geometría. Se trabajó con tres de ellos, que son los que más se adaptan a nuestras necesidades. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

2.2.1.1. Elemento Shell 163

El primero de ellos y el más sencillo de utilizar fue el elemento Shell 163. Se utilizó para simular la superficie contra la que se impacta el carro y las llantas del mismo. Estas superficies se modelaron como materiales totalmente rígidos, dado que no nos importa el comportamiento de estas partes.

El elemento Shell 163 es un elemento que consta de cuatro nodos, con capacidades de simular comportamiento de membranas. Tiene 12 grados de libertad en cada nodo: translaciones, aceleraciones, y velocidades en las direcciones X, Y y Z, así como rotaciones alrededor de los ejes X, Y y Z.

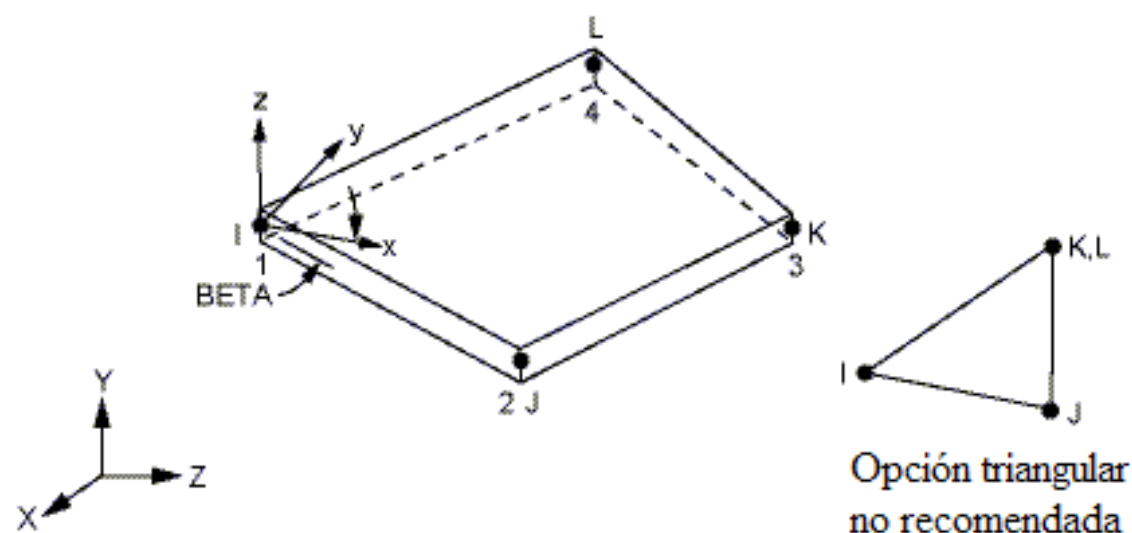


Figura 19: Geometría de elemento Shell 163

2.2.1.2. Elemento Beam 161

Como ya se mencionó, en el análisis propuesto se importó la geometría del chasis como líneas, para tratarlas como vigas en el programa ANSYS. El elemento que mejor se adaptaba a nuestras necesidades fue el elemento Beam 161. Esto debido a que necesitábamos un elemento que se pudiera derivar de una geometría establecida únicamente con líneas.

Éste elemento cuenta con 3 nodos, i, j, y k. Los nodos i y j representan los dos extremos del elemento, mientras que el nodo k es utilizado para orientar la sección transversal del mismo. Se especificó una sección transversal circular para el elemento.

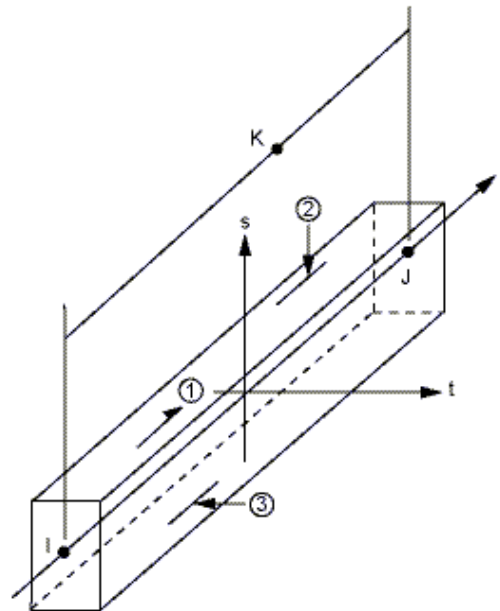


Figura 20: Geometría del elemento Beam 161

2.2.1.3. Elemento Mass 166

Se trata de un elemento que tiene hasta nueve grados de libertad, traslaciones, velocidades y aceleraciones en las direcciones nodales x, y, z. Éste Elemento se define como un nodo único con componentes concentradas de masa respecto a los ejes de referencia.

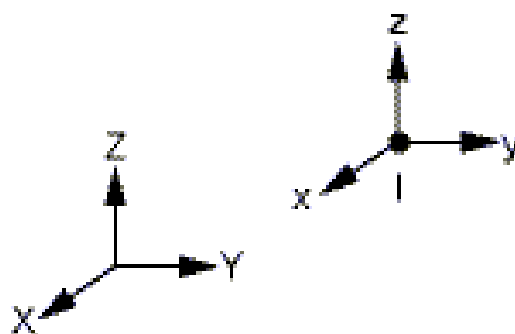


Figura 21: Geometría del elemento Mass 166

2.2.2. Definición de Constantes Reales



Para el análisis se utilizaron cuatro conjuntos de constantes reales. Cabe señalar que es muy importante seleccionar además unidades consistentes, el uso equivocado de unidades causó muchos contratiempos en el análisis. A continuación se especifica el sistema utilizado:

Masa	Distancia	Tiempo	Fuerza	Esfuerzo
Gramos	Milímetros	Segundos	$1 \cdot 10^6$ Newtons	Pascales

Tabla 1: *Sistema de unidades consistentes utilizado para el análisis*

El primero conjunto de constantes se aplicó al elemento Shell 163, asociado a las superficies de contacto y a las llantas. Sólo fue necesario especificar el espesor de las superficies, 0.1mm para nuestro caso.

El segundo conjunto de constantes fue aplicado al tipo de elemento Beam 181, asociado al carro y para establecer el diámetro y espesor de los tubos del chasis. Se utilizó un tubo de 1" de diámetro y 1/8" de espesor, por lo los valores introducidos a ANSYS fueron de 25.4mm para el diámetro exterior y 22.225mm para el diámetro interior.

Los últimos dos conjuntos de constantes se utilizaron en el elemento Mass 166 para especificar el peso del motor y la transmisión, y del ocupante del vehículo. Se estimó un peso de 35,000g del conjunto motor-transmisión y un ocupante de 60,000g.

2.2.3. Definición de Materiales

Se definieron tres tipos de materiales para el análisis. El primero de ellos fue asociado a las superficies de contacto, siendo los valores los siguientes:

$$\begin{aligned}\rho &= 7.85 \text{ kg/mm}^3 \\ \nu &= 0.3 \\ E &= 2.1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}\end{aligned}$$

Éste material tuvo la particularidad de modelarse como totalmente rígido e inmóvil, por lo que el pequeño valor del espesor de estas superficies (0.1mm) no afectó los resultados del análisis.



El segundo material utilizado fue el aplicado al carro. En éste caso, por tratarse de un análisis no lineal, es necesario especificar propiedades plásticas del material, ya que existe la posibilidad de exceder el esfuerzo de cedencia del mismo. Existe un método de establecer un módulo de elasticidad en la zona plástica del material, al aproximar la curva esfuerzo-deformación como dos líneas rectas. La primera línea corresponde a la zona elástica, y la segunda va desde el punto de cedencia hasta el de ruptura del material. De esta manera se puede calcular la pendiente de las dos rectas, obteniendo dos módulos de elasticidad; el de Young para la zona elástica y el llamado módulo tangente para la zona plástica.

Para introducir estas propiedades a ANSYS se utiliza un material bilinear cinemático, exclusivo de análisis no lineales. Los valores introducidos fueron los siguientes:

$$\begin{aligned}\rho &= 7.85 \text{ kg/mm}^3 \\ \nu &= 0.3 \\ E &= 2.21 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \\ \text{Esfuerzo de cedencia} &= 3.5 \cdot 10^8 \text{ Pa} \\ \text{Módulo tangente} &= 8 \cdot 10^8 \text{ Pa}\end{aligned}$$

El tercer material utilizado se aplicó a las llantas y las masas del motor y del ocupante. Se utilizaron propiedades del acero sólo para asociar un material a estos elementos, un requisito para que ANSYS efectúe el análisis. Sin embargo, no se podía utilizar el mismo que el utilizado para las superficies de contacto, ya que aunque se idealizaron como cuerpos rígidos, debíamos permitir su desplazamiento, que se restringió para las superficies de contacto. Fue la única diferencia de éste material respecto al utilizado en las superficies.

2.2.4. Mallado

Para realizar el mallado, se intentó simplificar lo más posible el modelo, para ahorrar tiempo de cálculo. Tanto la pared como el piso constan de un solo elemento, ya que no nos interesa su comportamiento. De igual forma en las llantas, para mallarlas se utilizaron elementos tetraédricos de 25mm de tamaño, que fue el tamaño más grande de elemento que permitía conservar el contorno de



las llantas. Las líneas del chasis constan cada una de un elemento, no fue necesario crear elementos más pequeños en cada línea debido a que se obtuvo un buen comportamiento del modelo utilizando un sólo elemento para cada línea.

Cabe destacar que hay que ser muy cuidadosos al momento de hacer el mallado, para asociar adecuadamente el tipo de elemento, constantes reales y materiales a cada uno de los elementos que se deseen crear.

2.2.5. Otras Condiciones para el Análisis

Una vez mallado todo el modelo, se deben definir los componentes que están actuando en el mismo, que en éste caso son dos; el carro y el conjunto pared-piso. Una vez creados los dos componentes, se establecen condiciones de contacto entre los mismos, en éste caso se utilizó un tipo de contacto automático, con el que ANSYS define automáticamente cuál es el algoritmo de solución más adecuado para simular el fenómeno.

Se debe establecer la velocidad del impacto. En éste caso se realizó la prueba a 40km/h (11,111.11mm/s), velocidad estimada como máxima del vehículo. Finalmente, se le aplicó la aceleración de la gravedad al vehículo para impedir que saliera disparado hacia arriba después del impacto. Se estableció también el tiempo de simulación, que fue de 1 segundo.

Se especificaron además los puntos de masa para el conductor y para el conjunto motor-transmisión. El punto de masa del conductor se seleccionó en el piso, debido a que se complicaba la geometría al colocar elementos que unieran éste punto con el chasis.

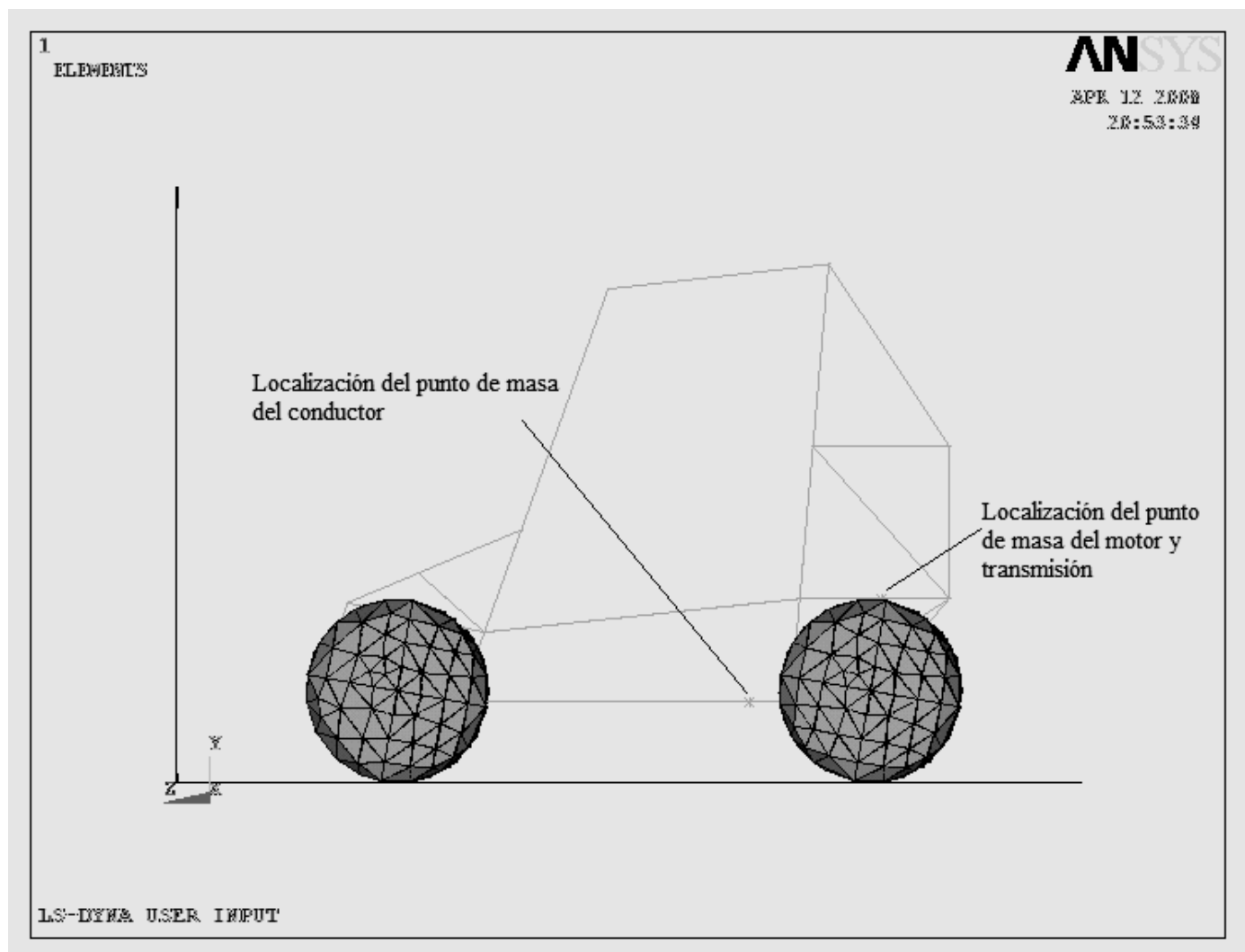


Figura 22: Localización de los puntos de masa en el vehículo

El modelo final para el análisis es el siguiente:

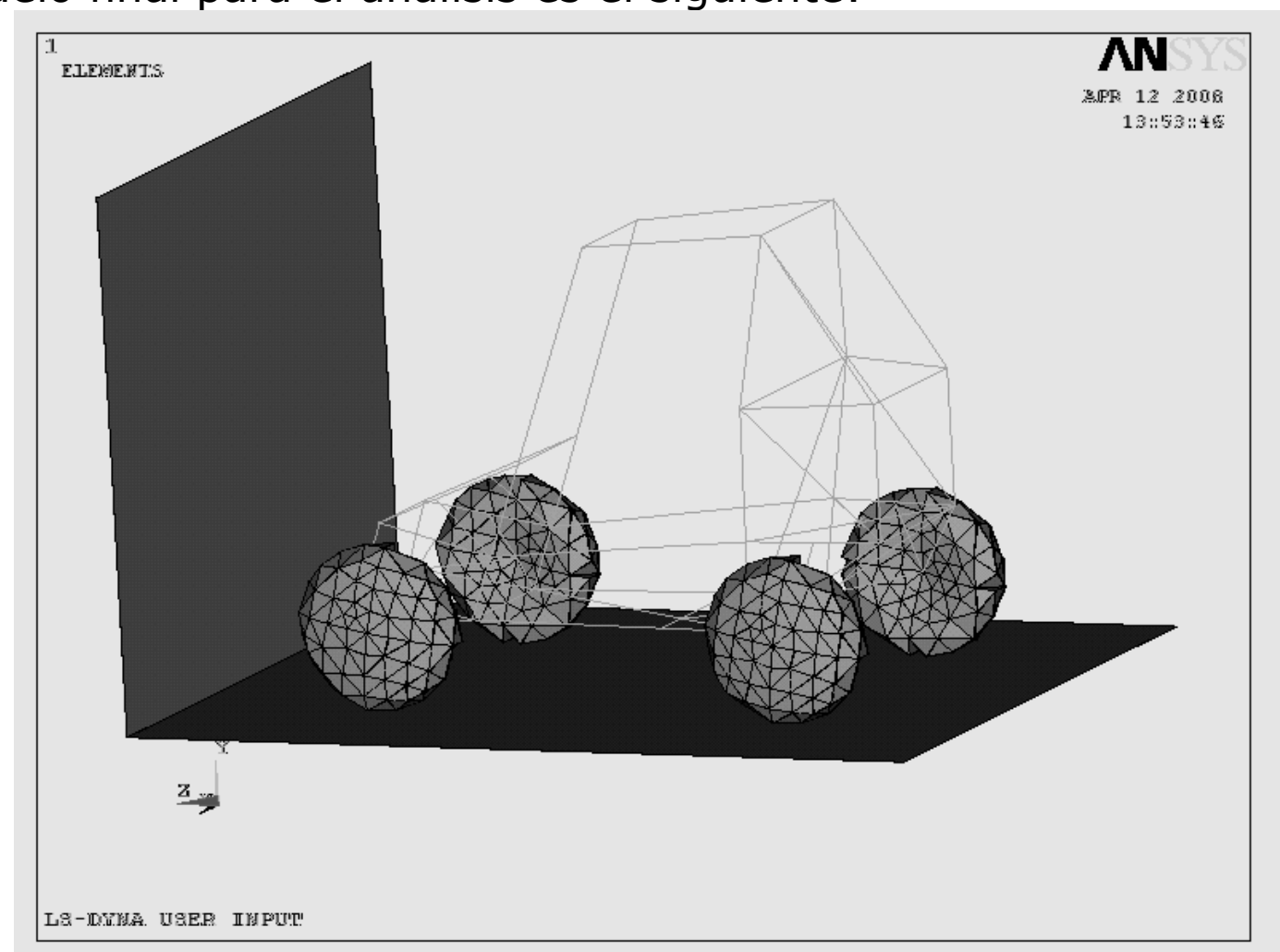




Figura 23: *Geometría final para el análisis*

2.3. Resultados

Como ya se mencionó anteriormente, la velocidad del impacto fue de 40 km/h. Aunque los estándares de la industria automotriz son distintos, esa es la velocidad estimada como máxima de nuestro vehículo.

