



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CARROCERÍAS PARA UN VEHÍCULO
MONOPLAZA TODO TERRENO, UTILIZANDO
TÉCNICAS CAD Y CAE**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO
(ÁREA DE DISEÑO)
P R E S E N T A :**

ALEJANDRO NAVARRETE HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. ARMANDO SÁNCHEZ GUZMÁN





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

DEDICADO A:

Mi padre, mi hermano, y en especial, a mi madre.

Gracias por su enorme motivación, su paciencia, su tiempo y su gran amor.

Con todo mi cariño.

Alejandro

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Navarrete Hernández

FECHA: 10/11/04

FIRMA: 

Ika tlen ni yazki

Amitla ni tenyo tilliuh

Tlakuiltapan tlallipan

Keh ni kichiua noyolohzin

Azeh motopalli tiualla

Nemilliz in kueponiz tlallipan

Ti nezkayototiuuh xochimeh

Ti nezkayototiuuh kuikameh

Netzahualcoyotl

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, por su gran apoyo y por todos sus consejos.

A los profesores de esta Universidad, y sobre todo de esta Facultad, por su dedicación, por su tiempo y por todas sus enseñanzas.

A mis compañeros del proyecto Mini-Baja, por su amistad y con quienes he compartido momentos y experiencias muy agradables.

A todas aquellas personas, que de alguna manera, han colaborado en mi desarrollo como persona y como profesional.

A todos ustedes, les estaré por siempre agradecido.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
OBJETIVO	<i>I</i>
INTRODUCCIÓN	<i>III</i>
CAPÍTULO 1	
El diseño de carrocerías	
1.1. ¿Qué es una carrocería?	<i>1</i>
Diferentes tipos de carrocerías	<i>2</i>
Carrocería y chasis separados	<i>3</i>
Carrocería autoportante	<i>4</i>
Carrocería con plataforma de chasis	<i>6</i>
1.2 Consideraciones para el diseño de carrocerías	<i>7</i>
Fases del diseño de un automóvil	<i>8</i>
1.3 Materiales utilizados y procesos de fabricación de carrocerías	<i>10</i>
Carrocerías de acero	<i>11</i>
Carrocerías de aluminio	<i>22</i>
Carrocerías de fibra de vidrio y carbono	<i>26</i>
1.4 Diseños actuales de carrocerías utilizando las técnicas CAD y CAE	<i>31</i>
CAPÍTULO 2	
Ergonomía	
2.1 Definición	<i>49</i>
Alcance de la ergonomía	<i>50</i>

		<i>Página</i>
	Metodología	51
	La intervención ergonómica	52
2.2	La implicación del hombre con lo que éste utiliza	55
	Sistemas constituidos por hombre-máquina	55
	Entorno físico	55
	Input y output	56
	Tipos de sistemas	56
2.3	Antropometría	58
2.4	Instrumentos de control	65
	Consideración sobre el diseño de pedales	71
2.5	El color como factor ambiental y objetual	72

CAPÍTULO 3

Diseño, resistencia mecánica y materiales implicados en el diseño de carrocerías

3.1	Introducción al diseño mecánico	75
	Fases del diseño	76
	Consideraciones del diseño	82
	Diseño asistido por computadora (CAD)	85
	Ingeniería asistida por computadora (CAE)	87
3.2	Esfuerzos mecánicos	88
	Resistencia mecánica	88
	Esfuerzo permisible y factor de seguridad	89
	Esfuerzo y deformación	91
	Diagrama esfuerzo-deformación	91
	Falla de un material	93
	Teoría de falla	94
3.3	Deformaciones que se producen en la carrocería	96
3.4	Selección de materiales para carrocerías	97

	<i>Página</i>
Índice de funcionalidad para una lámina	99
3.5 Sistemas de unión utilizados en los ensamblajes de carrocerías	103
Clasificación de las uniones	104
Remaches	106
Velcro	108
Adhesivos	109
Limitaciones de los adhesivos	110
Materiales adhesivos y sus propiedades	112
Forma física del adhesivo	112
Requerimientos de curado	112
Aspectos del proceso de adhesión	113
Técnicas de aplicación de los adhesivos	120

CAPÍTULO 4

Modelado geométrico asistido por computadora

4.1 Modelado geométrico	123
Modelado de alambre	124
Modelado de sólidos	125
Modelado paramétrico	126
Modelado híbrido	127
Modelado de superficies	127
Tipos de superficie	128
Principios de definición de superficies compuestas	130
Diseño de curvas	131
Diseño de superficies	132
Limitaciones de la modelización de superficies	137
Aplicaciones del diseño de superficies	138
4.2 Análisis de Elemento Finito	139

	<i>Página</i>
Modelo de cálculo	139
Sistemas discretos	140
Sistemas continuos	140
Método de análisis de elementos finitos	141
Matriz de rigidez	143
Parámetros del elemento	144
Tipos de elementos	145
Pasos para llevar a cabo el análisis de elementos finitos	148
Importancia del mallado y del tipo de elemento	150
Análisis de esfuerzos mecánicos	150
Análisis de flujo de fluidos	151
Análisis térmico	152
Otros tipos de análisis	152
4.3 Técnicas para la elaboración de prototipos	153
La fase del prototipo	153

CAPÍTULO 5

Diseño de carrocerías para un vehículo todo terreno utilizando las técnicas CAD y CAE

5.1 Desarrollo de la investigación	157
Identificación de la necesidad	157
Definición del problema	158
Recopilación de información	160
Conceptualización y síntesis	161
Propuestas de configuración geométrica de la carrocería para un vehículo mini-baja	163
Análisis y optimización	165
Selección del material	166
Modelado geométrico de la carrocería	167

	<i>Página</i>
Resistencia mecánica de la carrocería	172
Condiciones generales y particulares de operación	172
Fabricación del prototipo mini-baja	200
Costos de la carrocería	203
Evaluación	205
 CONCLUSIONES	 209
 APÉNDICES	
Apéndice A	
Ergonomía	213
Sistemas de unión	217
Diseño de curvas	219
Fundamentos del Análisis de Elementos Finitos	225
 Apéndice B	
Medidas antropométricas	229
Sueldos y salarios en la República Mexicana	233
Recomendaciones de tabuladores de sueldos	237
 BIBLIOGRAFÍA	 239

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo de tesis es: exponer la metodología que se llevó a cabo, para optimizar físicamente la geometría, el peso, la resistencia mecánica, así como la fabricación de la carrocería para un vehículo Mini-Baja, aplicando la técnica CAD/CAE (Diseño Asistido por Computadora e Ingeniería Asistida por Computadora).

Metodología

A partir de las 7 fases del diseño tradicional (Shigley Joseph Edward, Diseño en Ingeniería Mecánica) que consisten en la identificación de la necesidad, definición del problema a resolver, recopilación de información, conceptualización y síntesis, análisis y optimización, evaluación, y por último la presentación, así como la aplicación de conocimientos del diseño de carrocerías en vehículos y utilizando las herramientas CAD y CAE, se procederá al estudio del problema planteado que posteriormente será analizado y evaluado para que finalmente se presenten los resultados obtenidos.

Acciones

- Proponer por lo menos tres posibles soluciones
- Realizar una serie de análisis con elemento finito
- Analizar la factibilidad de fabricación
- Construir los prototipos
- Evaluar los prototipos en competencias SAE Mini-Baja



Metas

- Exponer una metodología de diseño para optimizar la carrocería del vehículo Mini-Baja
- Optimizar estructuralmente la carrocería del vehículo Mini-Baja para modelos posteriores

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería ha utilizado simplificaciones y aproximaciones para hacer más fáciles las tareas de diseño, construcción y pruebas. Aunque éstas han ido mejorando con el paso del tiempo, mostraron grandes fallas o causaban gran cantidad de desperdicios de material y exigían adoptar soluciones convencionales para situaciones complejas. En ocasiones, el cálculo convencional modelaba pobremente la realidad, aunque se utilizaran factores de seguridad del orden de cuatro o mayores, y aún así había fallas muy graves en el diseño, por lo que mediante pruebas físicas era posible determinar las causas de las fallas.

Con las herramientas tales como el Análisis por Elemento Finito (FEA), la tarea de optimización es más empleada porque el diseñador comienza a comprender el comportamiento de su diseño en detalle, ya que puede observar dónde se aplican las fuerzas y cómo se deforma la pieza, bajo diversas condiciones de esfuerzo. Si antes estaban bajo el dominio exclusivo de organizaciones con actividades muy especializadas, en donde el rendimiento es crítico, la herramienta del FEA, actualmente está invadiendo otras ramas de la ingeniería y está encontrando aplicación en el diseño industrial.

En los últimos años, las compañías se han interesado en los vínculos que existen entre los procesos de diseño, ingeniería y manufactura de sus productos, utilizando lo que se conoce como las técnicas CAD/CAM/CAE.

El objetivo del presente trabajo de tesis es el de exponer la metodología que se lleva a cabo para optimizar físicamente la geometría, el peso, la ergonomía, la resistencia mecánica, así como, la fabricación de una carrocería para un vehículo Mini-Baja, aplicando la técnica CAD/CAE (Diseño Asistido por Computadora e Ingeniería Asistida por Computadora).

Este trabajo está dividido en cinco capítulos:

En el Capítulo 1, se presenta el diseño de las carrocerías; se da una introducción de lo que es una carrocería, así como de las condiciones que se deben tomar para diseñarla. Además se explica cómo es que se diseñan las carrocerías actualmente, utilizando las técnicas CAD/CAE.

En el Capítulo 2, se explica los principales factores ergonómicos que se deben considerar para diseñar la carrocería del vehículo.

En el Capítulo 3, se realizan las consideraciones de resistencia mecánica que debe tener la carrocería y la clase de pruebas a la que debe someterse. También se explican los materiales de los que éstas son construidas.