Al observar los resultados, quedó claro que un segundo fue demasiado tiempo para la simulación, ya que el impacto ocurre aproximadamente 0.032 segundos después de iniciado el análisis, debido a que la distancia entre la pared y las ruedas (superficie que impacta primero) es pequeña.

Se presentan a continuación los esfuerzos resultantes y las deformaciones axiales producidas en el chasis.

2.3.1. Gráficos

2.3.1.1. Deformaciones

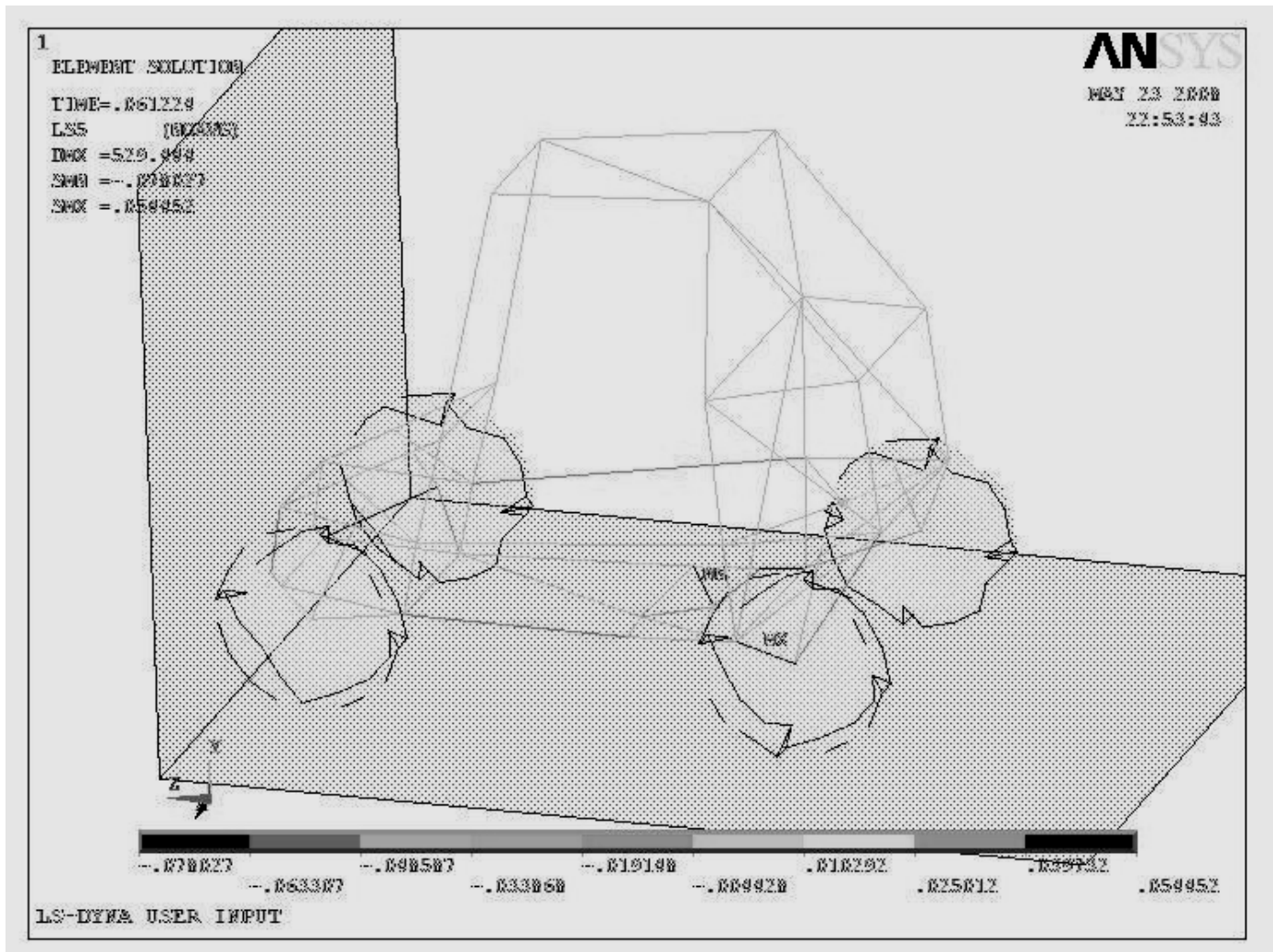


Figura 24: Momento de máxima deformación debido al impacto ($t = 0.061224s$)

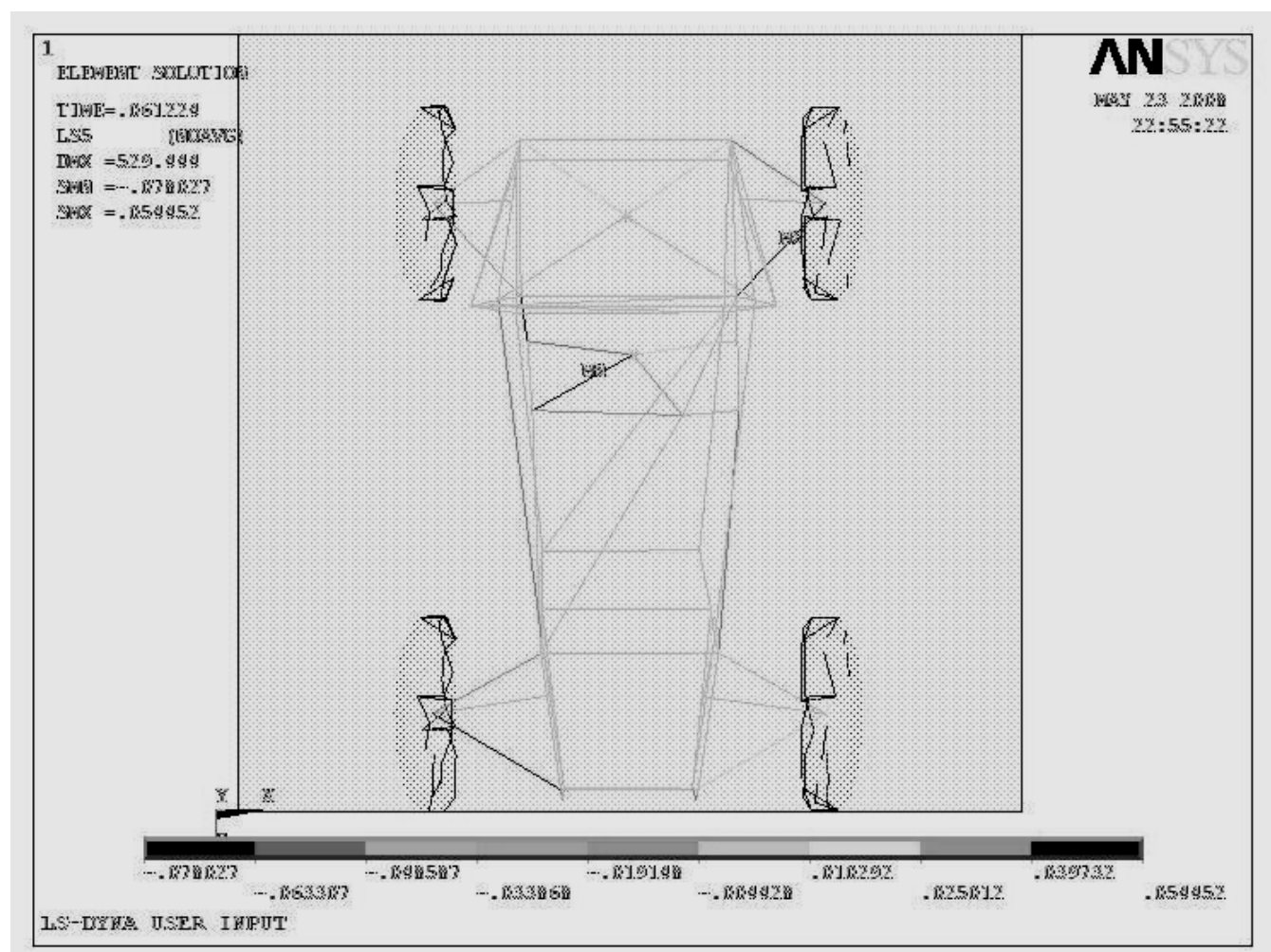


Figura 25: Vista superior del instante crítico ($t = 0.061224s$)

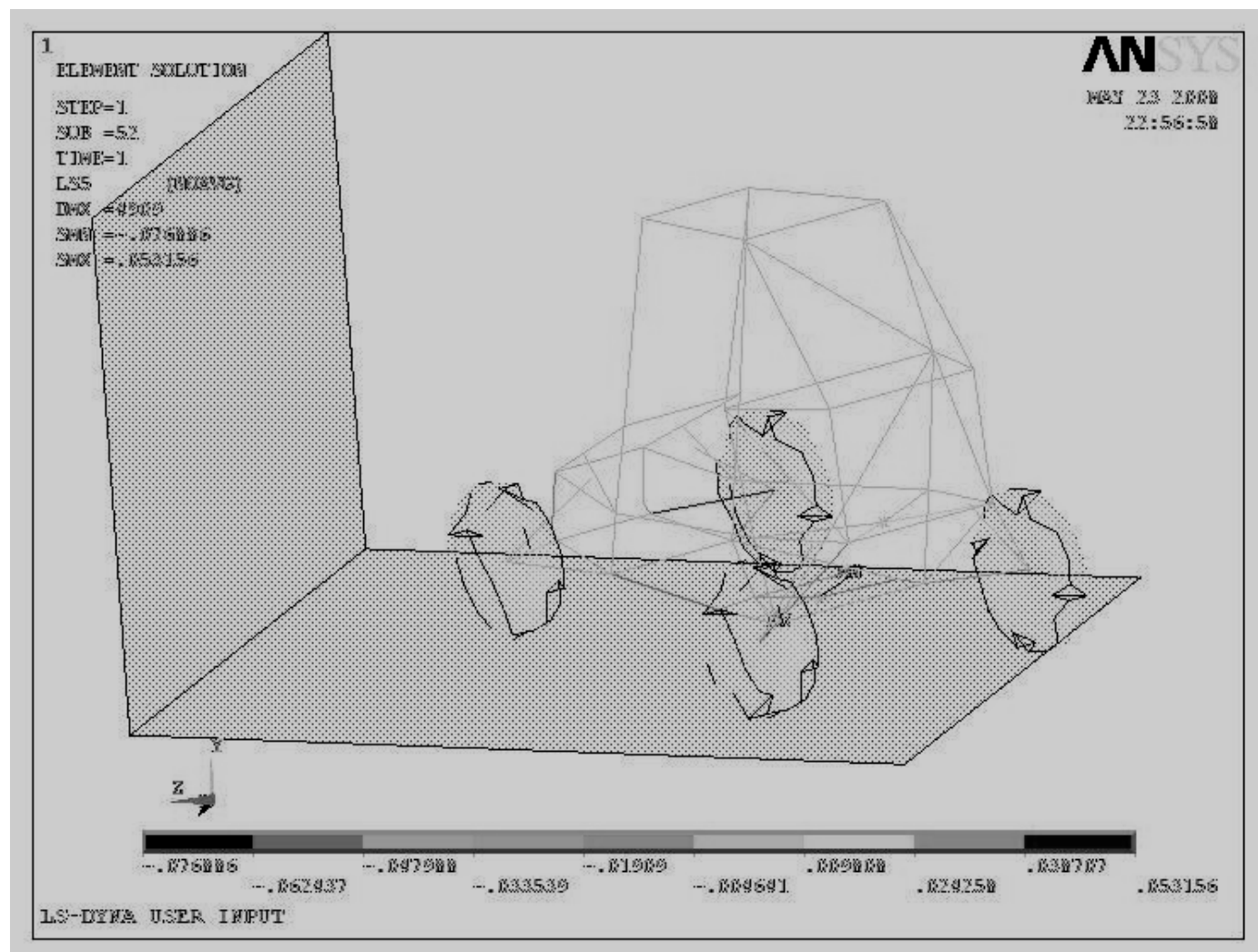


Figura 26: Deformaciones al final de la simulación ($t = 1s$)

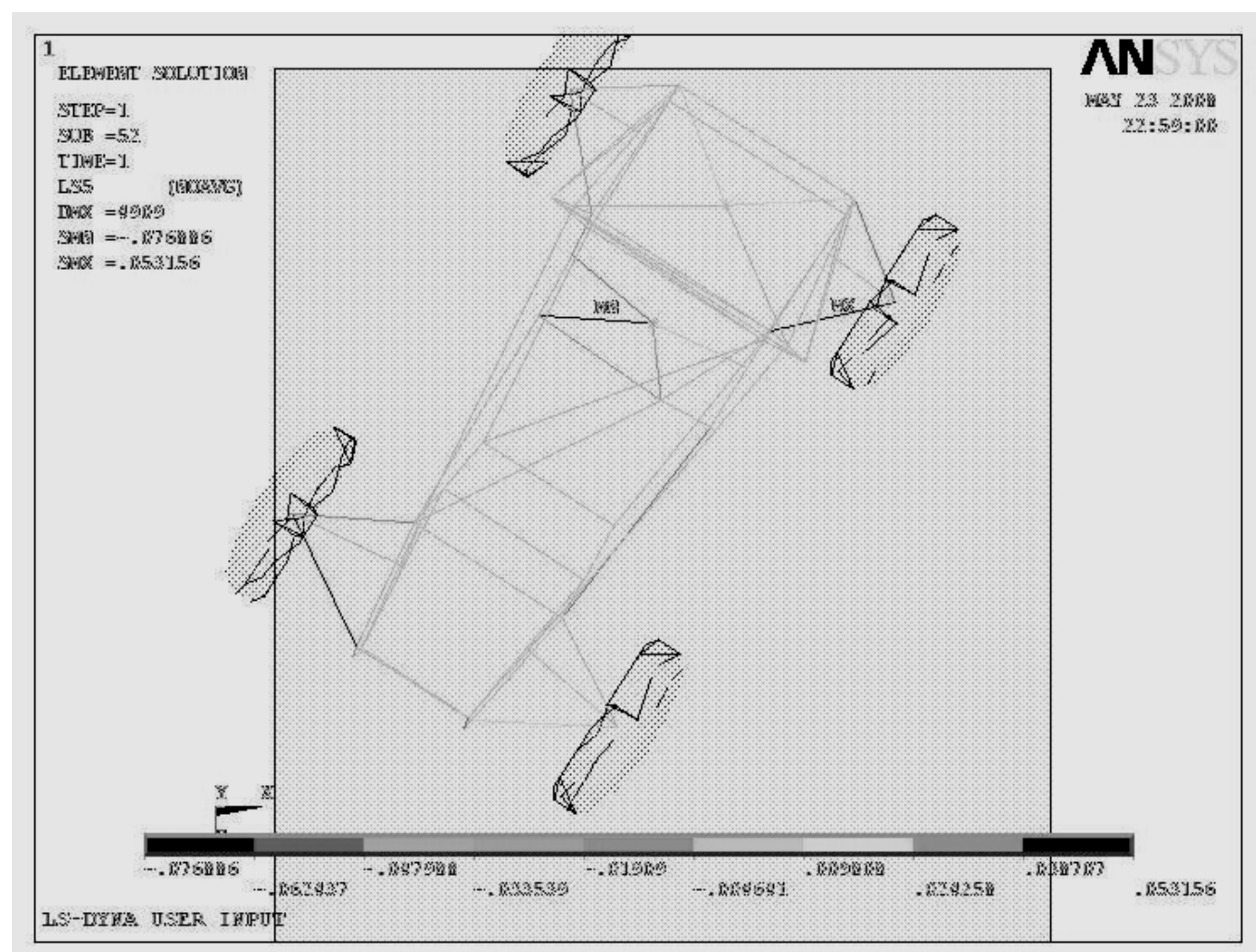


Figura 27: Vista superior de deformaciones al final de la simulación
($t = 1s$)