En el Capítulo 4, se trata acerca de lo que es el modelado geométrico por computadora. Además, se presentan los Análisis de Elemento Finito que serán aplicados.

En el Capítulo 5, se desarrolla la parte más importante del trabajo de tesis, ya que es aquí, en donde se realiza el análisis de la resistencia mecánica de la carrocería del vehículo Mini-Baja; se evalúan las ventajas y desventajas para alcanzar la máxima optimización en cuanto a la geometría, el peso, la fabricación y el costo. Para lograr lo anterior, se aplican muchos de los conceptos y técnicas expuestas en los capítulos anteriores. El proceso inicia con el diseño conceptual, se plantean las condiciones de trabajo a que es sometida la carrocería (esfuerzos mecánicos, impactos, etc.), para posteriormente, realizar el modelado geométrico y proceder a sus análisis geométrico y de resistencia mecánica, con la técnica de Elemento Finito (FE). Por otra parte, se construye el prototipo para someterlo a una serie de evaluaciones, de donde se obtendrán resultados concretos que darán aporte a nuevos diseños de carrocerías para el vehículo Mini-Baja.

Por último se presentan las conclusiones de este trabajo, a las cuales se ha llegado dando una serie de recomendaciones y sugerencias para los futuros diseños de carrocerías para el vehículo Mini-Baja; de la misma manera, se presenta la bibliografía empleada y un apéndice en donde se encontrarán conceptos, bosquejos, planos, entre otros.

El diseño de carrocerías

1.1 ¿Qué es una carrocería?

La carrocería es una invención algunos siglos anteriores al mismo automóvil. De alguna manera podría decirse con toda propiedad que primero fue la creación de la carrocería y, muchos años después, se inventó el motor. Por lo tanto, en lo que respecta a las carrocerías, se puede afirmar que se trata de uno de los productos industriales actuales en los que el hombre tiene una experiencia más ahondada en el pasado.

Es a partir del siglo XVIII cuando los italianos comienzan a trabajar con gran arte e inventiva en los famosos “*carrocio*”, es decir, las carrozas. El concepto de carro para el transporte de personas comienza a partir de este momento a desprenderse de la idea del carro cubierto dotado de simples asientos, para entrar dentro de un período de decidida búsqueda de la comodidad de los pasajeros; se trabaja en mejorar el espacio interior y el acomodo de los pasajeros; se pasa a tapizar lujosamente los interiores, como si se trataran de sillones palaciegos, se acristalan los laterales, se alfombran los suelos y se recubren de finas telas el interior de los techos y laterales del vehículo.

Cuando, hacia 1883, el alemán Gottlieb Daimler consigue fabricar un motor tipo Otto capaz de funcionar con líquido, motor que se mostraba ya apto para sustituir las caballerías, el primer problema no fue encontrar un tipo de estructura capaz de recibirlo, porque el mundo de entonces estaba lleno de diferentes conjuntos de carrocerías a las que el motor recientemente ideado podía acoplarse sin grandes problemas, como así se hizo en los primeros tiempos.

Claro que a través de los años, y con la creación de motores cada vez más potentes, las carrocerías han ido evolucionando con grandes e importantes cambios. Inicialmente,

las carrocerías eran de madera y su construcción y manipulación estaba encomendada a los carpinteros especializados, pero a partir de finales de los años veinte se comienza a emplear la lámina de acero y, consecuentemente, el oficio cambia de manos: ahora son los hojalateros los que se han de hacerse cargo de los trabajos de reparación y ajuste de las carrocerías metálicas, situación que es la que se mantiene hasta nuestros días.

Diferentes tipos de carrocerías

A través del tiempo el automóvil ha ido evolucionando de una manera progresiva, no solamente desde el punto de vista mecánico, sino también desde el punto de vista de la carrocería. Las carrocerías han ido evolucionando también hacia sistemas incluso más rígidos, pero a la vez más ligeros, se ha trabajado mucho en los sistemas anti-corrosión de la plancha de acero y en el diseño y forma de las estructuras. Todo ello ha dado origen a una serie de técnicas que hacen del automóvil moderno una buena pieza de habitabilidad, a la vez que se reduce la fricción con el aire, además de rigidez y protección para el habitáculo de los pasajeros y, en definitiva, ha conseguido un elevado índice de seguridad incluso ante choques de considerable proporción.

El desarrollo de las carrocerías ha venido produciéndose de acuerdo con los sistemas adoptados en la fabricación de las mismas y en este apartado vamos a ver en qué consisten los diferentes tipos de carrocería con los que se han ido vistiendo los automóviles desde hace unos años hasta nuestra época. En este aspecto cabe destacar la existencia de diferentes sistemas:

- Carrocería y chasis separados
- Carrocería autoportante
- Carrocería con plataforma de chasis

Carrocería y chasis separados

Este sistema es el más antiguo de los utilizados en el automóvil, el más sencillo conceptualmente y, desde luego, un sistema que todavía no se ha abandonado para los autocamiones y los automóviles que van provistos de carrocerías de fibra.

Consiste fundamentalmente en disponer de dos vigas de acero, llamadas *largueros*, a todo lo largo del automóvil. Estos largueros se aseguran entre sí por medio de unos travesaños soldados en diferentes puntos de la longitud de éstos, de modo que el conjunto así logrado adquiere una gran rigidez. A este grupo de piezas debidamente unidas se le da el nombre de *bastidor*. Al bastidor se montarán los órganos de la suspensión y las ruedas y a él se sujetarán también el motor y todos los órganos mecánicos. En estas condiciones, cuando el bastidor ha recibido todos estos órganos mecánicos mencionados, se ha conseguido formar lo que se llama *chasis*.

En este sistema la carrocería ha de formar un conjunto totalmente independiente que se monta y desmonta del chasis en todo su conjunto. Va generalmente atornillada por medio de juntas de caucho, de modo que pueda sujetarse con total garantía a los puntos convenientes del bastidor y pueda quedar perfectamente amoldada al citado bastidor con muy buenas garantías de rigidez.

El sistema de chasis y carrocería separados presenta sus ventajas y sus inconvenientes. Dejando aparte que, en los primeros tiempos del automóvil, éste era el sistema que más fácilmente estaba al alcance de los técnicos, por el escaso desarrollo de las prensas con las que hoy se pueden lograr hojas de laminas dotadas de muchas nervaduras que les proporcionen una gran rigidez, tenía la ventaja de que, para un mismo modelo de chasis, se podía pensar en colocar diferentes y variados modelos de carrocerías, y no resultaba difícil alargar el bastidor o reducirlo con el fin de colocar una carrocería al gusto del cliente. Por otra parte, formaba un conjunto tan robusto como se

quisiera, lo que lo hacía muy apto para llevar y soportar mucho peso y absorbía muy bien los golpes y las vibraciones.

En los automóviles, el sistema de carrocería y chasis separados tiene algunos inconvenientes. El principal es que es mucho más pesado y también el elevado costo. Otros inconvenientes menores son la mayor dificultad de obtener con este sistema centros de gravedad más bajos, los cuales mejoran la estabilidad a gran velocidad y permiten una menor resistencia al aire.

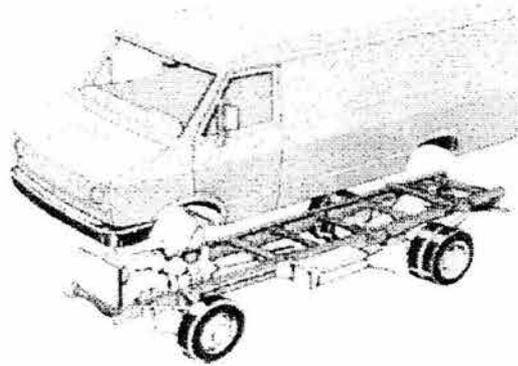


Fig. 1.1. Carrocería y chasis separados

Carrocería autoportante

De hecho toda carrocería necesita un bastidor sobre el que pueda apoyarse, por una parte, y por otra, sobre el que puedan apoyarse las ruedas y sustentarse todos los órganos mecánicos. Lo que ocurre es que el bastidor puede estar construido de tal manera que resulte integrado en la misma estructura de la carrocería, y en el momento en que esto ocurre la carrocería recibe el nombre de *autoportante*. Así pues, una carrocería autoportante es aquella en la que forma parte de su estructura el bastidor, aunque éste adopte formas diferentes.

Este sistema resulta el más utilizado por todos los fabricantes de automóviles sobre

todo para los modelos de gran venta y de gran serie. Este tipo de carrocerías autoportantes reúnen grandes ventajas en el sentido de ser las más ligeras a la vez que las más estables y las más flexibles de las carrocerías existentes, uniendo además a estas virtudes las de ser las que pueden fabricarse en serie con mayor perfección y con un costo más bajo, ya que pueden construirse con la ayuda de un alto grado de mecanización. En estas razones hemos de encontrar la gran popularidad que han alcanzado a pesar de no ser precisamente las más fáciles de reparar por parte del hojalatero, ni tampoco las que están sujetas a menores deformaciones.