2.3.1.2. Esfuerzos

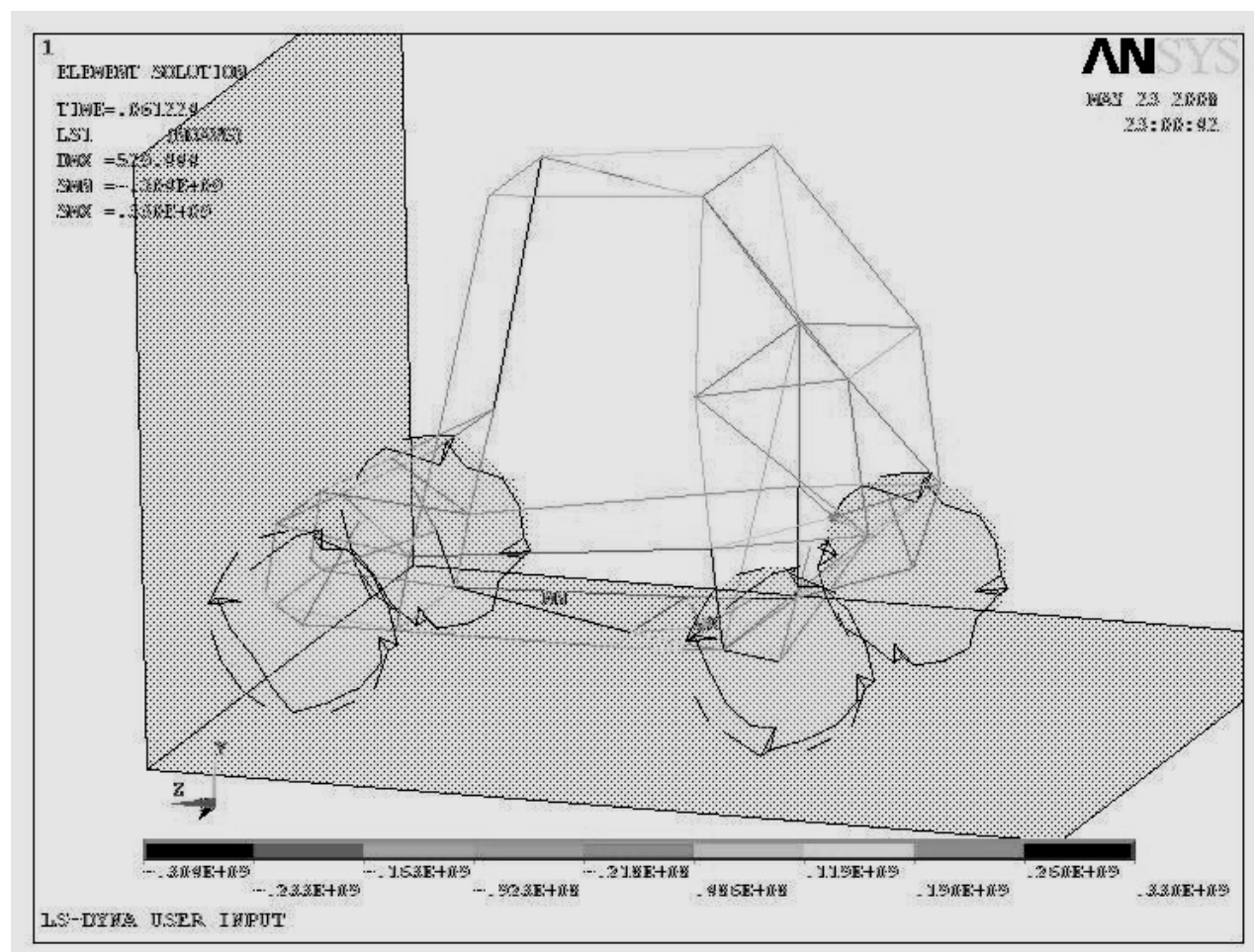


Figura 28: Esfuerzos generados en el instante crítico ($t = 0.061224s$)

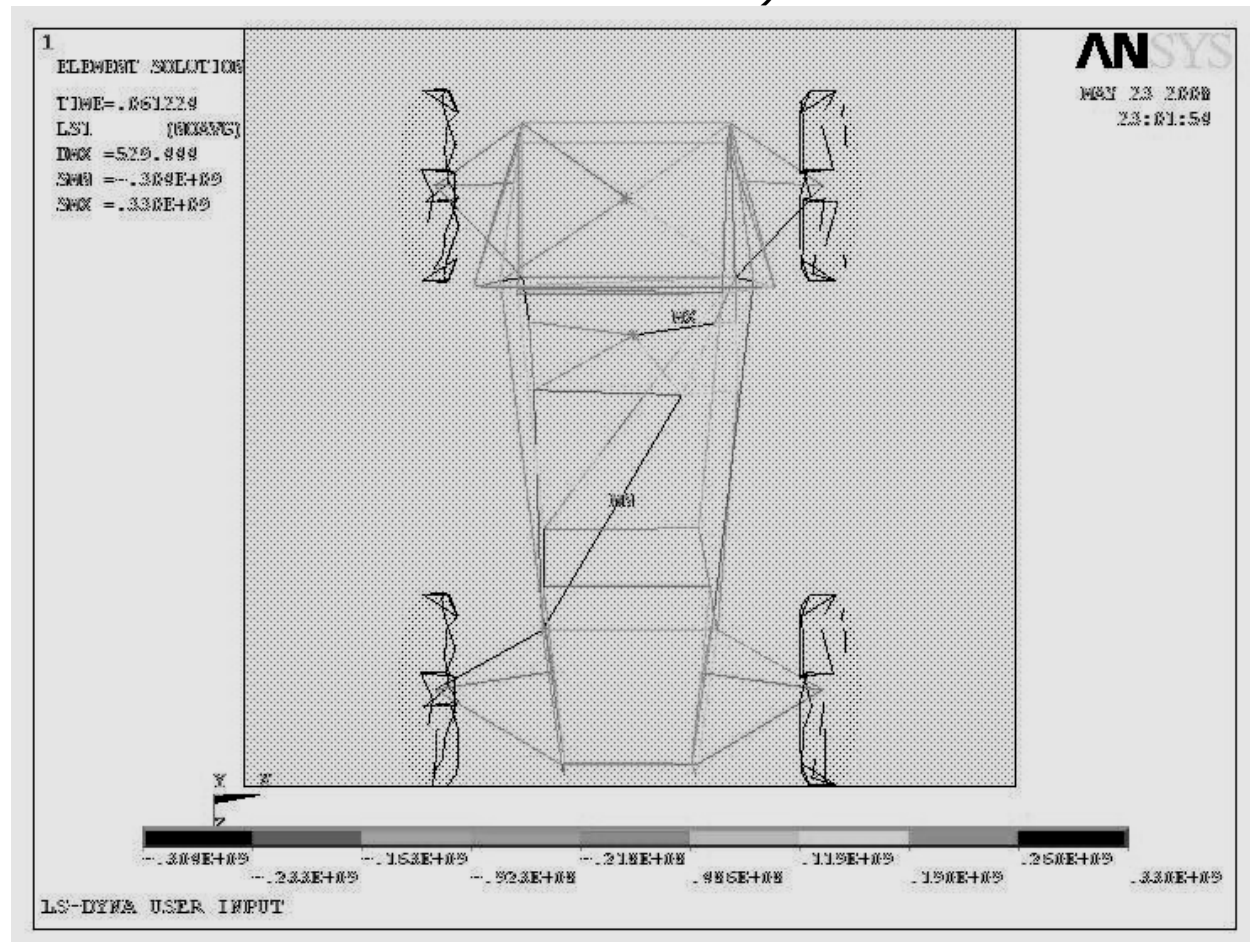


Figura 29: Vista superior de esfuerzos generados en el instante crítico ($t = 0.061224s$)

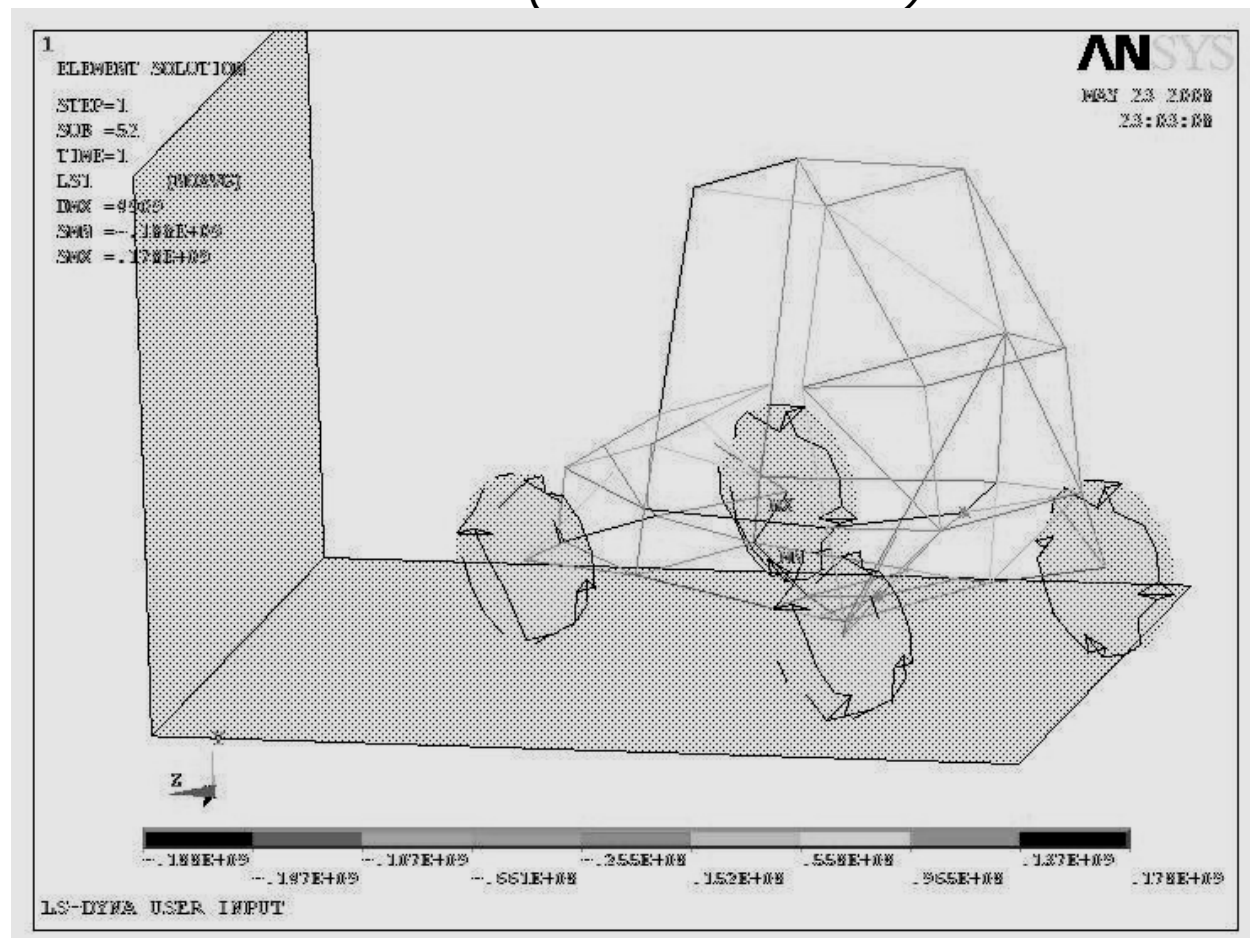


Figura 30: Esfuerzos al final de la simulación ($t = 1s$)

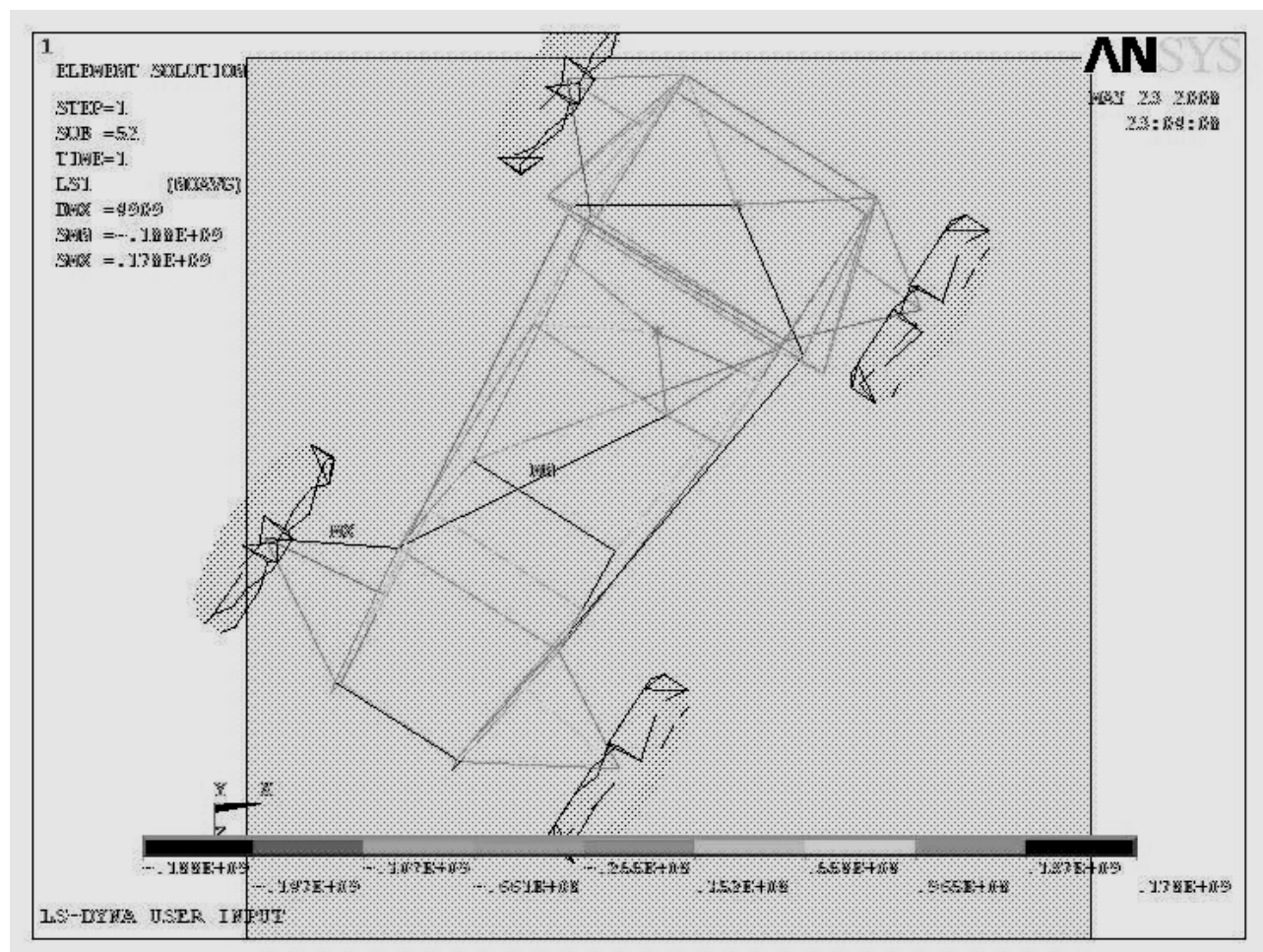


Figura 31: Vista superior de los esfuerzos al final de la simulación ($t = 1s$)

2.3.2. Numéricos

Los valores numéricos que se presentan a continuación son los producidos en el momento crítico del impacto ($t = 0.061224s$), a excepción de las deformaciones que también se reportan al final de la simulación ($t = 1s$).

Para comprender los valores numéricos que se presentan en las tablas de esfuerzos y deformaciones, es necesario primero conocer la localización y numeración de los elementos del carro.

La siguiente figura presenta su numeración, sin embargo, aparecen exclusivamente los elementos del chasis. No se presentan aquellos que conforman las superficies de contacto, las masas y las llantas, ya que al no importarnos su comportamiento y por lo tanto haberse modelado como totalmente rígidos sus valores de esfuerzo y deformación son cero.

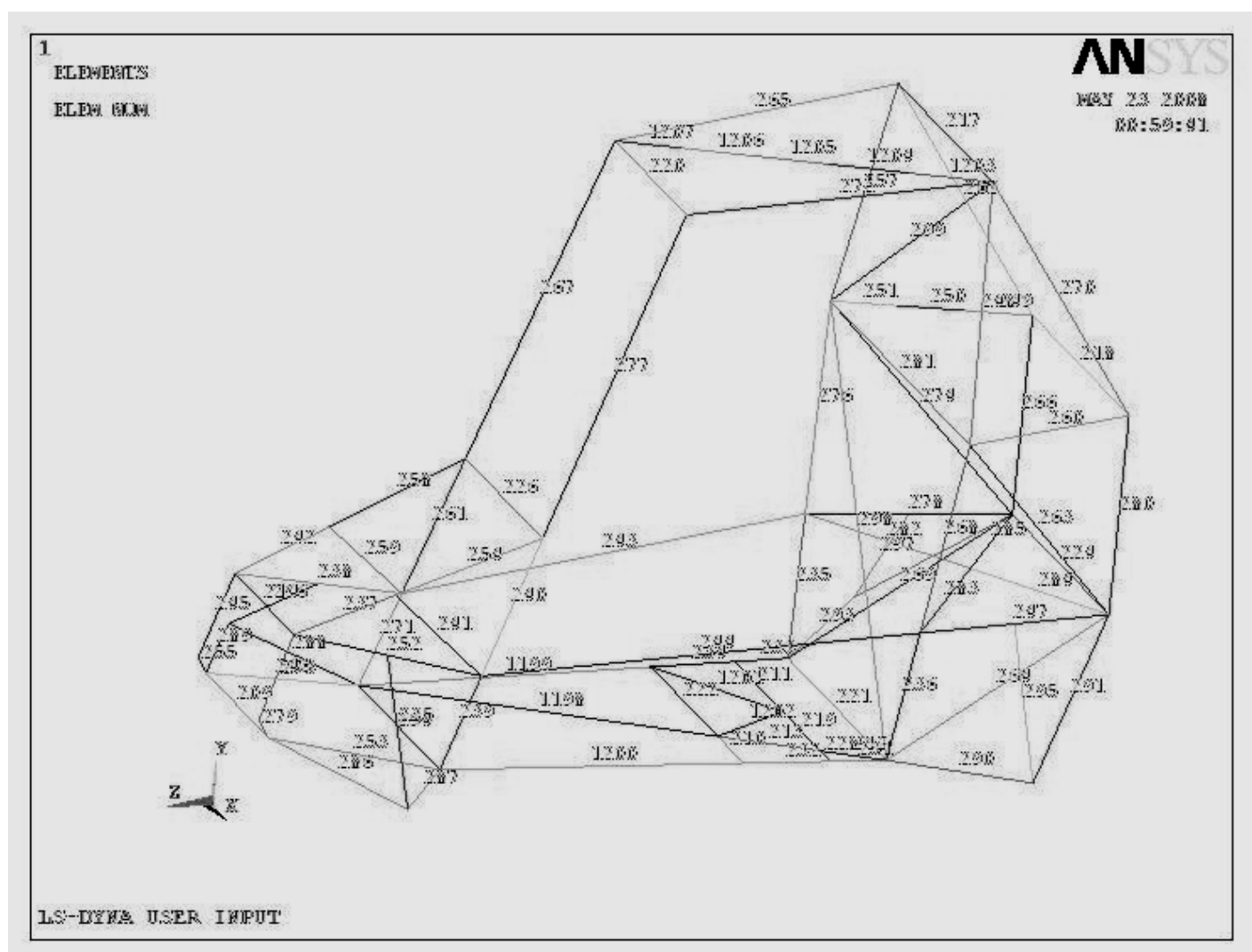


Figura 32: Numeración de los elementos del carro

2.3.2.1. Deformaciones

La siguiente tabla enlista las deformaciones axiales en el instante crítico ($t = 0.061224s$).

Elemento:	Deformación:	Elemento:	Deformación:	Elemento:	Deformación:
209	5.54E-03	246	-7.66E-03	279	3.31E-02
210	5.16E-03	247	-5.12E-04	280	-6.12E-05
211	-7.75E-03	248	4.48E-04	281	1.34E-04
212	4.58E-03	249	-3.63E-04	282	-5.28E-04
213	1.51E-03	250	-4.11E-04	283	1.47E-03
214	1.81E-05	251	7.91E-04	284	1.25E-02
217	1.97E-04	252	-7.22E-04	285	1.11E-02
218	2.39E-04	253	8.42E-04	286	1.15E-02
219	2.10E-02	254	3.66E-04	287	3.58E-03
220	8.66E-04	255	3.24E-02	288	-2.02E-02
221	2.46E-03	257	7.06E-04	289	5.09E-02



222	3.12E-02	258	-4.72E-04	290	5.45E-02
224	-2.16E-03	259	1.54E-04	291	-6.97E-03
225	-3.12E-03	260	-1.31E-04	292	7.94E-03
226	1.24E-04	261	-2.37E-04	293	3.83E-02
228	-4.20E-03	262	5.20E-04	294	1.74E-03
231	-1.88E-04	263	-1.74E-04	295	-8.27E-04
232	5.53E-04	264	-9.44E-04	296	-1.38E-04
233	3.98E-02	265	1.94E-03	297	-1.81E-03
234	1.38E-03	266	-2.97E-04	298	2.38E-04
235	1.87E-03	267	3.42E-03	299	2.16E-04
236	1.31E-03	268	9.03E-04	1198	-4.09E-03
237	-9.94E-05	269	-4.58E-04	1199	-2.27E-03
238	7.05E-05	270	5.83E-04	1200	-6.75E-03
239	8.31E-03	271	1.39E-03	1201	-7.80E-02
240	-2.74E-04	272	3.28E-03	1202	-4.34E-02
241	-3.14E-04	273	-4.50E-04	1203	2.93E-03
242	3.52E-04	274	1.56E-04	1204	3.22E-04
243	-4.65E-03	276	-1.95E-03	1205	-7.56E-05
244	-1.27E-03	277	8.92E-04	1206	-4.87E-04
245	-1.26E-04	278	2.63E-04	1207	-2.34E-03

Tabla 2: Deformaciones en el instante crítico

Valores Mínimos		Valores Máximos	
Elemento	1201	Elemento	290
Deformación	-7.80E-02	Deformación	5.45E-02

Tabla 3: Deformaciones máximas en el instante crítico

La figura 24 muestra la localización de dichos elementos.

Las deformaciones al final del impacto ($t = 1s$) son las siguientes:

Elemento:	Deformación:	Elemento:	Deformación:	Elemento:	Deformación:
209	5.21E-03	246	-7.42E-03	279	3.33E-02
210	4.04E-03	247	-2.95E-04	280	1.80E-04
211	-7.39E-03	248	2.04E-04	281	-8.74E-05



212	4.54E-03	249	6.17E-04	282	-8.96E-04
213	1.04E-03	250	1.24E-04	283	1.13E-04
214	1.19E-04	251	2.67E-05	284	1.17E-02
217	-1.54E-04	252	6.17E-05	285	1.11E-02
218	-6.18E-05	253	5.89E-04	286	1.12E-02
219	1.93E-02	254	5.30E-04	287	2.53E-03
220	7.72E-04	255	2.51E-02	288	-2.06E-02
221	2.31E-03	257	4.77E-04	289	5.05E-02
222	3.16E-02	258	1.96E-04	290	5.32E-02
224	-2.47E-03	259	3.17E-04	291	-6.96E-03
225	-3.79E-03	260	-2.65E-04	292	8.63E-03
226	1.76E-04	261	-6.61E-05	293	3.73E-02
228	-3.12E-03	262	5.15E-04	294	2.23E-03
231	-3.50E-04	263	-2.53E-04	295	-3.08E-04
232	8.98E-05	264	-1.18E-03	296	-1.83E-04
233	3.48E-02	265	1.95E-03	297	-2.11E-03
234	5.16E-05	266	-3.27E-04	298	1.14E-05
235	9.41E-04	267	2.68E-03	299	3.37E-04
236	2.14E-04	268	7.20E-04	1198	-3.59E-03
237	-4.61E-04	269	-4.99E-04	1199	-1.69E-03
238	3.54E-04	270	8.38E-04	1200	-6.67E-03
239	7.01E-03	271	1.77E-03	1201	-7.69E-02
240	5.08E-04	272	3.16E-03	1202	-4.41E-02
241	-1.97E-04	273	-4.00E-04	1203	2.41E-03
242	-7.09E-05	274	-1.82E-04	1204	3.07E-05
243	-4.21E-03	276	-1.54E-03	1205	7.67E-05
244	-1.04E-03	277	7.41E-04	1206	-1.23E-03
245	-2.88E-04	278	1.24E-04	1207	-1.74E-03

Tabla 4: Deformaciones al final del impacto en el chasis

Valores Mínimos		Valores Máximos	
Elemento	1201	Elemento	290
Deformación	-	Deformación	5.32E-



	7.69E-02		02
--	----------	--	----

Tabla 5: Deformaciones máximas al final del impacto

La figura 26 muestra la localización de estos elementos.

2.3.2.2. Esfuerzos

Los esfuerzos resultantes a los que se somete el chasis en el instante crítico ($t = 0.061224s$) son los siguientes:

Elemento :	Esfuerzo (Pa:)	Elemento :	Esfuerzo (Pa:)	Elemento :	Esfuerzo (Pa:)
209	-9.12E+07	246	-1.36E+08	279	1.86E+08
210	1.84E+08	247	-1.13E+08	280	-1.35E+07
211	-1.26E+08	248	9.91E+07	281	2.97E+07
212	-8.22E+07	249	-5.55E+07	282	-7.43E+07
213	1.56E+08	250	-9.09E+07	283	1.28E+08
214	4.00E+06	251	-4.88E+07	284	1.18E+08
217	4.36E+07	252	-1.60E+08	285	3.86E+07
218	5.29E+07	253	1.86E+08	286	-2.54E+06
219	3.30E+08	254	8.10E+07	287	2.01E+08
220	1.91E+08	255	-2.10E+08	288	2.71E+08
221	-4.81E+07	257	1.56E+08	289	-6.15E+07
222	-1.67E+08	258	-1.04E+08	290	2.88E+08
224	6.11E+07	259	3.41E+07	291	-5.96E+07
225	7.59E+07	260	-6.87E+07	292	-7.81E+06
226	2.75E+07	261	-5.24E+07	293	-1.38E+07
228	1.16E+08	262	-3.40E+07	294	-2.10E+07
231	-6.46E+07	263	-3.85E+07	295	-1.28E+08
232	1.67E+08	264	-3.91E+06	296	-2.39E+06
233	2.84E+08	265	1.24E+08	297	-7.19E+06
234	2.25E+08	266	-6.56E+07	298	5.25E+07
235	2.62E+08	267	2.69E+08	299	4.77E+07
236	2.76E+08	268	9.95E+07	1198	-3.04E+08
237	-2.20E+07	269	6.17E+07	1199	-2.29E+08
238	1.56E+07	270	4.50E+07	1200	-1.53E+08
239	4.30E+07	271	-1.04E+08	1201	-1.28E+08
240	-6.06E+07	272	1.04E+08	1202	1.16E+08



241	-6.95E+07	273	2.13E+08	1203	1.20E+08
242	7.78E+07	274	3.44E+07	1204	7.12E+07
243	-1.04E+08	276	-7.26E+06	1205	3.73E+07
244	-2.09E+08	277	1.97E+08	1206	6.37E+07
245	-2.79E+07	278	5.82E+07	1207	-1.03E+08

Tabla 6: Esfuerzos en el instante crítico en el chasis

Valores Mínimos		Valores Máximos	
Elemento	1198	Elemento	219
Esfuerzo (Pa)	-3.04E+08	Esfuerzo (Pa)	3.30E+08

Tabla 7: Esfuerzos máximos

La figura 28 muestra los elementos sometidos a los máximos esfuerzos de tensión y compresión.

2.4. Comentarios

En primer lugar, se puede apreciar que se realizó un tiempo de simulación demasiado largo. El momento crítico del impacto ocurre muy rápido ($t=0.061224s$) debido a la cercanía entre la pared y el carro y la velocidad del mismo. Al final del segundo de simulación el carro rebotó y se desplazó una gran distancia debido a la energía del impacto y a que no se consideró fricción entre las llantas y el piso.

Cabe destacar también que los elementos que sufrieron las máximas deformaciones de tensión y compresión, no son los mismos que los que están sometidos a los máximos esfuerzos, según los resultados reportados. Esto se puede explicar ya que las deformaciones que reporta el elemento utilizado para modelar el chasis, son deformaciones axiales, mientras que los esfuerzos que se pueden obtener del análisis de dicho elemento son esfuerzos resultantes, no esfuerzos axiales.

De cualquier forma, sería mejor considerar como parámetro de diseño los esfuerzos resultantes que las deformaciones axiales, ya que



los esfuerzos resultantes involucran también la componente de esfuerzo cortante en dirección tangencial al elemento, que no se debe descartar ya que hay elementos que podrían estar sometidos a distintos esfuerzos además de los de tensión y compresión.

Considerando la magnitud de los esfuerzos obtenidos, se puede apreciar que no se llega al esfuerzo de cedencia. Los esfuerzos máximos a los que se somete la estructura del chasis son de 304MPa a compresión y de 330Mpa a tensión, siendo el esfuerzo de cedencia del material de 350MPa.

También resulta importante resaltar la localización del elemento sometido al esfuerzo máximo de tensión. Éste elemento es uno de los que soportan el punto elegido para concentrar la masa del piloto. Hay que recordar que el arreglo real de los elementos que soportan la masa del piloto es distinto, ya que el asiento (donde irá asentado el peso del ocupante), cuenta con cuatro puntos de apoyo, lo que disminuiría el esfuerzo real de esta zona en caso de una colisión. Sin embargo, como se aclaró antes, se escogió esta localización del punto de masa del chofer para simplificar el análisis y el establecimiento de la geometría del chasis.

El elemento sometido al máximo esfuerzo de compresión es uno de los que conforman el piso del vehículo. Al ser la geometría del piso idéntica en el software y en el chasis real, queda clara la necesidad de éste elemento transversal para convertir en una armadura la estructura que conforma el piso del chasis, que de otra forma sería un marco y estaría sometido a esfuerzos probablemente mayores.

Otro aspecto a considerar es el hecho de que con la geometría propuesta, las llantas impactan con la pared antes que los elementos frontales del chasis. Las llantas se modelaron como superficies totalmente rígidas para ahorrar tiempo de cálculo, ya que son los componentes con el mayor número de elementos y su comportamiento no es de importancia para el análisis. Sin embargo, esta condición dista mucho de la realidad, donde la suavidad de las llantas atenuaría enormemente la fuerza del impacto.



Al revisar los resultados obtenidos, resulta evidente que la configuración propuesta para el chasis soportaría un impacto frontal a una velocidad de 40km/h.

CAPITULO III



Manufactura

CAPITULO III. Manufactura

3.1. Introducción

En este apartado hablaremos lo concerniente a fabricación y procesos de manufactura para lograr el ensamblado del chasis de competencia Mini Baja SAE. Este proceso es considerado fundamental ya que si no hay una buena construcción no se cumplirán los resultados arrojados por el análisis y por lo tanto no se cumplirán los objetivos deseados.

3.2. Selección del Material

3.2.1. Tipos de Acero



Los perfiles tubulares de acero pueden estar conformados en caliente, que pueden presentar costura o no, o conformados en frío que siempre van soldados.

Acero conformado en caliente

El acero conformado en caliente presenta un tamaño de grano grande por lo que después de ser conformado ha de ser sometido a otro tratamiento para mejorar sus propiedades mecánicas ya que éstas mejoran con el tamaño de grano fino).

Actualmente la implantación de los aceros microaleados, y la tecnología de nuevos procesos han permitido eliminar los costosos tratamientos finales que eran necesarios para conseguir las propiedades mecánicas necesarias.

Acero conformado en frío o tibio

Esta técnica elimina los procesos finales obteniendo una ventaja competitiva en el mercado ya que el coste es menor. En algunos casos se puede obtener directamente la pieza final dentro de tolerancias, mientras que en el conformado en caliente es realmente difícil ya que no se tiene el control durante el proceso de contracción.

Por este método se consiguen buenas propiedades mecánicas sin necesidad de tratamientos térmicos posteriores. El laminado en frío de los perfiles proporciona un incremento del límite elástico debido al endurecimiento por deformación. Sin embargo este incremento puede utilizarse en el diseño solamente para perfiles RHS (perfiles tubulares rectangulares) en elementos a tracción y compresión, y no puede tenerse en cuenta si los miembros están sometidos a flexión.

Los tubos utilizados en este proyecto son de sección circular, con lo que no se considera el poder utilizar esta aplicación de los aceros. Pero tomando en cuenta las buenas propiedades mecánicas de este material y la facilidad de conseguirlo en el mercado se optó por esta opción para este proyecto.



3.2.2. Propiedades Mecánicas y Físicas del Material:

El material con el que se fabricó el chasis es acero al carbón, fabricado bajo la norma ASTM - A513 con un grado SAE 1010.

La Composición Química es:

%máx. Carbon	0.08	-
	0.13%	
%máx.	0.60	-
Manganese	0.30%	
%máx. Fósforo	0.35%	
%máx. Azufre	0.35%	

El modulo de Elasticidad (E)

A tensión	221 MPa
Cedencia	350 MPa
Elongación	15% en un A = 2 in ²

Dureza es de 73 HBR

3.3. Corte del Material

Se suelen utilizar dos métodos para el corte de perfiles tubulares, el corte por:

Aserrado-fresado y el corte por soplete. El corte por aserrado presenta la ventaja de que es más barato y su ejecución es más sencilla. Con el corte por soplete se puede obtener un acabado mejor en la zona de corte, pero en este caso no es necesario porque al final siempre se tendrá que realizar una preparación de los extremos de los tubos para la soldadura.

Se pueden utilizar distintas herramientas para el corte de los tubos de sección circular, siendo una de las más comunes la sierra circular, de

avance hidráulico o manual y para acabados la fresadora vertical con una herramienta de corte del diámetro del tubo, a dar el acabado en este caso de una pulgada. Este proceso de acabado en las uniones soldadas es para una mayor área de contacto entre los elementos que se soldan y un ahorro en la soldadura a utilizar y por lo tanto una mejor sujeción sin agregar tanto material obsoleto. En la siguiente figura se muestra los logros que se obtienen al utilizar la fresadora como herramienta de acabado para una mejor unión aun sin soldadura.

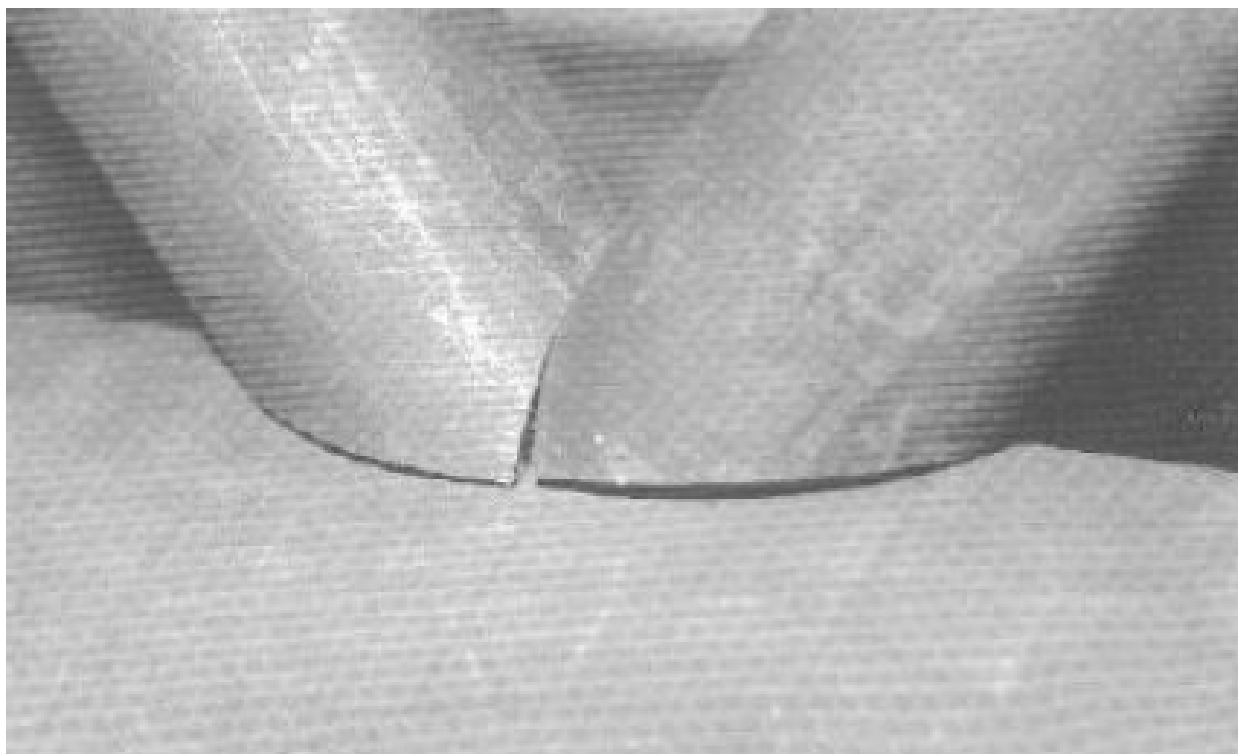


Figura 33: Corte con Fresadora*

*Procesos de Materiales de Manufactura para Ingenieros / Doyle L.E., Prentice Hall, 1998

3.4. Métodos de Curvado

En este proceso pueden aparecer pliegues en la parte interna del material y reducirse el espesor de la parte externa. El material utilizado influye directamente en la formación de estos defectos.