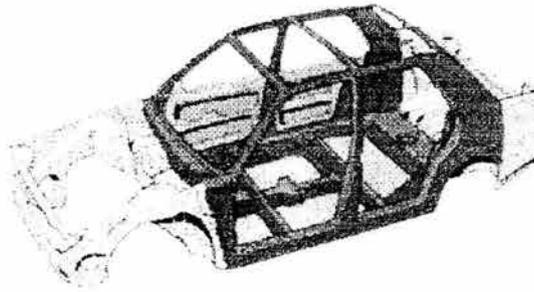


Fig. 1.2. Carrocería autoportante

Las carrocerías autoportantes pueden adoptar dos diferentes tipos que hay que destacar y que son los siguientes:

- *Carrocería autoportante unida por soldadura.* En este tipo de carrocería el número de piezas desmontables está reducido a un mínimo, de modo que todas las piezas importantes se hallan unidas entre sí por medio de soldadura. Se pretende con ello que la pieza que forma el suelo de la caja y que a su vez hace de bastidor aligerado, al estar fuertemente unida al resto del monocasco, haga que éste participe de todos los esfuerzos proporcionando la debida resistencia a todas las láminas que componen el conjunto.
- *Carrocería autoportante unida por soldadura con elementos desmontables.* Este otro tipo de carrocería es semejante al anterior pero con la particularidad de que está estudiado para proporcionar una mayor facilidad al reparador permitiendo que sean

fácilmente desmontables aquellas piezas que por lo general suelen sufrir con mayor reincidencia golpes como efectos de accidentes. Las piezas desmontables suelen estar sujetas con tornillos por lo que no se pierde gran tiempo desmontándolas; tienen además la ventaja de que pueden ser sustituidas por piezas enteramente nuevas que pueden colocarse de nuevo en pocos minutos y que, además, se pueden pintar cómodamente de una forma independiente de su fijación en el automóvil lo que hace que no se tenga que perder tiempo tapando las partes que no se han de pintar. Sin embargo, la realidad es que las piezas desmontables de este tipo se hallan debilitadas, o bien han de ser reforzadas excesivamente por otro lado, lo que significa un aumento de peso nada deseable. De todos modos es un sistema que se utiliza bastante por muchas marcas de automóviles.

Carrocería con plataforma de chasis

La carrocería con plataforma de chasis es otra posibilidad que en algunas ocasiones se lleva a cabo para vehículos que se supone han de soportar cargas o esfuerzos anormales. El concepto de chasis no se halla abandonado en la estructura que forma parte del suelo del vehículo. De hecho se puede apreciar los largueros y los travesaños que consolidan una forma tradicional de chasis aun cuando se hallen contruidos por piezas plegadas de lámina, la cual tiene un espesor sustancialmente mayor que el resto de las piezas de este material.

La parte que constituye este chasis se halla complementada con la soldadura de láminas por medio de las cuales se forma el piso quedando de esta forma una verdadera plataforma rígida a la cual se le unirán todos los elementos mecánicos.

La unión de la carrocería a este chasis puede realizarse de dos maneras, tal como es tradicional en los chasis de viga. Una, puede ser atornillando la carrocería a la plataforma por medio de un buen número de tornillos. En este caso la carrocería puede formar un conjunto independiente que puede desmontarse de todo el chasis y su

reparación y ajuste resulta menos entretenida que en los sistemas unidos por soldadura. Dado el caso de que la plataforma resulta muy rígida y se hace cargo de los esfuerzos y vibraciones, las uniones de la propia carrocería no tienen necesidad de ser tan rígidas como ocurre con las autoportantes, de modo que puede construirse con muchas de sus piezas desmontables, lo que, como se ha dicho, facilitará después mucho la preparación de las piezas deterioradas ya que muchas de ellas son desmontables.

Pero también puede seguirse otro criterio diferente cuando se utilizan plataformas de chasis, que consisten en hacer carrocerías de lámina más fina y consecuentemente más ligera de peso, con lo que se compensa el mayor peso de la plataforma y también el precio de ésta con respecto a las carrocerías autoportantes. En estos casos, los fabricantes se ven obligados a utilizar la técnica de la soldadura pues el exceso de piezas desmontables reduce considerablemente la rigidez de la caja. En estos casos los elementos desmontables vienen a ser los mismos que en el caso de las carrocerías autoportantes

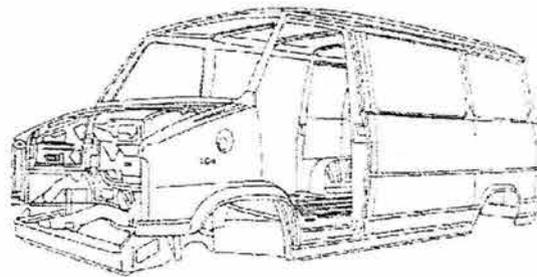


Fig. 1.3. Carrocería con plataforma de chasis

1.2 Consideraciones para el diseño de carrocerías

Al utilizar la expresión consideraciones para el diseño, nos referimos a una característica que tiene que ver en el diseño de un elemento, o de todo un sistema. Esta descripción del proceso de diseño, sigue una secuencia de eventos en el desarrollo de un producto. Sin embargo, el diseño tiene muchas fases y también se relaciona con otros

factores que son importantes y que hay que tomar en consideración. Estos factores pueden ser los siguientes:

- Resistencia
- Corrosión
- Rigidez
- Costo
- Peso
- Duración
- Vibración
- Forma
- Seguridad
- Acabado superficial
- Estética
- Tamaño

Algunos de estos factores se refieren al material, al procesamiento, a las dimensiones o al ensamble del sistema. En cambio, otros se relacionan con la configuración de todo el sistema, y algunas de ellas pueden ser indispensables para que el diseño del sistema funcione a la perfección.

Fases del diseño de un automóvil

El período que transcurre desde que una marca decide fabricar un nuevo modelo hasta que éste ve la luz, se prolonga normalmente, dependiendo de diversos factores, entre dos y cinco años. Durante este tiempo, normalmente en torno a los cuatro años, el primer paso que se da es el de definición del producto.

El departamento de marketing presenta un pliego de condiciones en función de sus previsiones para los siguientes diez años, donde se debe contemplar la evolución del mercado, de la competencia, del público al que se dirige y otros factores similares. Sobre esta base, el departamento de ingeniería del producto y de desarrollo elaboran un listado de necesidades. Posteriormente, el departamento de finanzas delimita los costos.

Una vez definidas las grandes líneas del modelo, llega el momento del diseño. Se realizan varias propuestas, para finalmente elegir la más acertada. Las propuestas deben cumplir con el pliego de condiciones presentado por el fabricante sin salirse del presupuesto, facilitar en lo posible el proceso de fabricación, influido por multitud de factores (proveedores, elaboración de elementos diversos, etc.), facilitar en la medida de lo posible las reparaciones, acabado de los interiores, reciclaje del vehículo, tener en cuenta las opciones que debe llevar cada modelo, satisfacer los posibles gustos estéticos de la época sin dejar de lado un estilo propio, las medidas de seguridad, aerodinámica, habitabilidad, reglamentación internacional y un sinfín de parámetros más.

Debido a su complejidad, este punto del proceso es fundamental. Por ello, tras la aprobación de un boceto, intervienen en él todos los departamentos de la empresa y también los proveedores en las fábricas con una gestión más moderna. Desde el principio están implicados todos los departamentos para presentar sus dudas y problemas y sugerir posibles soluciones. Una buena coordinación y un buen trabajo en equipo resultan imprescindibles. (fig.1.4.)

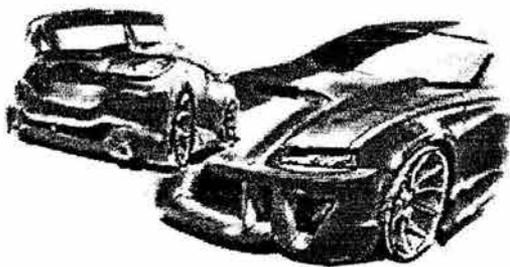


Fig. 1.4. El esbozo a mano alzada representa la fase inicial en la realización de una carrocería. A continuación, solamente se perfilan detalles

En el siguiente paso, una vez definidas la forma y las dimensiones exactas del modelo y los materiales con los que se construirá, comienza el período de análisis y optimización. Obtener el mejor compromiso de cada situación y las mejores soluciones a los distintos problemas que surjan es la tarea de este proceso.

Para llevarlo adelante, por buenos que sean los métodos de simulación por computadora, es imprescindible construir prototipos. Este es un proceso lento porque todavía no se ha definido el utillaje definitivo para la fabricación en serie del vehículo, por lo que se realizan con medios artesanales.

Pero ello no significa que pueda descuidarse la precisión ya que para que los ensayos resulten fiables se deben realizar los análisis sobre modelos representativos del producto que se examina. Durante este periodo, cada elemento que se considera definitivo, se mide minuciosamente y se incorpora, finalmente al proceso de fabricación.



Fig. 1.5. Con el proceso artesanal del barro se da forma a la primera maqueta de un automóvil. Los diseñadores actúan con gran esmero para que el resultado sea exacto a lo que han diseñado

1.3 Materiales utilizados y procesos de fabricación de carrocerías

Los materiales utilizados en la industria para la construcción de carrocerías son principalmente tres, los cuales varían de acuerdo a la utilidad que se le vaya a dar a la carrocería, estas son:

- Acero
- Aluminio
- Fibra

Carrocerías de acero

Independientemente de su recubrimiento si se pretende hacer una división de los grandes tipos de aceros aplicables en la industria automotriz se debe empezar por dividirlos en:

- Aceros de conformación en frío convencionales
- Aceros de Alto Límite Elástico
- Aceros laminados en caliente y decapados

Actualmente un 80% de los aceros utilizados son convencionales, ya sean con o sin recubrimiento. Pero existe una muy importante tendencia a utilizar cada vez más aceros que ofrezcan mayor rigidez a las estructuras y mayor resistencia a deformaciones. Estos aceros son los conocidos como de Alto Límite Elástico. Existen varios tipos de aceros, entre los que cabe destacar:

- *Aceros microaleados (de alta resistencia y baja aleación)*: los elevados límites elásticos descados se obtienen por adición de distintas cantidades de Niobio y Titanio. En ocasiones también se añade Vanadio. Nunca sumarán estas cantidades más del 1% del total.

Dentro de este grupo se pueden encontrar los aceros isotrópicos con la adición de Titanio entre un 0.01% y 0.04%. Destaca su reducida anisotropía (propiedad de los aceros que muestra la tendencia a la disminución del espesor frente a la disminución del ancho de la chapa).