Los parámetros del material que influyen en los defectos de este proceso:

- Bajo límite elástico.
- Alta resistencia última del material
- Considerable alargamiento en la rotura a tracción.

Factores geométricos:

- Espesor del perfil con respecto al diámetro del perfil de sección circular hueca.
- Relación del radio de curvado con respecto al diámetro del perfil.

3.4.1. Curvado en Frío por Presión

Se coloca el perfil entre dos rodillos fijos (en los extremos), mientras que se ejerce presión con un rodillo central curvando el perfil.

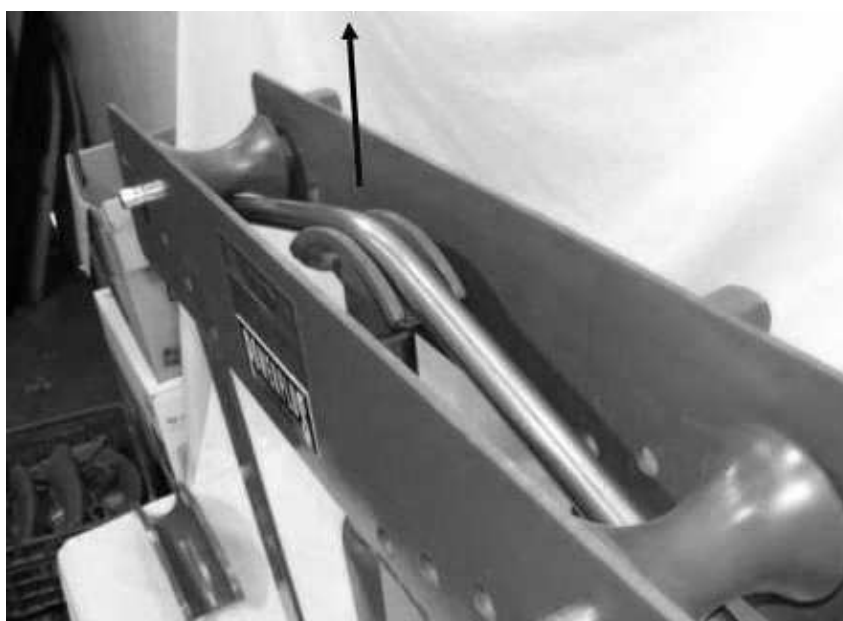


Figura 34: *Curvado en frío por presión**

**Procesos de Materiales de Manufactura para Ingenieros / Doyle L.E., Prentice Hall, 1998*

En este proceso es necesario tener en cuenta el diámetro del rodillo que ejerce la presión en función del radio de curva que se desea, así como la separación de los rodillos.

3.4.2. Curvado en frío mediante caja

Este proceso no es muy útil en el caso de la fabricación del chasis, ya que la curvatura debe darse cerca de los extremos del tubo y tener que realizar muchas curvaturas iguales para que salga rentable, puesto

que la caja que sirve de guía tiene un coste bastante alto. Las curvas en los tubos del modelo no son muy numerosas y además se dan en zonas centrales del tubo con lo que este proceso pierde su atractivo, ya que reduce costes sólo para altas cantidades de producción.

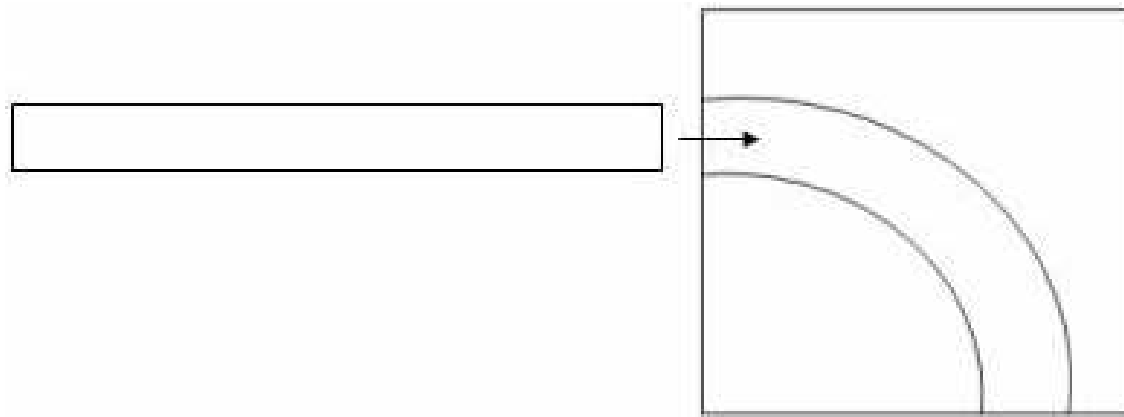


Figura 35: *Curvado en mediante caja**

3.4.3. *Curvado por rodillos giratorios*

Es una de las técnicas más utilizadas por los fabricantes que necesitan curvar tubos. El radio de los rodillos depende del radio del perfil y para obtener el radio de curvatura se debe tener en cuenta la separación de los rodillos.

**Procesos de Materiales de Manufactura para Ingenieros / Doyle L.E., Prentice Hall, 1998*

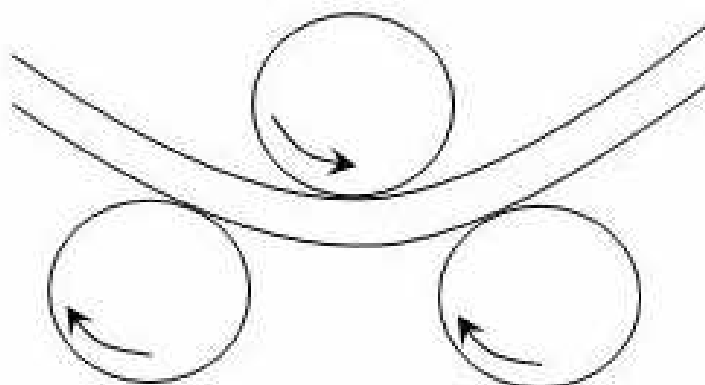


Figura 36: *Curvado por rodillos giratorios**

Para conformado en frío, el límite mínimo de radio de curvatura es aproximadamente igual a 5 veces el diámetro exterior del perfil.



Este fue el método más adecuado que encontramos para solucionar nuestro problema y el más económico.

3.5. Soldadura MIG ó GMAW

3.5.1. Descripción

En la década de 1940 se otorgó una patente a un proceso que alimentaba electrodo de alambre en forma continua para realizar soldadura con arco protegido por gas. Este resultó el principio del proceso MIG (siglas del inglés de Metal Inert Gas), que ahora posee la nomenclatura AWS y CSA de soldadura con gas y arco metálico GMAW (siglas del inglés de Gas Metal Arc Welding). Este tipo de soldadura se ha perfeccionado desde sus comienzos. En algunos casos se utilizan electrodos desnudos y protección por gas, y en otros casos se utilizan electrodos recubiertos con fundentes, similares a los utilizados en los procesos de arco protegido convencionales. Existe como otra alternativa, electrodos huecos con núcleo de fundente. Para algunos procesos particulares, se pueden combinar el uso de electrodos con fundente (recubiertos o huecos) juntamente con gas protector. En este sistema se reemplaza el Argón (utilizado en el proceso TIG) por Dióxido de Carbono (CO₂). El electrodo es alimentado en forma continua desde el centro de la pistola para soldadura.

**Procesos de Materiales de Manufactura para Ingenieros / Doyle L.E., Prentice Hall, 1998*

Este sistema está definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. En este momento, este proceso de soldadura, a nivel industrial, es uno de los más importantes. El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y la gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones es casi infinita.

La soldadura Mig es inherentemente más productiva que la MMA (Soldadura de arco manual), donde las pérdidas de productividad ocurren cada vez que el soldador se detiene para reemplazar el electrodo consumido. En la soldadura de arco manual también es



notable la pérdida cuando el restante del electrodo que es sujetado por el porta electrodo es tirado a la basura, en algunos casos es reciclado.

Por cada Kilogramo de varilla de electrodo cubierto comprado, solamente al rededor del 65% es aprovechado como parte de la soldadura, el resto es tirado a la basura o solo en algunos casos reciclado. El uso de alambre sólido y el alambre tubular ha incrementado la eficiencia entre 80-95 % a los procesos de soldadura.

El proceso MIG opera en DC. (corriente directa) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como "Polaridad Negativa" (reverse polarity), La "Polaridad Positiva" (straight polarity) es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

Continuos desarrollos al proceso de soldadura MIG lo han convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes como el acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 0.76 mm (.0.030-in) de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, incluyendo "de piso", vertical y sobre cabeza.

Es muy simple escoger el equipo, el alambre o electrodo, el gas de la aplicación y las condiciones optimas para producir soldaduras de alta calidad a muy bajo costo.

El proceso básico MIG incluye tres técnicas muy distintas: Transferencia por "Corto Circuito", transferencia "Globular" y la transferencia de "Arco Rociado (Spray Arc)". Estas técnicas describen la manera en la cual el metal es transferido desde el alambre hasta la soldadura fundida.

Los factores que determinan la manera en que los metales son transferidos son la corriente de soldadura, el diámetro del alambre, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de poder y el gas utilizado en el proceso. La soldadura MIG es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición. El proceso es ampliamente usado en laminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.



El proceso de soldeo por arco con gas se denomina también:

- GMAW Gas Metal Arc Welding (ANSI/AWS A3.0)
- 13 Soldeo por arco con gas (EN 24063)

Si se emplea un gas Inerte como protección el proceso se denomina:

- MIG 131 Metal Inert Gas (ANSI/A WS A3.0)
- 131 Soldeo por arco con gas inerte (EN 24063)

SI se utiliza un gas activo como protección el proceso se denomina:

- MAG Metal Active Gas (ANSI/ A WS A3.0)
- 135 Soldeo por arco con gas activo (EN 24061)

Este proceso de soldeo puede ser automático o manual: al proceso manual se le denomina también semiautomático.

3.5.2. Equipo Básico

El equipamiento básico para GMAW consta de (fig. 37):

- Equipo para soldadura por arco con sus cables.
- Suministro de gas inerte para la protección de la soldadura con sus respectivas mangueras.
- Mecanismo de alimentación automática de electrodo continuo.
- Electrodo continuo.
- Pistola o antorcha para soldadura, con sus mangueras y cables.

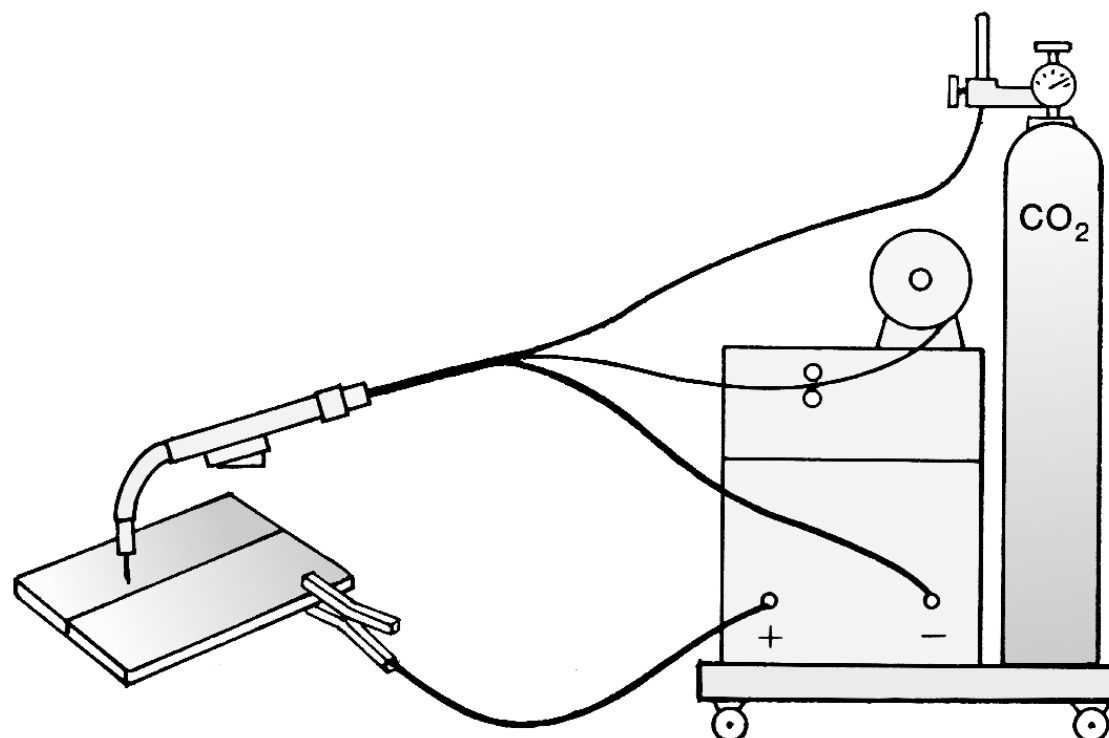


Figura 37: *Esquema básico de un equipo para soldadura MIG**

La principal ventaja de este sistema radica en la rapidez. Raramente, con el sistema MIG, es necesario detener el proceso de soldadura como ocurre con el sistema de arco protegido y TIG.

Otras de las ventajas son: la limpieza lograda en la soldadura (la mayor de todos los sistemas de soldadura por arco), la gran velocidad y, en caso de trabajar con electrodo desnudo, la ausencia total de escoria.

**Soldadura MIG y TIG / Pedro Claudio Rodríguez, 1ª Edición, 2001*

3.5.3. Funcionamiento en la Zona del Arco

Cuando los investigadores estudiaron en que forma se transferiría el metal sobre la pieza a través de un arco eléctrico en un proceso MIG o GMAW, descubrieron tres formas en que la misma se realizaba. Estas son la transferencia por inmersión o cortocircuito, la globular, y en determinadas circunstancias la transferencia por aspersion.

La transferencia por inmersión o cortocircuito se produce cuando sin haberse producido arco, al tocar el electrodo con la pieza, se queda pegado produciéndose un cortocircuito. Por dicho motivo, la corriente se incrementará lo suficiente para fundir el electrodo, quedando una pequeña porción del mismo en el material a soldar.



En la transferencia globular, las gotas de metal fundido se transfieren a través del arco por efecto de su propio peso. Es decir que el electrodo se funde y las pequeñas gotas caen a la zona de soldadura. Por lo detallado, es de suponer que esta forma de depósito no nos resultará muy útil cuando se desee realizar soldaduras en posiciones diferentes a la plana y horizontal.

La diferencia que existe entre la deposición globular y la transferencia por aspersión radica en el tamaño de las partículas metálicas fundidas que se depositan. Cuando se incrementa la corriente, la forma de transferencia de metal cambia de globular a aspersión. Esto se debe a que los glóbulos son mucho más pequeños y frecuentes, y en la práctica permite guiarlos e impulsarlos con el arco eléctrico.

En la transferencia por aspersión, se utiliza como gas protector un gas inerte puro o con una mínima proporción de oxígeno. Esto favorecerá a la conducción de la corriente eléctrica utilizada en el proceso.

Debido a las altas corrientes necesarias para lograr la transferencia, en particular con los depósitos globulares y por aspersión, el metal de aporte se vuelve muy líquido, resultando difícil controlar el correcto depósito en soldaduras fuera de posición.

La pistola se posicionará sobre la zona a soldar con un ángulo similar al que se emplearía con un electrodo revestido de soldadura por arco protegido (fig. 38). La distancia a la que deberá quedar la pistola de la superficie a soldar deberá ser la misma que la del diámetro de la boquilla de la pistola. El electrodo deberá sobresalir de la boquilla aproximadamente unos 6 milímetros. Este se alimentará en forma continua desde un rollo externo, o bien desde uno ubicado en la misma pistola .

En las pistolas con alimentación externa, están las de empuje y las de tracción (fig. 39 B y C). En las de empuje, el electrodo es empujado desde el alimentador y la pistola solo posiciona al mismo a través de sus sistemas de guiado interno, dentro de la misma. En las de tracción, varían respecto a las anteriores en que el avance del electrodo se logra por el empuje de un mecanismo interno en la pistola.