En general, el mercado de nuevos aceros está en continua evolución presentando nuevas ideas en períodos de tiempo muy cortos.

El proceso de fabricación y estampado de la carrocería en una fábrica moderna de automóviles es como un complejo rompecabezas, en el que cada una de las piezas que la forman tiene una ubicación determinada, una función específica que realizar y una importancia vital en el resultado del producto final. Según los métodos productivos más avanzados, el proceso comienza con el corte de las chapas que llegan en gigantescas bobinas a las fábricas. Cizallas automáticas desenrollan la chapa de diferentes grosores y la cortan al tamaño que requieran las piezas a las que van destinadas, para pasar al proceso de estampado o embutido, en el que por medio de gigantescas prensas se moldean los pisos, puertas, capós, paneles laterales, y todas las piezas exteriores e interiores de gran tamaño que conforman la estructura metálica de la carrocería.

La elaboración de cada una de las piezas requiere un número determinado de moldes (algunas necesitan hasta seis) y las prensas más modernas son capaces de estampar hasta 20 piezas por minuto, dependiendo del número de moldes que necesite y de la complejidad en la forma de la pieza. Estas prensas automáticas de alta velocidad superan los 30,000 [N], y no se necesitan más de 15 minutos para efectuar el cambio automatizado de las matrices que precise cada pieza, matrices que llegan a pesar varias toneladas.¹

Las piezas ya estampadas se transfieren a otros talleres para su proceso de ensamblado por medio de soldadura eléctrica. En ellos, la automatización suele ser muy alta y, generalmente, más del 80% de los puntos de soldadura los efectúan robots que hacen su trabajo con un nivel de precisión y rapidez inalcanzable para el ser humano. Tras una programación previa, los robots ejecutan un buen número de movimientos muy complejos, soldando uno a uno los innumerables puntos que requiere una carrocería, y en cada uno de ellos aplica con exactitud el tiempo, la presión y la energía de soldadura necesarios.

1. La carrocería. *"Enciclopedia práctica del automóvil"*. Ed. Génesis. Madrid. 1993. Tomo 8, p. 23

En las carrocerías que tienen la plataforma de chasis independiente, las piezas que no tienen un compromiso de rigidez manifiesta no se ensamblan por medio de soldadura, sino con tornillería. Estas piezas son fundamentalmente las aletas y pasos de rueda delantera y posteriores, además de puertas y capós. Existen también otros procedimientos de ensamblado, como el remachado, que se llevan a cabo en las carrocerías con grandes superficies de plancha, como en los autobuses. En los talleres de ensamblado se unen los grandes subconjuntos como paneles laterales, techo y estructuras pesadas del armazón, a las que se añaden las puertas, capós, etc., dando forma a la estructura básica de la carrocería monocasco.

La modernización y automatización de los métodos de estampado de las carrocerías, no solamente ha redundado en una enorme reducción del tiempo de producción de cada pieza, sino que también ha recortado los costos, y lo que es más importante, ha elevado las cotas de calidad y perfección en la fabricación.

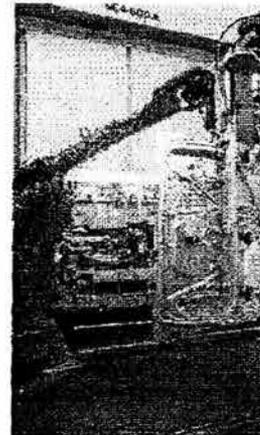
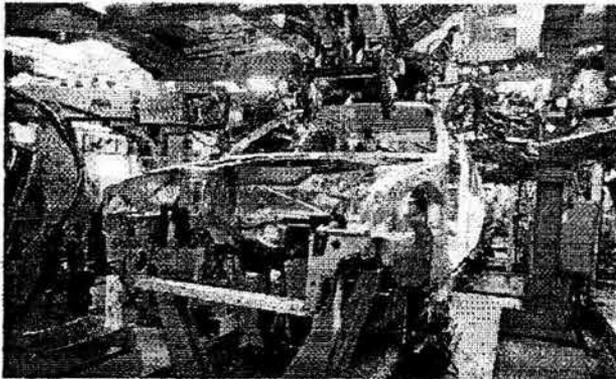


Fig. 1.6. Los robots juegan un papel fundamental en el montaje de las carrocerías

Los automóviles cuyas carrocerías están construidas por chapas de acero están constantemente sometidas a la corrosión. La corrosión es uno de los principales problemas que crea el paso del tiempo en las carrocerías y uno de sus puntos más débiles.

Las carrocerías actuales, con multitud de perfiles diferentes en la estructura de la chapa, tendientes a conseguir diferentes grados de rigidez para absorber la energía en caso de impactos y para mantener un comportamiento óptimo sobre el pavimento, son el lugar ideal para provocar nidos de corrosión. A causa de ello, una lucha adecuada contra la corrosión de los automóviles debe comenzar en la etapa de diseño. Realizar la carrocería con el menor número posible de piezas para evitar zonas de soldadura, delimitar zonas de soldadura poco expuesta al contacto con los agentes atmosféricos, proveer de ventilación todos los huecos en los que se pueda alojar agua para alcanzar un rápido y eficaz secado, o para que no se condense agua con facilidad, es un cometido del equipo de diseño.

El interior de las puertas es un claro ejemplo de la facilidad con la que puede entrar el agua, cuando llueve o al lavar el coche, por el hueco entre el cristal y su marco. Para proporcionar un camino de salida, la parte baja de las puertas tienen unos orificios para evacuar el agua en caso de que se acumule gran cantidad y para airear el interior de las puertas. Si esos orificios se obstruyen se está creando una posibilidad de corrosión.

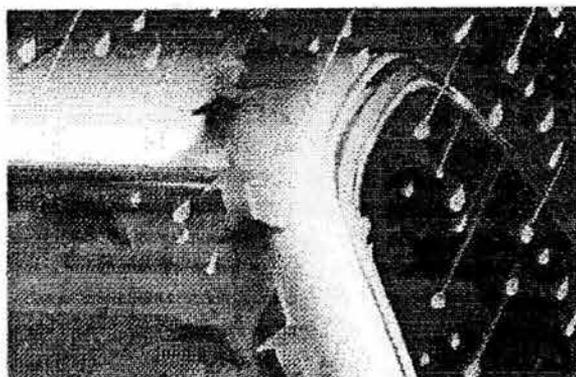


Fig. 1.7. La lluvia también es uno de los elementos más corrosivos para las carrocerías. La humedad penetra en los rincones más escondidos y así comienza la oxidación

Con todo, la ventilación es sólo una condición necesaria, pero no suficiente para evitar la corrosión. Además de la protección general anticorrosión que recibe la chapa de todos los coches, la parte baja es sometida a un tratamiento especial. Debido a su posición, además de la facilidad de retener agua en distintas cavidades, la parte baja de

los coches está expuesta a constantes impactos por grava y piedras que pueden perforar las capas de pintura y dejar el metal al descubierto. Para impedir que los impactos hagan mella sobre la pintura, los coches están sometidos a una protección especial de su parte baja, que consiste en el rociado de un producto compuesto por ceras no polimerizables por toda la parte inferior del vehículo.

El rociado de este producto se realiza, generalmente, en el último paso de la cadena de producción, de tal forma que afecta a todos los órganos del coche. Otra ventaja de esta capa bituminosa o cloruro de polivinilo (PVC), es su poder aislante, pues mitiga el molesto sonido de rodadura que se transmite a través de los elementos metálicos.

Pero no basta con esta película rociada. Los elementos huecos, tan propensos a incubar focos de corrosión, reciben un tratamiento especial.

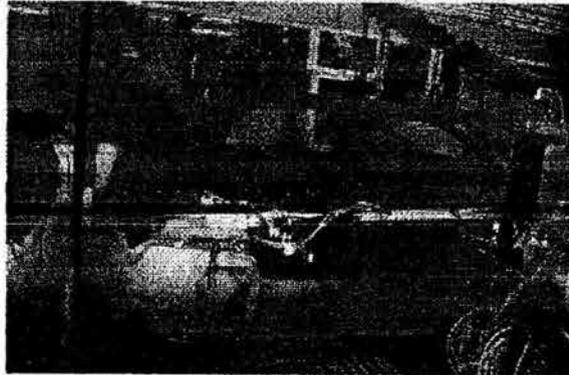


Fig. 1.8. En los tratamientos de la parte baja se han logrado soluciones con garantías de seis años, inclusiones en condiciones extremas

A través de los mismos orificios de aireación, se accede al interior de estos cuerpos, en los que se inyecta un producto compuesto por resinas y ceras no polimerizables, que aíslan completamente la chapa de todos los agentes susceptibles de corroerla.

La corrosión no afecta únicamente a la parte baja de los vehículos; se puede producir en cualquier zona metálica de la carrocería y, a causa de ello, toda la chapa de los vehículos recibe una protección que se denomina generalmente de pintado, ya que en ésta se incluye la capa de barnices con pigmentación que otorgará el color final del vehículo.

El primer paso que se realiza en el proceso de pintado de un vehículo es el desengrasado y lavado de las chapas, para conseguir una superficie limpia y adecuada para recibir las sucesivas capas de productos protectores y de pintura. El principal requisito para un buen recubrimiento protector de larga duración, es que las capas se adhieren fuertemente al metal y, como a causa del proceso de estampación de las planchas metálicas, éstas están recubiertas por aceites, conviene eliminarlos totalmente antes de iniciar el proceso de pintado. Este desengrase se realiza con productos detergentes y alcalinos a una temperatura que oscila entre 50 y 80 [°C], en función del fabricante y del tipo de detergente utilizado.² La aplicación se puede realizar tanto por chorro a presión como por inmersión con el fin de obtener un óptimo resultado también en los cuerpos huecos de la carrocería. Para acabar, un meticuloso lavado con agua es imprescindible para arrastrar los posibles restos de detergente pegados a la carrocería.