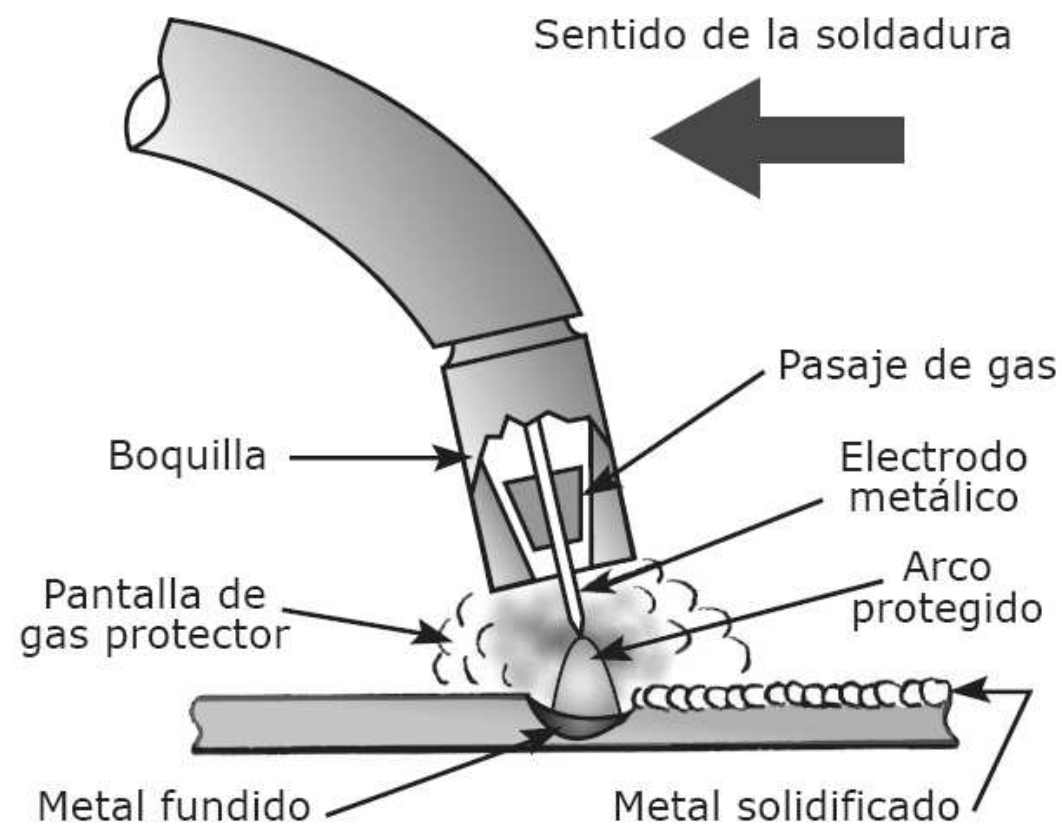


Figura 38: Ilustración de los efectos producidos de una soldadura MIG*

En las pistolas con alimentación interna, el principio de funcionamiento es similar al de las pistolas por tracción, con la salvedad de que el electrodo continuo se encuentra dentro de la misma carcasa de la pistola.

Este tipo de mecanismo resulta de utilidad para soldar en lugares reducidos en los que no se puede trasladar todo el equipo (fig. 4.3 A).

* Soldadura MIG y TIG / Pedro Claudio Rodríguez, 1ª Edición, 2001

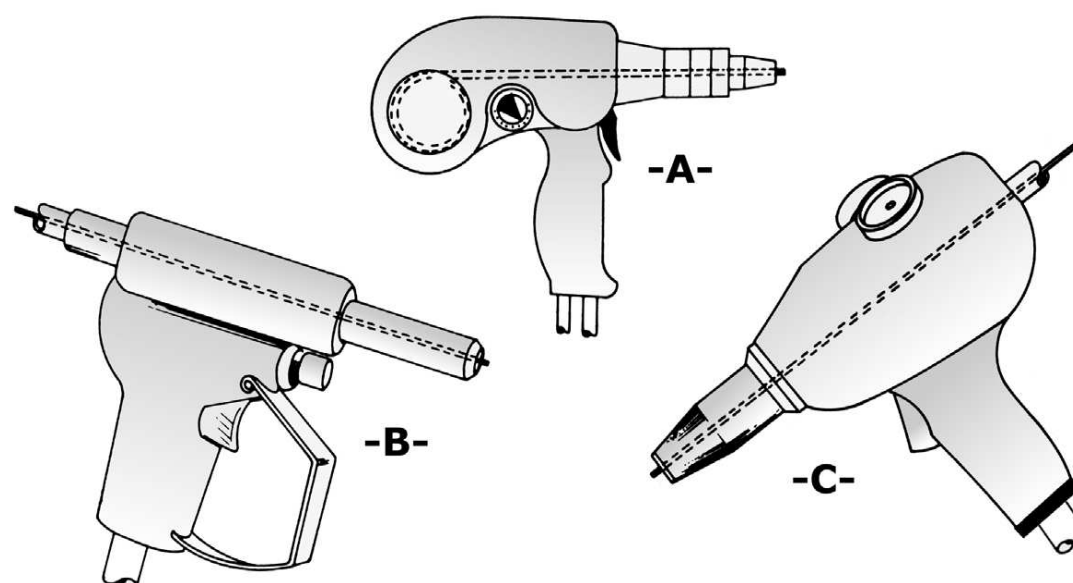


Figura 39: Ilustraciones de los tipos básicos de pistolas para soldadura MIG*

Además de lo hasta aquí detallado respecto a las pistolas, se deberá proveer a las mismas de gas protector, de corriente eléctrica y de agua para refrigeración (en el caso en que el sistema posea dicha posibilidad). Independientemente del sistema de transporte de electrodo (empuje o tracción), el mismo pasa por la parte interna de la pistola. El sistema de guiado se observa en la fig. 40.

Este consta de un sistema de guía aislada seguida de un contacto metálico que además de funcionar de guía, le proporcionará corriente continua al electrodo.

El gas de protección, en caso que se utilice, fluirá por fuera del sistema de guía ilustrado (fig. 40). Este, como en todos los otros casos descritos en que se ha utilizado, cumple la función de evitar la contaminación del metal interviniente en la soldadura, ya sea el de aporte o el de base. De él dependerá en gran medida la calidad obtenida en la soldadura.

* *Soldadura MIG y TIG* / Pedro Claudio Rodríguez, 1ª Edición, 2001

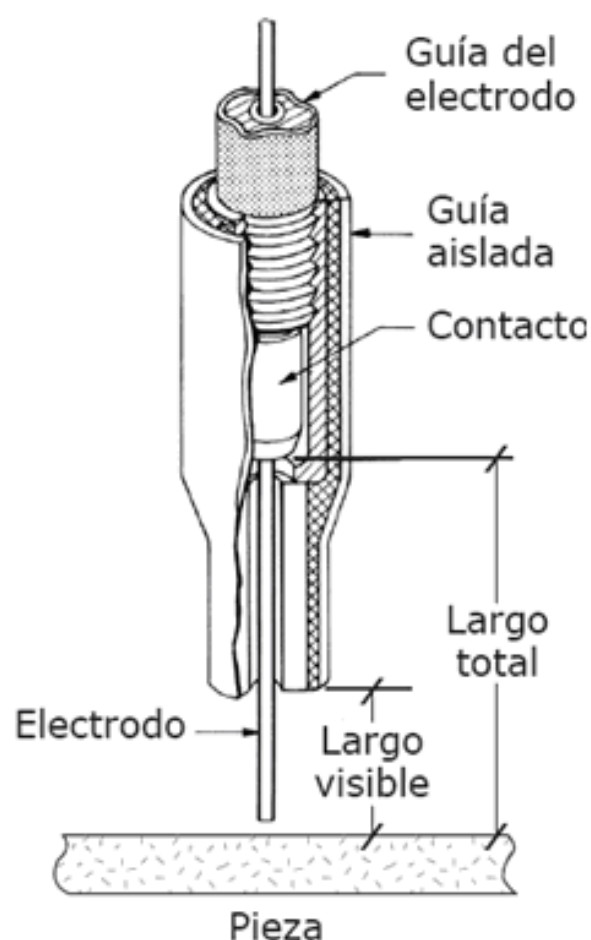


Figura 40: Sistema de guía*



Por lo general, el gas utilizado es el Dióxido de Carbono (CO_2), aunque se pueden utilizar el Argón, el Helio o una mezcla de ellos para aplicaciones específicas o particulares. Se debe poseer para la provisión de gas con flujo continuo un sistema llamado "fluxómetro", el cual administra el caudal de gas provisto a la pistola según un valor fijado por el operador en forma previa, y lo mantiene constante durante el transcurso de la operación. Este "fluxómetro" es el mismo equipo que se utiliza en los sistemas TIG ó SMAW.

La soldadura desde el punto de vista físico-químico. Se muestra en la fig. 3.5. En ella observamos un sistema de soldadura MIG. El esquema muestra un electrodo generalizado, el que puede ser macizo desnudo o recubierto, o hueco con fundente. Se ha obviado graficar el sistema de boquilla o tobera de salida de gas protector, el cual estaría por fuera del sistema de guía del electrodo esquematizado. En el sector ilustrado perteneciente a la soldadura propiamente dicha, se observan distintos sectores que a continuación analizaremos. Al generarse el arco, se eleva la temperatura y funde el material de aporte (electrodo consumible) conjuntamente con el metal base.

**Soldadura MIG y TIG / Pedro Claudio Rodríguez, 1ª Edición, 2001*

Esto se transforma en una masa incandescente (descrita en la fig. 3.5 como metal fundido). Dicha masa está compuesta por partículas desprendidas del mismo electrodo, las cuales son transferidas al metal a soldar en las tres formas posibles analizadas anteriormente (inmersión o cortocircuito, globular y aspersion). Dicha inclusión o transferencia se hará bajo un gas protector, el cual puede ser por la combustión del recubrimiento (en caso de utilizar electrodo recubierto), o por la insuflación de gas protector (CO_2). En la medida que la masa pierde temperatura, la masa metálica se va solidificando. Si se utilizó electrodo recubierto, además del metal, se formará un residuo sólido de escoria sobre la costura realizada, el cual cumple la función de proteger la soldadura hasta que la misma se enfríe. Luego de ello, este residuo deberá ser retirado mecánica o químicamente.

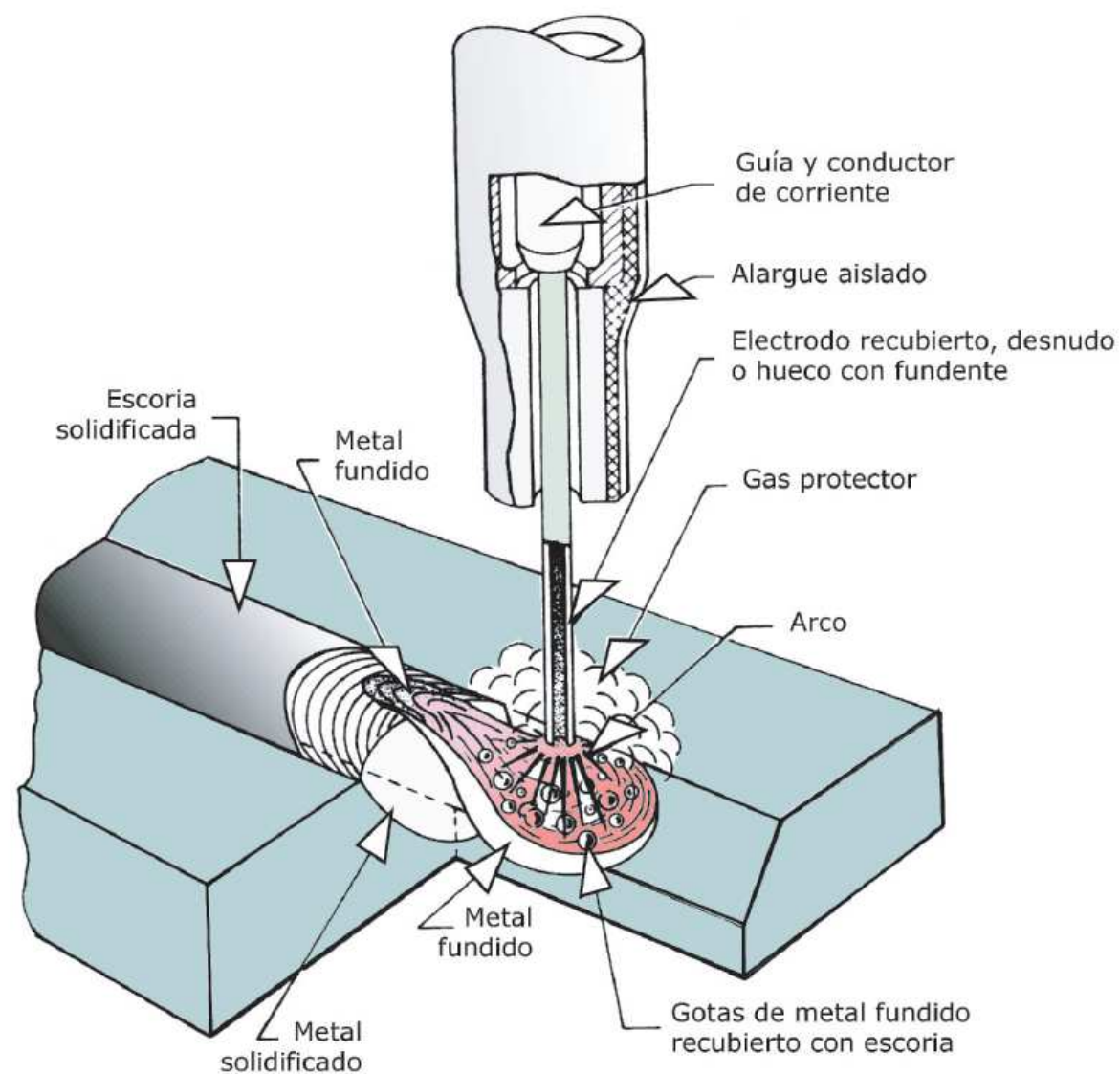


Figura 41: Ilustración de proceso de fusión en la soldadura MIG*

*Soldadura MIG y TIG / Pedro Claudio Rodríguez, 1ª Edición, 2001

Transferencias metálicas:

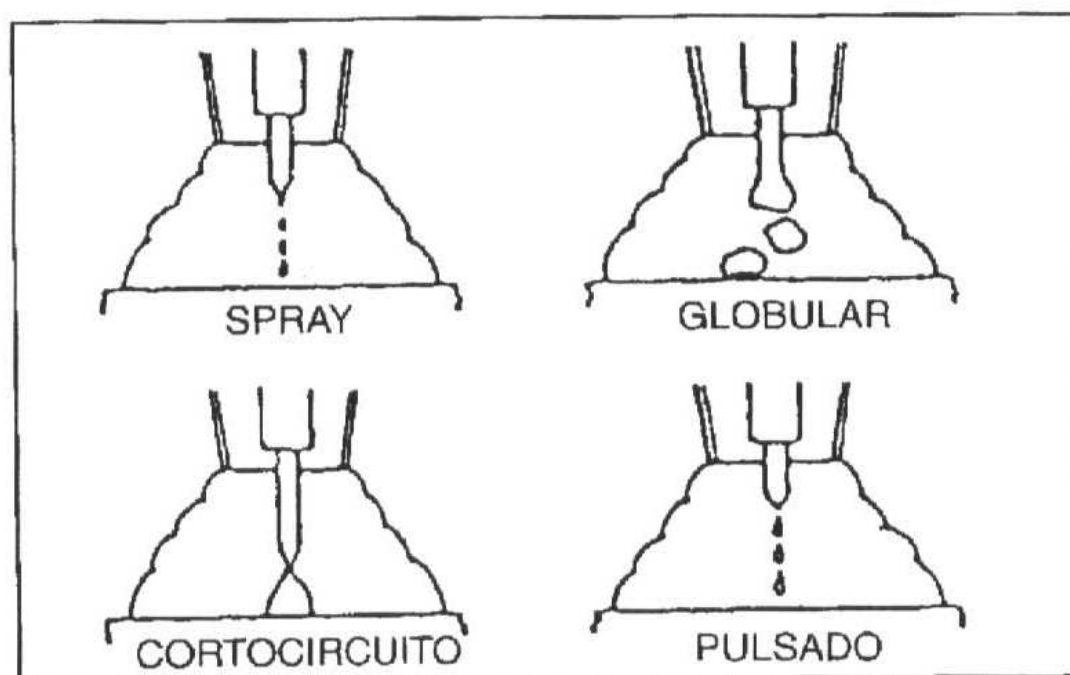


Figura 42: Transferencias metálicas*

La transferencia Spray:

El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo esta apuntado. Se tiene transferencia spray al soldar con argón, acero inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio.

Transferencia Globular:

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño, la reparación de las gotas ocurre cuando el peso de estas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlos en la punta del electrodo.

La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para reparar la gota es pequeña con relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre los 250 Amp.).

**imagen tomada de Principles of Industrial Welding / The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1978*

La transferencia globular se obtiene a soldar acero dulce en espesores mayores a 1/2" (12.7 mm) en que se requiere gran penetración.

Transferencia de corto circuito:

MIG - S

La sociedad americana de soldadura define el proceso MIG - S como "Una variación del proceso de soldadura al arco con electrodo metálico y gas en el electrodo consumible es depositado mediante corto - circuitos repetidos"

El electrodo es alimentado a una velocidad constante, con un promedio que excede la velocidad de fusión. Cuando entra en contacto con el baño fundido se produce un corto circuito, durante el cual no existe arco. Luego la corriente comienza a elevarse y calienta el alambre hasta un estado plástico. Al mismo tiempo, el alambre comienza a deformarse o angostarse debido al efecto constrictor electromagnético.

Debido a que no hay un arco establecido durante el corto circuito, el aporte total de calor es bajo, y la profundidad de calor es bajo, y la profundidad de calor también; por lo tanto, debe haber sumo cuidado al



seleccionar el procedimiento y técnica de soldadura que aseguren una función completa cuando se esté soldando un metal grueso. Debido a sus características de bajo aporte de calor, el proceso produce pequeñas zonas de soldadura fundida de enfriamiento rápido que lo hacen ideal para soldar en todas posiciones.

La transferencia de corto circuito es también especialmente adaptable a la soldadura de láminas metálicas con un mínimo de distorsión y para llenar vacíos o partes más ajustadas con una tendencia menor al sobrecalentamiento de la parte que se está soldando.

Mig pulsado (MIG - P)

En esta variación, la fuente de energía entrega dos niveles de salida: Un nivel de fondo constante, muy bajo en magnitud como para producir la transferencia, pero capaz de mantener un arco; y un nivel pulsado de alta intensidad que produce la fusión de las gotas del electrodo, que son luego transferidas a través del arco. Este pulso de salida (peak) se da en intervalos regulares controlados. La corriente puede tener ciclos entre un valor alto y bajo hasta varios cientos del ciclo, por segundo. El resultado neto es la producción de arco spray con niveles de corriente promedio mucho más bajos que la corriente de transición necesaria para un diámetro y tipo de electrodo determinados.

En la soldadura spray pulsada el gas de protección debe ser capaz de soportar la transferencia spray. El metal es transferido a la pieza a ser soldada sólo durante el pulso de alta corriente. Lo ideal es que una gota sea transferida por cada pulso. El nivel bajo de corriente promedio resultante permite la soldadura de metales base menores de 1/8" pulgada de espesor (3 mm) con una transferencia de metal del tipo spray. La soldadura spray pulsada se puede utilizar para soldar en todas las posiciones.

Transferencia de metal con alta densidad de corriente

La transferencia de metal con una alta densidad de corriente es el nombre que se da al sistema MIG con características específicas creadas con una combinación única de velocidad de alimentación del alambre, extensión del alambre y gas de protección. Las velocidades de depositación del metal fluctúan entre 4.5 y 25 kg./hr., cuyo límite superior en la práctica es de 18 kg./hora. Este rango fluctúa entre 3.6 y 5.4 kg./hr para la mayoría de los sistema MIG spray pulsados. La características del arco de alta densidad de transferencia de metal se



pueden dividir además en transferencia spray rotacional y transferencia spray no-rotacional.

El proceso puede ser:

Semiautomático:

La tensión de arco (voltaje), velocidad de alimentación del alambre, intensidad de corriente (amperaje) y flujo de gas se regulan previamente.

El arrastre de la pistola de soldadura se realiza manualmente.

Automático

Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y se aplican en forma automática.

Robotizado

Este proceso de soldadura, se puede robotizar a escala industrial. En este caso, todos los parámetros y las coordenadas de localización de la unión a soldar; se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación.

Autorregulación del arco

Al tocar el alambre la pieza, la intensidad de cortocircuito que se origina es muy elevada, por lo cual el extremo del alambre se funde inmediatamente, estableciéndose un arco (cebado instantáneo) cuya longitud es función de la tensión elegida en la fuente de energía. Una vez cebado el arco entra en juego el fenómeno de autorregulación, suministrando la fuente la intensidad necesaria para fundir el alambre a medida que éste se suministra, manteniéndose la longitud de arco correspondiente a la regulación del voltaje elegida.

Si por cualquier causa la distancia entre la extremidad del alambre y la pieza aumenta, la tensión y la longitud del arco aumentaran pero, al mismo tiempo, la intensidad disminuirá por lo que la fusión será más lenta hasta que se restablezca la longitud y el voltaje inicial (Figura 43). Lo contrario ocurre cuando la distancia entre el alambre y la pieza disminuye.

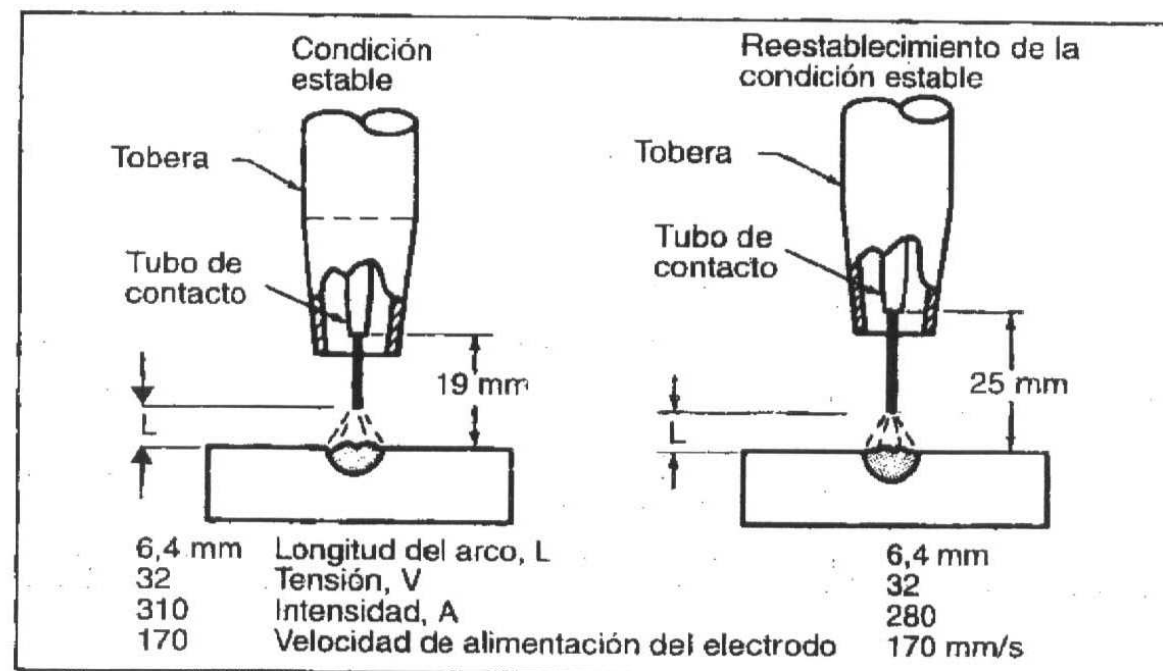


Figura 43: Autorregulación

El fenómeno de autorregulación es Importante para garantizar la estabilidad del arco, pero otras variables son también importantes.

3.5.4.. Materiales de Aportación

Los electrodos / alambres empleados son de diámetros pequeños (0.6, 0.8, 1 .0, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 Y 3.2 mm) y se suministran en bobinas para colocar directamente en los sistemas de alimentación. Para conseguir una alimentación suave y uniforme el alambre debe estar bobinado en capas perfectamente planas y es necesario que no esté tirante durante su suministro, sino que exista una cierta holgura entre la bobina y la vuelta que se está desenroscando. Al ser los alambres de pequeño diámetro y la intensidad de soldeo bastante elevada, la velocidad de alimentación del electrodo suele ser elevada del orden de 40 a 340 mm/s (2.4 a 20.4 m/min.) para la mayoría de los metales y de hasta 600 mm/s (236 m/min.) para las aleaciones de magnesio.

Dados sus pequeños diámetros la relación superficie / volumen es muy alta, por lo que pequeñas partículas de polvo, suciedad grasa. etc. pueden suponer una importante cantidad en relación con el volumen aportado, de aquí que sea de gran Importancia la limpieza.



**imagen tomada de Principles of Industrial Welding / The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1978*

Los alambres de acero reciben a menudo un ligero recubrimiento de cobre que mejora el contacto eléctrico, la resistencia a la corrosión y disminuye el rozamiento con los distintos elementos del sistema de alimentación y 1:1 pistola.

El material de aportación es, en general, similar en composición química a la del metal base, variándose ligeramente para compensar las pérdidas producidas de los diferentes elementos durante la soldadura, o mejorar alguna característica del metal de aportación. En otras ocasiones se requieren cambios significativos o incluso la utilización de alambres de composición completamente diferente.

Cuando se varía el diámetro del alambre utilizado se debe cambiar el tubo guía, el tubo de contacto y ajustar los rodillos, o cambiarlos en caso de que no fueran adecuados para ese diámetro de alambre.

3.5.5. Gases de Protección

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos Otros factores afectan a la elección del gas de protección. Algunos de estos son:

- Material a soldar
- Modo de transferencia del metal de aportación
- Penetración
- Forma del cordón
- Velocidad de soldeo
- Precio del gas

Los gases más utilizados en soldadura MIG/MAG son:

- CO₂ (dióxido de carbono)
- Ar (argón). He (helio) o Ar + He
- Ar + CO₂ o He + CO₂



- Ar + O₂ (1-10% de oxígeno)
- Ar + O₂ + CO₂
- Ar + He + CO₂
- Ar + He + CO₂ + O₂

La soldadura se denominará MAG cuando se utilicen gases activos (CO₂, O₂ y MIG cuando se utilicen los inertes (Ar. He).

En general, se utilizan los gases inertes para la soldadura de los materiales no férreos y aceros inoxidable, utilizándose el CO₂ puro solamente con los aceros al carbono: las mezclas de Ar + CO₂ y Ar + O₂ se aplican también al soldeo de aceros y en muchos casos para aceros inoxidable.

Cuando se utiliza CO₂ no se puede obtener una transferencia en spray nítida.

Una de las mezclas más utilizadas en la soldadura MAG es Ar + 8-10% de CO₂ utilizándose generalmente con transferencia en spray. Las mezclas de Ar + CO₂, con un porcentaje de éste último mayor o igual al 25%, se utilizan para transferencia por cortocircuito en la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Con arco pulsado se utilizan mezclas de Ar + CO₂ (generalmente con un 5% de CO₂), o mezclas de Ar + He + CO₂.

Con un caudal de gas muy bajo la cantidad de gas de protección es insuficiente. Con un caudal de gas muy alto puede haber turbulencias y formación de remolinos en el gas. El caudal de gas dependerá en gran medida del tipo de material base. Para obtener una buena protección, el ángulo de trabajo de la pistola no debe ser mayor de 10° a 20°. El tubo de contacto debe, estar centrado en la boquilla y las proyecciones depositadas en la tobera de gas y en la boquilla de contacto deben retirarse regularmente.

3.5.6. Parámetros de Soldadura

Los parámetros fundamentales que entran a formar parte de las características de soldadura, y por tanto de la calidad de soldadura, son:



- Tensión
- Velocidad de alimentación
- Longitud libre del alambre o "stick-out"
- Velocidad de desplazamiento
- Polaridad
- Ángulo de inclinación de la pistola
- Gas de protección

El conocimiento y control de estos parámetros es esencial para obtener soldaduras de calidad. Estas variables no son independientes ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

Relación entre los parámetros:

La tensión se mide en voltios (V) y es regulable en la fuente de energía, o bien a distancia desde la unidad alimentadora de alambre. Se transmite de forma regular desde la fuente al alambre, sin embargo se distribuye entre la prolongación del alambre y el arco de un modo desigual. Aproximadamente el 90% de la energía se concentra en el arco y el 10% restante en el alambre. Por tanto, cuanto mayor sea la longitud del arco mayor será la tensión.

La intensidad, sin embargo, está muy relacionada con la velocidad de alimentación del alambre, de forma que cuanto mayor es la velocidad de alimentación mayor es la intensidad. La tasa de deposición también está muy relacionada con la intensidad; cuanto mayor es la intensidad más rápidamente se producirá la fusión y, por tanto, la deposición. Se pueden establecer así las siguientes equivalencias:

Equivalente a:	
Intensidad	Velocidad de alimentación del alambre Velocidad de fusión
Tensión	Longitud del arco

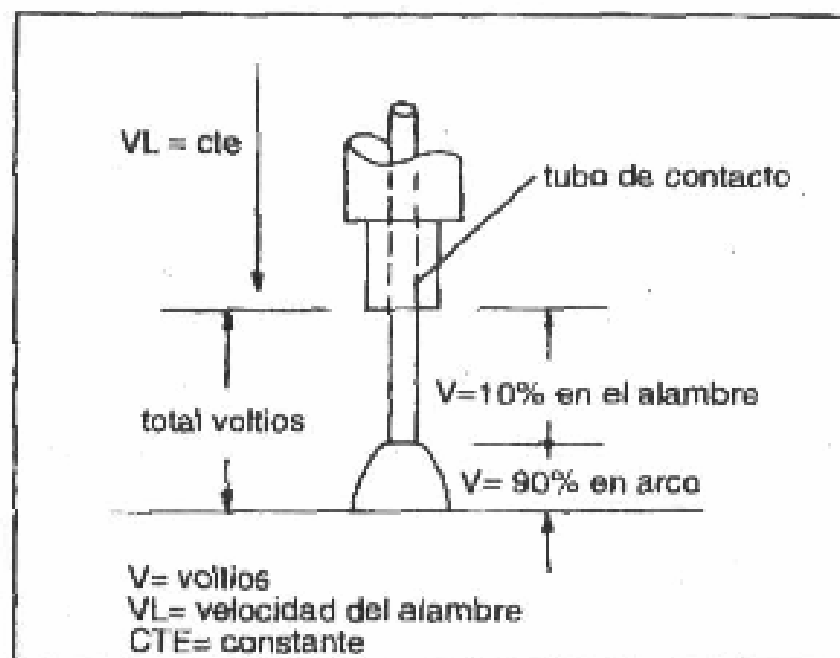


Figura 44: Relación entre los parámetros

EXTREMO LIBRE DEL ALAMBRE ELECTRODO ("STICK-OFF")

El extremo libre del alambre es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del alambre y está relacionada con la distancia entre el tubo de contacto y la pieza a soldar. Esta variable tiene suma importancia para soldar y en especial para la protección del baño de fusión.

Cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración se hace más débil y aumenta la cantidad de proyecciones. Éstas pueden interferir con la salida del gas de protección y una protección insuficiente puede provocar porosidad y contaminación excesiva.

La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 6 a 13 mm para transferencia por cortocircuito y de 13 a 25 mm para otros tipos de transferencia. Disminuyendo la longitud en transferencia por cortocircuito, aunque la tensión suministrada por la fuente de energía sea baja.

*imagen tomada de *Principles of Industrial Welding* / The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1978

En la siguiente figura se ha representado la influencia de la variación de la distancia entre el tubo de contacto y la pieza.

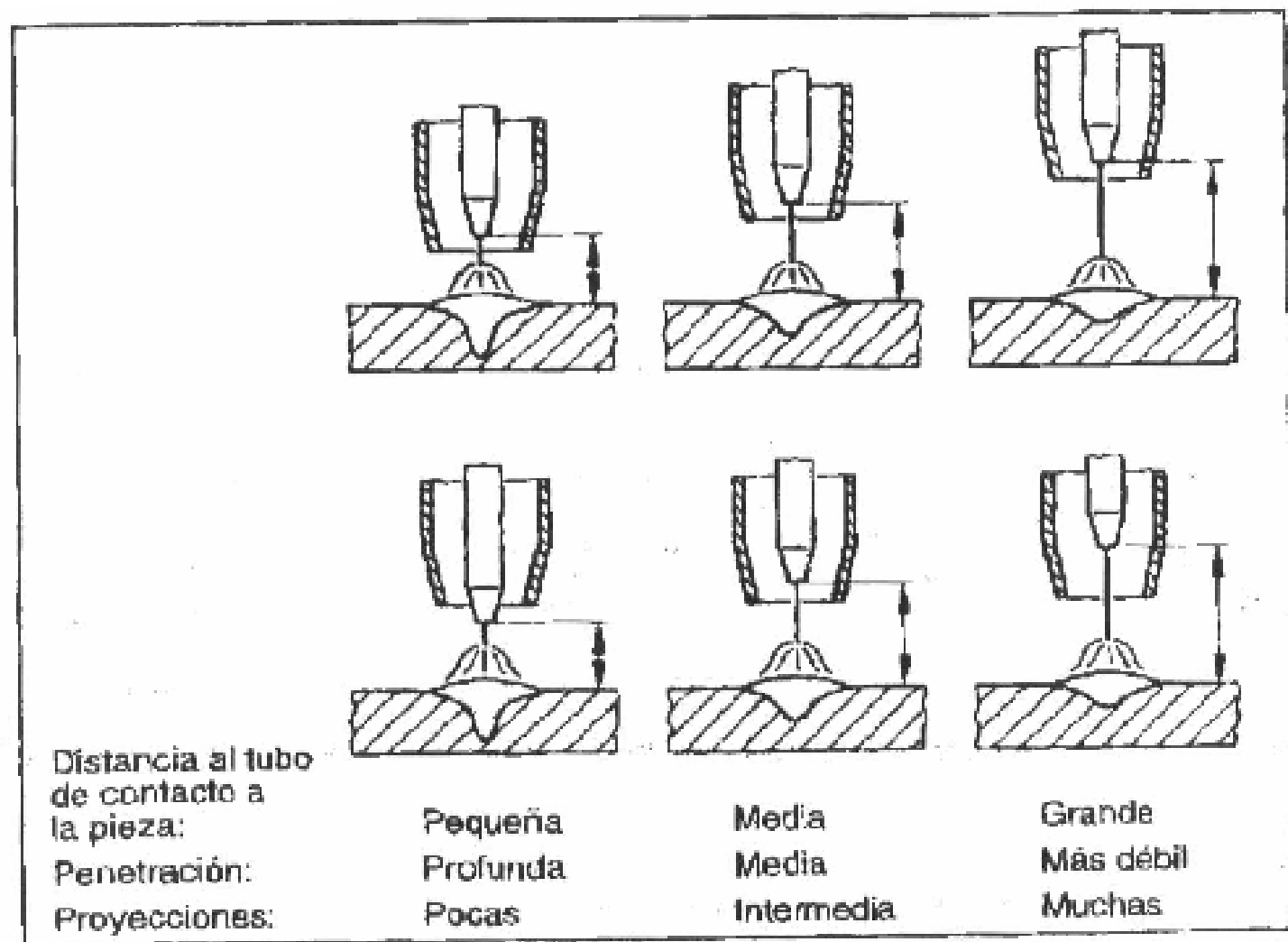


Figura 45: *Extremo libre del Electrodo*

VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldar mayor será la penetración. Sin embargo una pistola se puede sobrecalentar si se suelda con intensidad alta y baja velocidad. Una velocidad de soldeo alta producirá una soldadura muy irregular.