La fosfatación, generalmente con fosfatos de hierro y zinc, crea una capa microcristalina de unas micras de grosor que resulta ser la primera capa protectora que reciben los vehículos. En realidad, con el fosfatado se cambia el tipo de superficie metálica, con dos objetivos: el primero como protección a la corrosión, y el segundo como base más adecuada para las siguientes capas de pintura. Por ello, antes de realizar el siguiente paso, después de la fosfatación, se lava de nuevo la carrocería con agua para eliminar cualquier resto de sales (fosfatos) no adheridas a la chapa.

2. La carrocería. "Enciclopedia práctica del automóvil". Ed. Génesis. Madrid. 1993. Tomo 14, p. 52

A continuación se realiza un pasivado. La pasividad es una propiedad de algunos metales (níquel, cromo, cadmio y titanio) para crear una película superficial que cierra el paso a la corrosión posterior. En los vehículos, mediante la aplicación por aspersión de ácido crómico sobre la capa de fosfatos anterior, se procede a la pasivación de las chapas. En el caso de que la fosfatación hubiera dejado algún punto sin descubrir, la aspersión de ácido crómico supliría algún posible defecto. Un meticuloso lavado con agua desmineralizada después del pasivado, deja la carrocería lista para el paso siguiente.

Para realizar los pasos anteriores se utilizan básicamente dos fórmulas: aspersión o inmersión. O sistemas mixtos. Para el primer caso, las carrocerías son sustentadas por ganchos unidos a una cadena transportadora, y las distintas soluciones químicas son proyectadas a presión sobre ellas, mediante unas duchas que reparten los productos de forma uniforme por todas las superficies. En el segundo caso, las carrocerías se sumergen en diferentes soluciones durante un tiempo exacto prefijado. Habitualmente se emplea un sistema mixto, por aspersión para el desengrasado y por inmersión para el fosfatado.

A continuación llega la electroforesis o cataforesis, ya que el vehículo es el polo negativo del circuito. La cuba, con la solución de pintura en la que se sumerge el coche, está cargada de signo positivo, con una diferencia de potencial entre ánodo y cátodo de 300 a 400 [V] y con una temperatura del líquido en la cuba cercano a los 30 [°C]. La ventaja fundamental de este sistema es que la pintura no se adhiere a la chapa por contacto, como sucede en el pintado por inmersión tradicional, sino que queda pegada por atracción molecular electrostática. A causa de ello, se consigue aplicar una capa uniforme en todos los lugares de la chapa, ya que la pintura que se adhiere actúa como aislante y, a partir de un cierto espesor (unas 40 micras) no se añade más pintura. De esta forma se consigue una superficie perfectamente uniforme.³

3. *Ibid.* p. 53

Los disolventes utilizados en cataforesis son tradicionalmente a base de agua, aunque también se encuentre una pequeña porción de disolventes orgánicos. Pero en realidad no se trata de una disolución, sino de pintura (adherente) en suspensión coloidal catiónica.

Esto quiere decir que las moléculas del adherente no están separadas dentro del agua y que vuelven a formarse cuando el agua desaparece. Las moléculas de adherente permanecen enteras, dispersas en el agua. Al salir de la cuba cataforética, se procede de nuevo a lavar la carrocería en un largo túnel provisto de varios sistemas de lavado, que acaba con agua desmineralizada, para eliminar cualquier rastro de pintura adherida mecánicamente (y no electrostáticamente) sin coagular. Inmediatamente después, la carrocería pasa durante 15 minutos por el horno, para facilitar la evaporación de disolventes y conseguir polimerizar la pintura adherida sobre la chapa. Gracias a esta polimerización, res

ulta insoluble para los disolventes con los que entrará en contacto en las siguientes fases del pintado.⁴

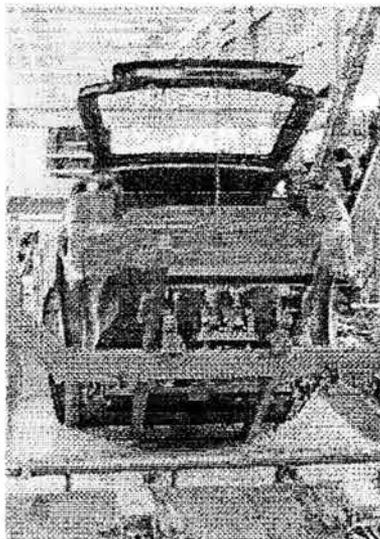


Fig. 1.9. Momento de la introducción de un vehículo en el baño cataforético. Con esta técnica queda asegurada una capa regular de pintura en todos los puntos de la carrocería. Con ello, también se incrementa la protección contra la corrosión

4. Ibid. p. 53

Los hornos, cuya temperatura puede variar entre 170 y 200 [°C], pueden calentarse por convección o radiación.⁵ En el primer caso, el aporte calorífico lo realiza aire caliente, calentado normalmente por dispositivos alimentados energéticamente por gas natural. En los hornos calentados por radiación cada vez menos utilizados, se aplican diferentes radiaciones, luminosas y de otro tipo.

A continuación de la cataforesis se aplican los másticos de sellado, justo por debajo de la capa de pintura definitiva. Hay varios tipos de másticos, en función del papel que deban desempeñar. Algunos son de estanqueidad, los cuales se colocan en aquellos lugares en los que conviene una cierta elasticidad para que el ajuste de cierre sea más preciso y evitar el paso de agua. Con los másticos de unión entre piezas ensambladas no soldadas, se consigue eliminar ruidos y evitar deformaciones en el punto de unión de las piezas. Por último, el antigravillado es un mástico complementario a las sustancias utilizadas para la protección de la parte baja. En los puntos concretos donde más propensa es la carrocería a recibir golpes de las piedras levantadas por las ruedas, se aplica un refuerzo especial.

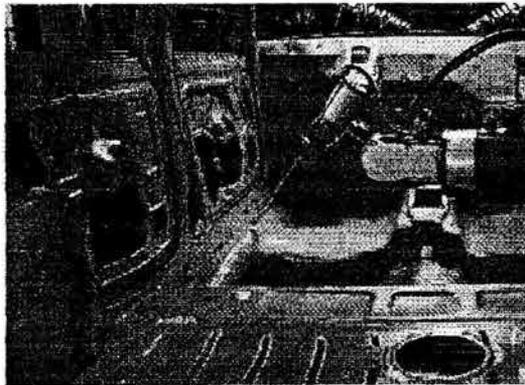


Fig. 1.10. En las cadenas de montaje, se ha robotizado el proceso de protección de los rincones más sensibles de las carrocerías

5. *Ibid.* p. 54

El uso de másticos, que suelen tener forma de cordón, ya que se fabrican mediante proceso de extrusión, se ha realizado tradicionalmente de forma manual. En los últimos tiempos estas operaciones se encomiendan a robots, que aportan mayor homogeneidad al acabado. También en esta fase se aplican capas de protección a la parte baja de la carrocería (normalmente de cloruro de polivinilo, PVC), mediante robots y aplicaciones especiales en pasos de rueda, y de sellado en zonas que requieran especial protección.

Sobre la capa de electroforesis y los másticos se da una capa de *priming*, cuyo fin es preparar la superficie para que acoja la pintura en las mejores condiciones posibles.

Gracias a esta capa de priming, la pintura (la de color en realidad) que se aplique posteriormente, alcanzará las condiciones óptimas de tensión y brillo. El priming se realiza en una cámara de pintura propiamente dicha, por la que van pasando las carrocerías. En estas cámaras se procura una elevada circulación vertical de aire para eliminar los disolventes que se van evaporando y para arrastrar hacia el suelo la pintura pulverizada que queda en el aire. El aire empleado debe estar limpio de partículas de polvo, aceite y agua, a una temperatura constante entre 22 y 24 [°C] y con una humedad relativa entre el 45 y 65%, en función de los productos utilizados.⁶

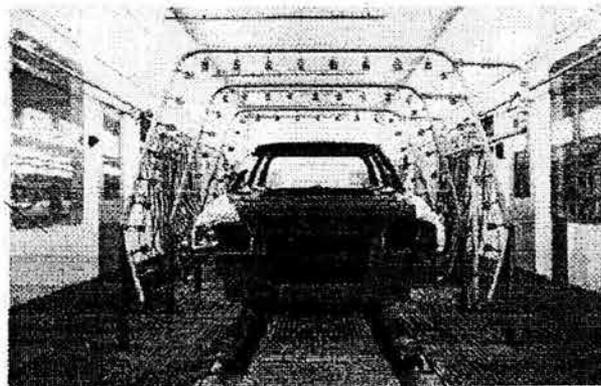


Fig. 1.11. En los modernos túneles de pintado se aplican soluciones técnicas que garantizan la calidad del acabado final

6. Ibid. p. 56

La aplicación de la pintura con pigmentos mediante pulverizado a presión con robots, se realiza normalmente de dos formas diferentes, en función del tipo de pintura final que se vaya a utilizar.

Si se trata de pintura metalizada, la primera capa consiste en una base de color y de efectos metalizados, y la segunda un barniz que aporta un brillo. En el caso de pinturas metalizadas, normalmente solo se aplica una capa. Un último horneado para facilitar la evaporación de los disolventes sin condensaciones de agua en la chapa, pero sobre todo para polimerizar las lacas y barnices empleados, deja la carrocería lista para una utilización agresiva. Sólo un último rociado de bajos, al final de la cadena aumentará todavía más la trabajada protección contra la corrosión.



Fig. 1.12. Los hornos de secado aseguran la estabilidad química de la pintura por medio de un proceso térmico

Los equipos utilizados para la pintura de acabado son iguales que los de la capa de priming. Se trata de sistemas de pulverización rotativa (giran entre 15,000 y 30,000 [rpm]) que actúan en un campo electrostático que también afecta a la carrocería del coche. Así, las partículas de pintura se precipitan sobre la chapa de forma homogénea con un aprovechamiento de la pintura del 85%, en lugar del 35% que se aprovecha en un proceso de pintado manual aerográfico. A pesar de su precisión, entre la fase de priming y pintado

de la última capa se realiza una inspección visual, para corregir mediante lijado, posibles defectos superficiales que pudieran arrastrarse de fases anteriores.⁷

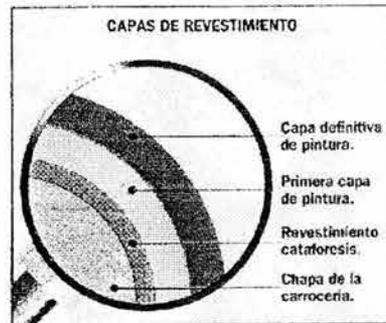


Fig. 1.13. Capas de revestimiento

Carrocerías de aluminio

El aluminio se viene utilizando en las carrocerías de automóviles desde un buen número de años. Las principales cualidades de este metal con respecto al acero, tradicionalmente utilizado, son su ligereza, mejor fusibilidad, mayor resistencia frente a la corrosión y mejor reciclabilidad. Entre sus defectos para ser utilizado en la industria automotriz, sobresalen su alto coeficiente de dilatación y unas propiedades mecánicas deficientes en estado puro. Sin embargo, ambos inconvenientes se solventan satisfactoriamente aleando el aluminio con otros elementos. Mediante aleaciones adecuadas, su resistencia mecánica se eleva considerablemente y disminuye su coeficiente de dilatación; mediante tratamientos térmicos adecuados como el templado, también mejoran sus características.

Al utilizarlo en carrocerías de automóviles, el objetivo principal que se pretende cumplir es el de la reducción de peso. En un periodo en el que las medidas de seguridad de los automóviles esta llevando a un incremento de peso generalizado, el empleo del aluminio parece la única solución a corto plazo para invertir esta tendencia alcista.⁸

7. *Ibid.* p. 57

8. La carrocería. "Enciclopedia práctica del automóvil". Ed. Génesis. Madrid. 1993. Tomo 20, p. 78

Marcas como Land Rover llevan utilizando el aluminio en sus vehículos de “todo terreno” desde antes de mediados del siglo XX. Más tarde, otras marcas se han ido incorporando a esta tecnología. Uno de los modelos más sorprendentes en este sentido es el Honda NSX, que fue el primer coche con carrocería autoportante montada íntegramente de aluminio.



Fig. 1.14. El Honda NSX fue el primer vehículo con carrocería de aluminio

En el proceso de incorporación a la utilización de este metal, destaca un modelo de una marca mítica: Ferrari. El 456 también está dotado de carrocería autoportante de aluminio, pero con la particularidad de que la plataforma está realizada con planchas de acero.

Según los responsables técnicos de Ferrari, con el aluminio no alcanzaba la rigidez deseada y por ello recurrieron a una plataforma de acero, pero con aluminio en la parte superior de la estructura para reducir peso. El problema se plantea en este caso por la imposibilidad de soldar aluminio con acero. Para solventar este inconveniente, en Ferrari se ha desarrollado una fina plancha de aluminio, tratada químicamente por una de sus caras. Por el lado que no está tratada, la plancha de aluminio se suelda con el aluminio de la carrocería. El otro lado, tratado mediante electrolisis, está cubierto por una sustancia que permite conseguir una soldadura resistente con el acero. Así, mediante la interposición de esta lámina, se ha conseguido la primera carrocería monocasco realizada con acero y aluminio.

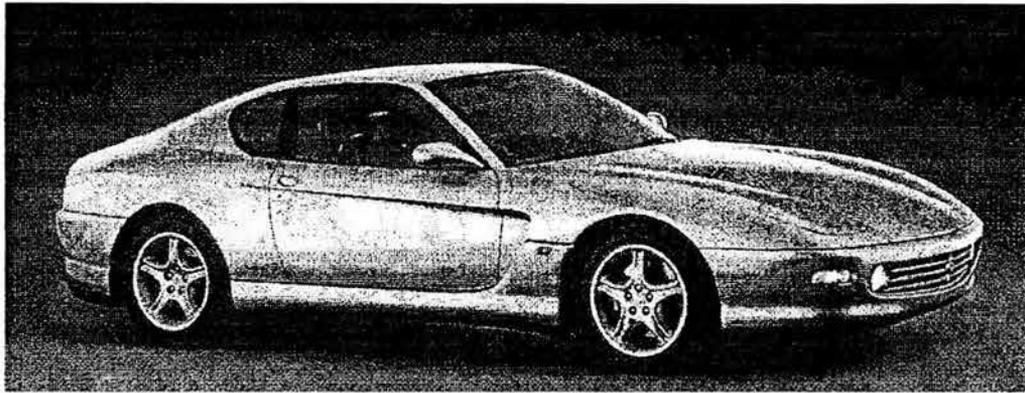


Fig. 1.15. La carrocería del Ferrari 456 es completamente de aluminio

Si bien es cierto que el Honda NSX fue el primer coche con carrocería monocasco realizado íntegramente en aluminio, ese modelo no se puede catalogar como un vehículo de producción en serie. Por tanto, el honor del primer vehículo con carrocería monocasco fabricado en serie recae en la marca alemana Audi, que ha estado durante diez años desarrollando la técnica del aluminio y que se ha lanzado a fabricar el modelo A8 íntegramente con este metal. Para alcanzar este logro ha debido desarrollar toda una estructura de soluciones nuevas, que afectan al vehículo desde los primeros momentos de desarrollo hasta las reparaciones en el taller.

Para ello, ha sido necesario dividir los elementos de la carrocería en tres tipos diferentes: chapas, perfiles extruidos y piezas fundidas.



Fig. 1.16. El A8 de Audi fue el primer vehículo con carrocería de aluminio producido en serie

Las chapas son termofraguantes y se prensan antes del proceso de endurecimiento térmico, cuando todavía permanecen en un estado elevado de blandura y moldeabilidad. Los perfiles extruidos se aplican en las zonas de mayor riesgo de colisión. Están fabricados con una aleación de aluminio y silicio, también termofraguantes. Por último, unas piezas fundidas en vacío forman los nudos de la carrocería. Mediante la adopción de una adecuada aleación y un proceso de fundición perfeccionado, estas piezas ofrecen rigidez elevada pero también buena tolerancia a la soldadura, gran ductilidad y alto grado de deformabilidad en caso de impacto, característica necesaria para garantizar la seguridad.

Los perfiles extruidos van soldados por sus extremos a las piezas de fundición y, sobre esta estructura, se montan las chapas prensadas. La rigidez de la estructura está garantizada en todas sus piezas portantes, que están unidas mediante cordón continuo de soldadura en atmósfera de gas inerte. Por el contrario, para la unión de piezas superficiales se recurre a los remaches. Solamente se utiliza la soldadura por puntos en los lugares donde la boquilla remachadora no puede acceder, por su mayor tamaño. Una vez finalizado el conjunto, el metal se somete al tratamiento térmico. Este consiste en introducir la carrocería en un horno, a 210 [° C], durante 30 minutos.⁹

El resultado es plenamente satisfactorio ya que, con el empleo del aluminio, los técnicos de Audi aseguran que se obtiene un 40% de reducción de peso con respecto a una carrocería similar de acero, a la vez que se supera su rigidez y su seguridad. En cuanto al balance de consumo de energía necesario para la elaboración del vehículo y también durante su periodo de utilización, es favorable al aluminio. Si se utiliza un 60% de aluminio reciclado, el costo energético de fabricación de un vehículo de aluminio es idéntico al de uno de acero de características similares.¹⁰

9. *Ibid.* p. 80

10. *Ibid.* p. 80

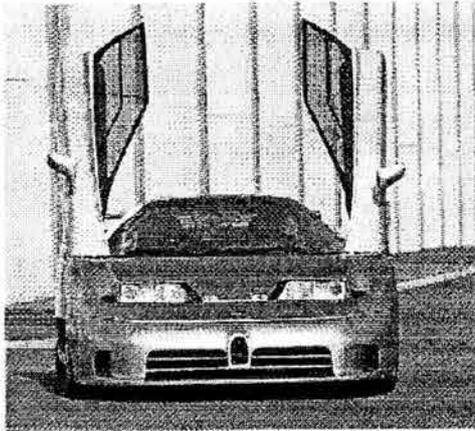


Fig. 1.17. Curiosamente, la carrocería del Bugatti EB110 se ha hecho en aluminio para lograr una superficie sumamente lisa

Carrocerías de fibra de vidrio y carbono

La fibra de vidrio o de carbono no es más que vidrio o carbono (grafito) en forma de hilos. La fibra de vidrio o de carbono no tiene que ser una fibra tejida, sino que se puede colocar por hilos sueltos de diferente longitud y diámetro, en función de los requisitos de la pieza que se vaya a realizar. Y también en función del trabajo que deba cumplir la pieza, los filamentos se orientan en un sentido u otro, o se permite un orden aleatorio.

Con todo, por sí mismas, la fibra de vidrio o de carbono no cumplen con las propiedades adecuadas como para realizar carrocerías con ellas; se necesitan de otros elementos. El material de unión que se utiliza difiere de unas piezas a otras. No es igual el material utilizado para realizar la carrocería (de fibra de carbono) que el que se emplea en los discos de freno (de fibra de carbono). El material de unión varía de unos casos a otros, aunque el esqueleto resulte similar (solamente similar, porque la longitud de las fibras, su composición, su grosor y su orientación, también difieren unas piezas de otras).