**imagen tomada de Principles of Industrial Welding / The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1978*

POLARIDAD

Para la mayoría de las aplicaciones de soldadura GMAW se utiliza la polaridad inversa (DC+) ya que se obtiene un arco estable, con una buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración.

La polaridad directa (DC-) casi no se utiliza porque, aunque la tasa de deposición es mayor, generalmente solo se consigue transferencia globular

La corriente alterna no se utiliza en el soldeo MIG/MAG ya que el arco se hace inestable y tiende a extinguirse

ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PISTOLA (ÁNGULO DE DESPLAZAMIENTO)

Cuando se *utiliza* la técnica de soldeo hacia delante disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano, por lo que se recomienda para el soldeo de pequeños espesores. La máxima penetración se obtiene con la soldadura hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 15°. Para la mayoría de las aplicaciones se utiliza el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 5-15°. En el soldeo del aluminio, sin embargo, se suele preferir la soldadura hacia delante pues se mejora la acción limpiadora. Para el soldeo en ángulo (posición PB) se recomienda un ángulo de trabajo de 45°.

El Control de la Porosidad

Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y, por consiguiente, la porosidad. Para lograr esto, Algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias



inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr).

Aluminio, titanio y zirconio son los desoxidantes mas poderosos, quizás cinco veces mas efectivos que el manganeso y el silicón, no obstante estos últimos dos elementos afectan de manera especial el proceso y por eso son ampliamente utilizados, las cantidades de manganeso podrían variar desde 1.10% hasta 1.58% y en el caso del silicón desde un 0.52% hasta 0.87%.

Importancia de la Fluidéz

La fluidez de la soldadura fundida en el cordón de soldadura es muy importante por varias razones. Cuando la soldadura fundida es suficientemente fluyente, mientras esta en su estado líquido, tiende a moverse sola llenando los espacios hasta los bordes produciendo una forma rasa, con formas más gentiles especialmente en las soldaduras de filetes. Esto es muy importante para las soldaduras de corto circuito de multi-paso, donde un defecto de "carencia de fusión" puede ocurrir si la forma en los pasos iniciales es pobre. Soldaduras rasas bien moldeadas son también bien apreciadas cuando la apariencia es una de las principales preocupaciones y donde el uso de esmeriles sea necesario para llegar a cumplir los requerimientos del trabajo.

Precaución: Excesiva fluidez podría generar problemas en la ejecución de la soldadura en ciertas posiciones o haciendo soldaduras sobre filetes cóncavos horizontales.

Influencia del Gas y el Arco de la Soldadura

El uso de Anhídrido Carbónico (CO₂) causa más turbulencias en la transferencia del metal del alambre al metal base con la tendencia a crear cordones de soldadura mas abultados y un alto incremento de las salpicaduras.

Las mezclas de gases con bases de Aragón (Ar) proveen transferencias de metales más estables y uniformes, buena forma del cordón de soldadura y las salpicaduras son reducidas al mínimo, además de un rango mas bajo en la generación de humo.

El incremento en el Voltaje del arco tiende a incrementar la fluidez, haciendo las soldaduras mas rasas, afectando la penetración de los bordes y generando más salpicaduras, Los voltajes mas altos reducen considerablemente la penetración y podrían causar la perdida de elementos que forman parte de la aleación.



Comenzando a soldar

Una vez detallados los aspectos fundamentales del proceso MIG, trataremos de producir buenas soldaduras. Ante todo, se deberán poseer los elementos de seguridad necesarios, tanto para la seguridad del operario como para extinguir cualquier posible foco de incendio en el local de trabajo. Este sistema genera muchas chispas y humo, por lo que será indispensable contar con buena ventilación y mantener alejado todo tipo de material combustible de la zona de trabajo. El operario, además de usar la careta con lentes de protección, deberá tener el cuerpo cubierto y protegido con ropas apropiadas abotonadas hasta el cuello.

Los equipos para soldadura MIG poseen regulaciones de velocidad de avance de electrodo, de temperatura (mediante ajuste de tensión y corriente) y de fluido de gas protector. Dichas variables deberán ser ensayadas y tenidas en cuenta para realizar el ajuste del equipo, previo al trabajo de soldadura. Esos ajustes variarán sustancialmente según el tipo de labor a realizar (material, espesor, aporte, posición, etc.). A continuación, se da un detalle de los pasos a seguir para soldar con MIG.

1. Encender el sistema de refrigeración (si se dispone).
2. Regular la velocidad de avance del electrodo.
3. Oprimir el gatillo de la pistola hasta que sobresalgan 6 mm de electrodo de la boquilla. En caso de sobrepasar dicha medida, cortar el excedente con un alicate.
4. Abrir el cilindro de gas protector.
5. Oprimir el gatillo de la pistola para purgar el aire de las mangueras y ajustar el fluxómetro al valor deseado.
6. Graduar el voltaje del equipo, corriente, etc. según el tipo y espesor de metal a unir.
7. Utilizar el método de rayado o raspado para iniciar el arco.
8. Para extinguir el arco, separar la pistola del metal o bien soltar y volver a pulsar el gatillo.
9. Si el electrodo se pega al metal, soltar el gatillo y cortar el electrodo con alicate.
10. Si se desea realizar un cordón o una costura, se deberá calentar el metal formando una zona incandescente, y luego mover la pistola a lo largo de la unión a una velocidad uniforme para producir una soldadura lisa y pareja.



11. Mantener el electrodo en el borde delantero de la zona de metal fundido, conforme al avance de la soldadura (fig. 4.5).

12. El ángulo que forme la pistola con la vertical es muy importante.

Este deberá ser de no más de 5° a 10°. De no ser así, el gas no protegerá la zona de metal fundido.

3.5.7. Ventajas y Limitaciones de la Soldadura MIG/MAG

A continuación se citan algunas de las ventajas más importantes de este procedimiento.

Puesto que no hay escoria y las proyecciones suelen ser escasas, se simplifican las operaciones de limpieza, lo que reduce notablemente el costo total de la operación de la soldadura. En algunos casos, la limpieza del cordón resulta más cara que la propia operación de soldeo, por lo que la reducción de tiempo de limpieza supone la sensible disminución de los costos.

Fácil especialización de la mano de obra. En general, un soldador especializado en otros procedimientos, puede adquirir fácilmente la técnica de la soldadura MIG/MAG en cuestión de horas. En resumidas cuentas todo lo que tiene que hacer el soldador se reduce a vigilar la posición de la pistola, mantener la velocidad de avance adecuada y comprobar la alimentación de alambre se verifica correctamente.

Gran velocidad de soldadura, especialmente si se compara con el soldeo por arco con electrodos revestidos. Puesto que la aportación se realiza mediante un hilo continuo, no es necesario interrumpir la soldadura para cambiar electrodo. Esto no solo supone una mejora en la productividad, sino también disminuye el riesgo de defectos. Hay que tener en cuenta las interrupciones, y los correspondientes empalmes, ya que son con frecuencia, origen de defectos tales como inclusiones de escoria, falta de fusión o fisuras en el cráter.

Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.

La gran velocidad del procedimiento MIG/MAG también influye favorablemente en el aspecto metalúrgico de la soldadura. Al aumentar la velocidad de avance, disminuye la amplitud de la zona afectada de calor, hay menos



tendencia de aumento del tamaño del grano, se aminoran las transformaciones de estructura en el metal base y se reducen considerablemente las deformaciones.

Las buenas características de penetración del procedimiento MIG/MAG permiten la preparación con bordes más cerrados, con el consiguiente ahorro de material de aportación, tiempo de soldadura y deformación. En las uniones mediante cordones en ángulo también permite reducir el espesor del cordón en relación con otros procedimientos de soldeo.

Ventajas y limitaciones

Ventajas

- Puede utilizarse para la soldadura de cualquier tipo de material.
- El electrodo es continuo. por lo que se aumenta la productividad al no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es más elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con el electrodo recubierto (SMAW).
- Se puede realizar la soldadura en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, evitando así las zonas de peligro de imperfecciones.
- No se requiere eliminar la escoria ya que no existe.

Limitaciones

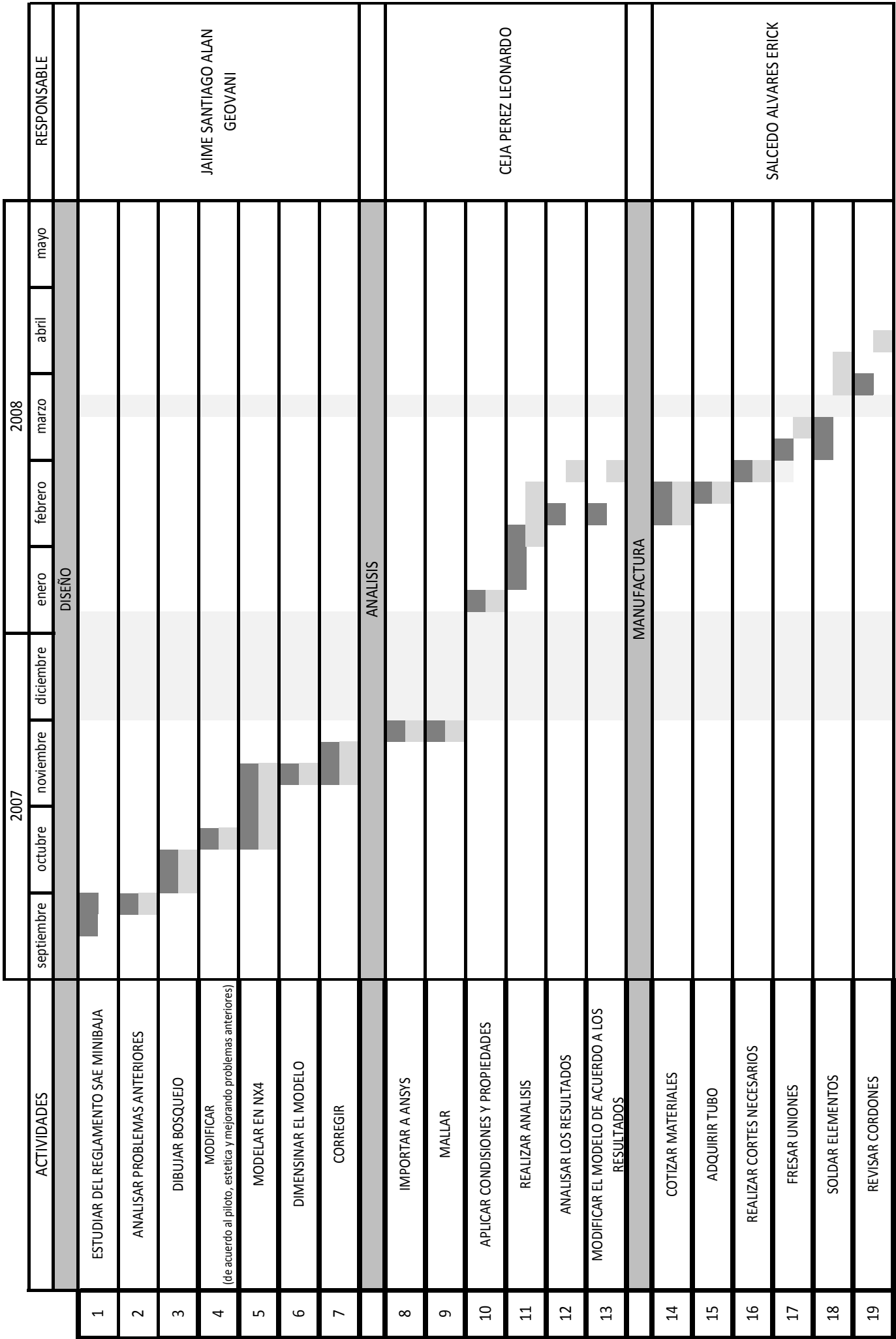
- El equipo de soldeo es más costoso. complejo y menos transportable que el de SMA W.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración. tuberías, botellas de gas de protección. por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible al viento y a las corriente de aire, por lo que si aplicación al aire libre es limitada



3.6. Gráfico de Gantt del Proyecto



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "Ticomán"
INGENIERÍA AERONÁUTICA
Mini - Baja



ACTIVIDAD PROGRAMADA
ACTIVIDAD REALIZADA
VACACIONES

Tabla 8: Grafica de Gantt

3.7. Ventajas y Desventajas Respecto a Vehículos Anteriores



Ventajas

- Menor número de elementos innecesarios
- Menor tamaño
- Angulo de inclinación frontal para caster
- Suspensión trasera simple
- Bajo centro de gravedad
- Más angosto
- Pocos elementos móviles en las suspensiones
- Distancia entre ejes corta

Desventajas

- Mayor peso debido a un error en el momento de obtener los tubos
- Espacio frontal muy reducido
- Exposición de las llantas delanteras

ÍNDICE

<u>FIGURAS</u>	<u>PAGINA</u>
1.- El chasis tubular como refuerzo del vehículo	1
2.- Cargas que pueden deflectar el chasis.	4
3.- Marco sometido a Torsión	5
4.- Estructura rectangular sometida a torsión.	5
5.- Marco con elemento diagonal que lo convierte en armadura.	6



6.- Los "sidepod" en un chasis tubular.	7
7.- Efectividad del reparto de fuerzas para el balanceo.	8
8.- La superficie posterior es mayor y hace que el centro de presiones esté por detrás del centro de gravedad.	9
9.- Algoritmo de Diseño de un Chasis Tubular	13
10.- Pruebas de Impacto realizadas por la ADAC	14
11. Pruebas de Impacto frontales y laterales realizadas por EuroNCAP	14
12.- Test de Impacto Frontal y lateral de ADAC	15
13.- Centro de Seguridad Volvo	16
14.- Bloque de 800 Toneladas Utilizado en Pruebas Volvo	19
15.- Simulación de Impacto Lateral	21
16.- Simulación de Impacto Frontal	22
17.- Chasis realizado en NX-4	24
18.- Geometría del chasis recién importada a ANSYS	25
19.- Geometría de elemento Shell 163	26
20.- Geometría del elemento Beam 161	27
21.- Geometría del elemento Mass 166	28
22.- Localización de los puntos de masa en el vehículo	32
23.- Geometría final para el análisis	33
24.- Momento de máxima deformación debido al impacto	34
25.- Vista superior del instante crítico ($t = 0.061224s$) ($t = 0.061224s$)	35
26.- Deformaciones al final de la simulación ($t = 1s$)	35
27.- Vista superior de deformaciones al final de la simulación ($t = 1s$)	36
28.- Esfuerzos generados en el instante crítico ($t = 0.061224s$)	37
29.- Vista superior de esfuerzos generados en el instante crítico ($t = 0.061224s$)	37
30.- Esfuerzos al final de la simulación ($t = 1s$)	38
31.- Vista superior de los esfuerzos al final de la simulación ($t = 1s$)	38
32.- Numeración de los elementos del carro	40
33.-Corte con Fresadora	49
34.- Curvado en frío por presión	50
35.- Curvado en mediante caja	51
36.- Curvado por rodillos giratorios	52
37.- Esquema básico de un equipo para soldadura MIG	55
38.- Ilustración de los efectos producidos de una soldadura MIG	57
39.- Ilustraciones de los tipos básicos de pistolas para	



soldadura MIG	58
40.- Sistema de guía	59
41.- Ilustración de proceso de fusión en la soldadura MIG	60
42.- Transferencias metálicas	64
43.- Autorregulación	65
44.- Relación entre los parámetros	69
45.- Extremo libre del Electrodo	70

TABLAS

1.- Sistema de unidades consistentes utilizado para el análisis	28
2.- Deformaciones en el instante crítico	41
3.- Deformaciones máximas en el instante crítico	41
4.- Deformaciones al final del impacto en el chasis	42
5.- Deformaciones máximas al final del impacto	43
6.- Esfuerzos en el instante crítico en el chasis	44
7.- Esfuerzos máximos	44
8.- Grafica de Gantt	77

BIBLIOGRAFÍA

Resistencia de Materiales

Singer, Ferdinand L.

14 Capítulos, 2 Apéndices

Cáp. Util. Capítulo 6

3ra. Edición

Mecánica de Materiales

Gere, James M. & Timoshenko Stephen P.

12 Capítulos, 8 Apéndices

Cáp. Util. Apéndice H, Tabla H-2

2da. Edición

Mecánica de Materiales

Hibbeler, Russell Charles



14 Capítulos, 2 Apéndices
Cáp. Util. Capítulo 3
Primera Edición, Tercera Reimpresión, México 1998

Mechanical Vibrations

Rao Singeresu S.
14 Capítulos, 6 Apéndices
Cap. Util. Capítulo 3
Cuarta Edición, New Jersey 2004

The Automotive Chassis: Engineering Principles

Prof. Dipl.- Ing. Jörnsten Reimpell
Dipl.- Ing. Helmut Stoll
Prof. Dr.- Ing. Jürgen W. Betzler
6 Capítulos, 3 Apéndices
Cap. Útiles. Cap. 5 y Cap. 6
Butterworth-Heinemann Oxford 2001

Soldadura

J.A. Pendler
3a. Edición
1998

Principles of Industrial Welding

The James F. Lincoln Arc Welding Foundation
1978

Soldadura MIG y TIG

Pedro Claudio Rodríguez
1ª Edición
2001

Procesos de Materiales de Manufactura para Ingenieros

Doyle L.E.
Traducción de la 3ª Edición
Prentice Hall, 1998