La fabricación de fibras de carbono es completamente diferente. Las fibras Celion, marca registrada por Basf, parten de fibras de otro material. En este caso son fibras de poliacronitrilo (PAN), las cuales se estabilizan y carbonizan, dando como resultado fibras de carbono. Variando el material de partida, el proceso de carbonización y los parámetros

de dicho proceso, se obtienen otras fibras de carbono de características diferentes al Celion. Estas poseen gran dureza y rigidez y una densidad que no llega a los 2 [g/cm³]. Se trata por tanto de un material muy ligero. Una vez que se cuenta con el hilado, que puede ser de vidrio, de carbono o de otros materiales, se debe decidir qué producto se utiliza como matriz. Para las carrocerías, los plásticos son la matriz comúnmente utilizada. Depende de cada fabricante el material concreto a utilizar. En algunos casos, se usan termoplásticos ya que su temperatura de reblandecimiento no se alcanza en una utilización normal del vehículo. En otros casos, el tipo de plástico es termoestable. Los plásticos termoestables son más rígidos que los termoplásticos, pero menos tenaces, por lo que dependiendo del tipo de trabajo al que vayan a ser sometidos, se emplean matrices de uno u otro compuesto.

Sin embargo, existe la confusión de nombrar a los materiales compuestos con el nombre de la fibra. Hay algunos materiales, como el Kevlar o el Nomrex, que se utilizan directamente como fibra tejida o como fibra para producir materiales compuestos. Pero la versatilidad del Kevlar es grande, y también se utiliza como un polímero expandido, en forma de estructura alveolar ligera. De ahí la versatilidad del Kevlar, que está presente tanto en la estructura de los vehículos de Formula 1 como en las prendas ignífugas de los pilotos que las conducen.

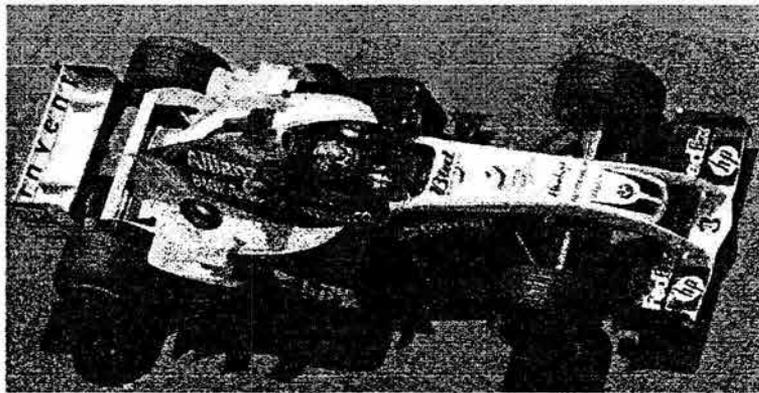


Fig. 1.18. El máximo empleo de las fibras (materiales compuestos) tiene lugar en los monoplazas de F1

También el carbono presenta múltiples facetas. Además de la fibra se producen planchas de carbono que se utilizan, entre otras cosas, para realizar los chasis de los vehículos de Formula 1.

Es lo que se denomina sandwich de carbono. Sobre una estructura de aluminio de forma alveolar (nido de abeja) se pegan, por las dos caras, en horno al vacío, planchas de carbono. Una vez polimerizado, el resultado obtenido es dos veces más ligero y resistente que el aluminio. Para condiciones menos exigentes, la estructura de nido de abeja de aluminio se sustituye por nidos de Nomex o Kevlar, realizando también un sandwich de carbono sobre este material.

El resultado es más ligero, flexible y fácil de modelar que cuando la base es de aluminio, pero también menos resistente. En estos casos, el carbono no trabaja en forma de fibra, sino como matriz de una “fibra” que es el aluminio (o el Kevlar) en forma de nido de abeja. Se puede decir por tanto que son chasis de carbono, pero no de fibra de carbono.



Fig. 1.19. Paneles de aluminio y cartón con estructura de nido de abeja, sobre los cuales se reviste la tela de fibra de carbono

Dos de los motivos por los que se utiliza la fibra de vidrio o de carbono en las carrocerías son:

1. *La reducción de peso.* Así en vehículos de competición la utilización de materiales compuestos en la carrocería es habitual cueste lo que cueste. Depende de los reglamentos, que permitan o no la utilización de estos materiales.
2. *La producción de series cortas.* El estampado de chapa requiere de grandes prensas con elaborados moldes, que se amortizan únicamente en el caso de grandes producciones. Para un estampado artesanal, los materiales más dúctiles resultan ventajosos. Pero no solamente se trata de una cuestión de precio; la facilidad de modelado de los plásticos permite alcanzar formas irrealizables con chapas metálicas. De ahí se deriva, en parte, la proliferación de prototipos en los últimos años: por la facilidad de construcción que aportan los nuevos materiales.

Pero el arma del precio se vuelve en contra cuando se trata de realizar vehículos de producción media. El costo es superior al de la chapa de acero y, aunque se puedan obtener mejores cifras de consumo gracias a la reducción de peso, pocos fabricantes apuestan por estos materiales en la gran serie. Otros argumentos a favor de las carrocerías de materiales compuestos son una mejor protección contra la corrosión, la posibilidad de alcanzar mejores cotas de reciclado que con el acero y también una mejor resistencia a los golpes. Por supuesto, todas estas cuestiones dependen fundamentalmente del tipo de matriz escogida para realizar los paneles.



Fig. 1.20. Toda la carrocería del Ferrari F-40 esta hecha de fibra de carbono

Uno de los pocos vehículos fabricados en gran serie con carrocería compuesta por fibra de vidrio es el Renault Espace. Todos los paneles son de poliéster reforzados con fibra de vidrio, pero se fabrican de forma diferente en función del empleo que vayan a sufrir. El panel del techo y el que recubre la puerta trasera se fabrican inyectando el poliéster caliente sobre un molde relleno de antemano de un tejido de fibra de vidrio.

Con este sistema se pueden realizar piezas de grandes dimensiones y de geometría compleja. Para realizar las piezas más pequeñas (capó, parachoques, etc.) se moldean en caliente los dos componentes juntos, la fibra de vidrio y la resina de poliéster (a 80 [bar] y una temperatura de 150 [°C]).¹¹



Fig. 1.21. Parte de la carrocería del Renault Espace es de fibra de vidrio

Tan espectacular como el proceso de fabricación del compuesto, es la preparación de la superficie para el apresto sobre el que se pinta.

Mediante una iluminación por rayos ultravioleta, con una radiación de 1000 [kW/m²], (mil veces superior a la que nos llega del Sol) se rompen las cadenas de las moléculas superficiales. Con esta rotura superficial, que no modifica las características estructurales del resto de la pieza, se consigue un mejor agarre del apresto, circunstancia que revierte en mejor tensión de la pintura y por tanto de su aspecto final.¹²

11. *Ibid.*, p. 76

12. *Ibid.*, p. 77

4.2 Diseños actuales de carrocerías utilizando técnicas CAD y CAE

Simex2000 desarrollado por SimTech y Renault, es una herramienta de software para los procesos de diseño, simulación y optimización de metal estampado. Este software combina gráficas de superficie, una simulación del pre y el post-proceso de la operación de estampado, la solución al proceso de optimización y un diseño automático simplificado de la superficie de la matriz. El ambiente de este software es muy completo, ya que permite que el diseño sea el mismo, sin que halla algún error, y utiliza herramientas que ayudarán a lograr resultados exactos.

Por años los fabricantes, y no sólo hablando de la industria automotriz, han entendido los beneficios del modelado y la simulación por computadora. De cualquier manera, pocos han desarrollado una estrategia para implementar esta herramienta durante todo el proceso de desarrollo del producto.

General Motors (GM) ha desarrollado una estrategia basada en las matemáticas, denominada Math-Based Synthesis Driven Vehicle Development.¹³

El proceso, el cual es llamado así por el uso de modelos matemáticos para optimizar la posición de los productos en el mercado, traduce la voz del cliente dentro de las características de un producto funcional y sintetiza el diseño del vehículo para satisfacer los requerimientos físicos, funcionales y de producción.

La compañía ha dado los pasos para implementar su estrategia basada en las matemáticas en todos los aspectos de desarrollo y producción de vehículos.

13. General Motor Company. "Automakers Going digital" en Automotive Engineering International, Vol. 139, No. 114, noviembre 2001, p.p. 51 a 53.

La implementación de la estrategia, ha involucrado el uso y la integración de varios modelos matemáticos y métodos computarizados.

Con el elevado nivel de competencia, debido al incremento globalizado de la industria, la necesidad de reducir el ciclo de desarrollo del producto y la mejor funcionalidad del vehículo se ha vuelto más evidente.

De acuerdo a GM, el tiempo de desarrollo del vehículo ha disminuido de 60 meses, a por lo menos 18 meses en los últimos 10 años, una tendencia que continua. Además, muchos nuevos materiales electrónicos y otras tecnologías han sido desarrolladas para mejorar la funcionalidad y la seguridad. Lo anterior ha incrementado dramáticamente la complejidad del automóvil.

Todo esto ha hecho necesario que los ingenieros se dediquen a desarrollar nuevas propuestas para el vehículo.

El poder de la computadora se ha incrementado drásticamente a través de los años, permitiendo que se desarrolle software cada vez más sofisticado para modelado y simulación. Lo que una vez llevó semanas para simular, ahora se puede realizar en días, o incluso, en horas.

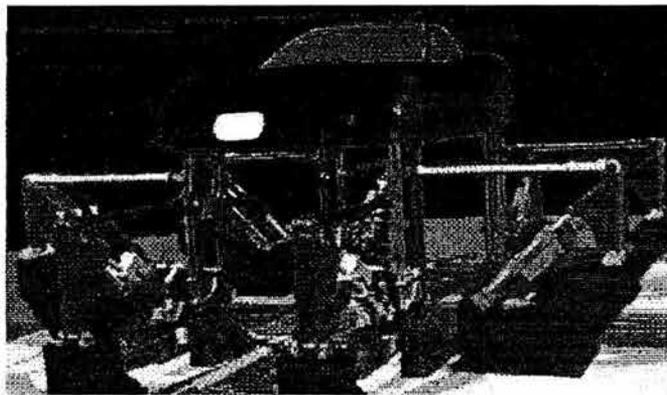


Fig. 1.22. Las pruebas de laboratorio virtual fueron creadas para reducir significativamente, los tiempos de evaluación del proyecto y del diseño

Dos elementos clave para la implementación de esta estrategia son la síntesis y el análisis. De acuerdo a GM, la síntesis es un proceso para el diseño de un sistema en el cual los requerimientos múltiples y adecuados son equilibrados y asignados a los subsistemas y componentes a través de un proceso analítico sistemático. Por lo tanto, la síntesis es la creación de un sistema, mientras que el análisis es una evaluación de éste. La estrategia representa un cambio del manejo del hardware, un proceso de desarrollo del análisis para un manejo de la síntesis, un soporte del hardware.

Cuando un producto es desarrollado de diferente manera, en el cual un prototipo es construido, probado y analizado para determinar una solución óptima, la ingeniería es desplazada hacia delante en el ciclo de desarrollo a través del uso del modelado y de la simulación.

Este tipo de estrategia recurre más a un proceso basado en el conocimiento en el cual se sabe algo acerca del producto y optimizando su diseño se finaliza la construcción del prototipo. Esta estrategia ha eliminado el largo y costoso proceso de prueba y error para múltiples prototipos.

El cambio de las herramientas ingenieriles, basadas en las matemáticas, llevarán a que el diseñador automotriz se convierta en un ingeniero de diseño. Este tipo de ingeniero es capaz de influenciar en la asociación de órganos para la producción de los datos matemáticos a lo largo de todo el proceso y utilizará herramientas de evaluación técnica, así como también, herramientas CAD que proporcionan un punto focal para la implementación de tecnologías y procesos innovadores.

Debido al gran campo que abarca esta estrategia, se requiere asistencia de varias computadoras con el software de los fabricantes. Los fabricantes enlistan los productos y servicios de Altair Engineering para modelados por análisis de elemento finito (FEA),

Mechanical Dynamics para modelados dinámicos, Engenious Software para procesos de automatización y optimización y MSC Software para el análisis de estructuras.

Algunos procesos utilizados en el proceso de desarrollo del vehículo son:

1. Pre y post-proceso por medio de FEA

HyperMesh que es un software de Altair, es un pre y post-procesador de alto rendimiento para grandes soluciones de elemento finito, permitiendo a los ingenieros analizar las condiciones de diseño en un ambiente sumamente interactivo y visual. La herramienta de automallado de superficie en HyperMesh permite a los ingenieros preparar modelos por un ajuste en la variación de los parámetros de la superficie, tal como un elemento de densidad y algún algoritmo de mallado. El software también es capaz de automallar una región cerrada con elementos tetraédricos de primer o segundo orden. Los ingenieros pueden controlar las opciones de crecimiento de los elementos y CFD (Fluidos Dinámicos Computacionales) modela los requisitos pedidos, selecciona los elementos de flotación o fija los límites, y vuelve a mallar las regiones locales.

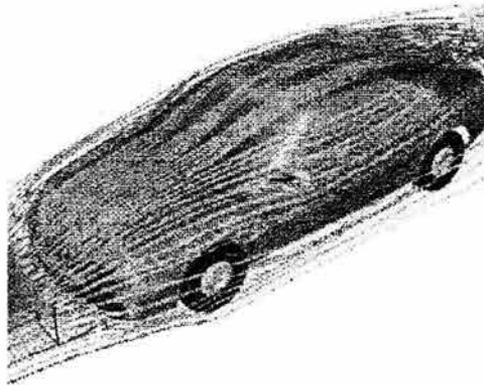


Fig. 1.23. Los ingenieros de GM utilizan CFD para entender mejor el flujo de aire alrededor del vehículo, por lo que se pueden optimizar el desempeño del motor y el aerodinámico

HyperMesh contiene una variedad de herramientas que le permite ser integrada en una compañía en donde exista un proceso de ingeniería. Las características del software exportan plantillas que permiten que la base de datos sea escrita en formatos que sean fáciles de leer.

2. Herramienta de modelado dinámico

ADAMS de Mechanical Dynamics Inc. es un software de sistema de simulación mecánica, que permite que los ingenieros construyan y prueben prototipos virtuales. La geometría CAD de otros productos, puede ser importada a ADAMS a través de cualquier software comercial de ADAMS. Los modelos de ADAMS pueden estar proporcionando propiedades paramétricas, permitiendo que los ingenieros escojan varios diseños, que puedan trabajar a través de un rango de valores, e iniciar un ajuste de parámetros de simulación para optimizar el diseño.

Una vez que los modelos son construidos o importados, el software verifica el modelo y entonces formula y resuelve las ecuaciones de movimiento para simulaciones cinemáticas, estáticas, cuasiestáticas y dinámicas. Además, ADAMS muestra animaciones y gráficos, que hace que los ingenieros perfeccionen el diseño mientras que la simulación sigue corriendo.

Renault ha seleccionado el software de traducción CAD, Elysium de CADporter. CADporter alcanzó un 99% de éxito en el campo de traducción de datos de CATIA a los formatos Pro/ENGINEER y Parsolid. Grandes pruebas del software han dado diseños completamente confiables, que traducen los datos que mantendrán las especificaciones del diseño, en el destino de los paquetes de software.

CADporter muestra buen manejo de geometría en 3-D, en representaciones de diferentes topologías, y en la reparación automática de errores que regularmente ocurren durante la conversión de una superficie a un sólido, en los modelos de CAD. El software también permite la interoperación entre las aplicaciones basadas en ACIS, CATIA, I-DEAS, Pro/ENGINEER, Solidworks, y Unigraphics con gran éxito.

Éste permite precisar la conversión de la fuente de datos original, la cual comparte la información entre muchas aplicaciones de CAD, en un proceso sencillo. Éste rápido

cambio de datos, facilita el desarrollo en la productividad del diseñador y reduce los costos asociados con la incompatibilidad de las herramientas de traducción.

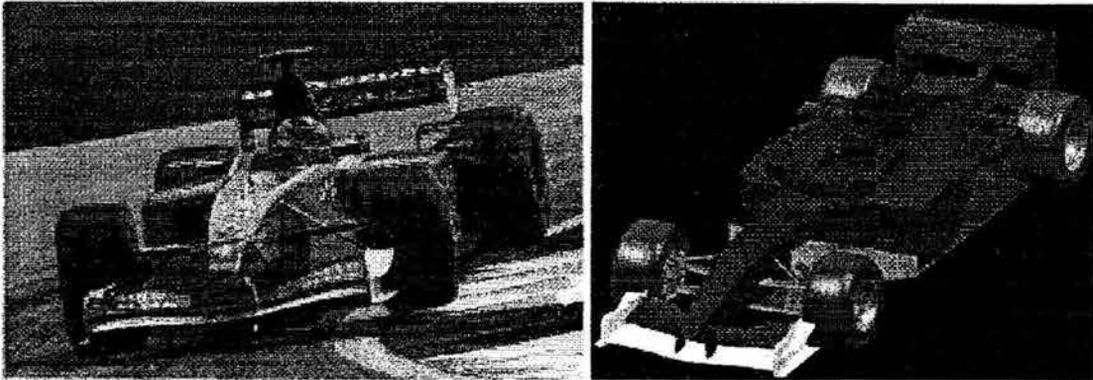


Fig. 1.24. El software de traducción CAD, Elysium de CADporter, ha alcanzado un 99% de éxito en el campo de traducción de datos de CATIA a Pro/ENGINEER para el equipo Mild Seven Renault F1

CADporter también se caracteriza por la habilidad de leer y escribir el formato original de los archivos.

El equipo Renault reconoció que al tener éxito en el proceso de diseño de los coches de carreras de F1, éste necesita un ambiente de ingeniería de estrecha colaboración para sus proveedores y un equipo de análisis de esfuerzos, muchos de los cuales estuvieron empleando sistemas CAD altamente especializados y heterogéneos.

En los últimos años, muchos equipos de Fórmula Uno han estado buscando mejorar la aerodinámica de los coches, a través del uso de herramientas, tal es el caso de CFD (Fluidos Dinámicos Computacionales). Uno de esos equipos de Fórmula Uno es Benetton, el cual está usando las técnicas CFD para mejorar más la idea del campo de flujo alrededor del vehículo. En colaboración con Computational Dynamics Ltd., uno de los miembros de CD Adapco Group, los ingenieros de diseño de Benetton están utilizando STAR-CD para dejar en excelentes condiciones la aerodinámica de su vehículo.

STAR-CD es una herramienta del software CFD, capaz de modelar turbulencia, combustión, radiación y multifases físicas. Sus capacidades de modelado de flujo, incluyen:

- Turbulento y giratorio
- Periódico
- Variable
- Flujo compresible e incompresible

El software STAR-CD puede trabajar con mallados sin estructura y con celdas alineadas en forma de tetraedros o prismas. Es capaz de relacionarse con casi cualquier herramienta de CAD o de generación de mallas, es también capaz de mezclar y combinar partes malladas creadas por separado. La función de mallado automático del software, permite que los ingenieros realicen cambios en la geometría CAD, que serán capturados por la malla de CFD. Las superficies gráficas proporcionan a los ingenieros un ambiente automatizado, desde donde pueden adaptar los mallados basados no sólo en soluciones variables, sino que también en los errores numéricos actuales. El software CFD puede estar también relacionado con Mesh Optimization de Real Numerix Inc. que adopta las redes tetraédricas anisotropicamente, resultando una malla alineada con la dirección del flujo de alta calidad.

Los ingenieros de Benetton comenzaron su análisis aerodinámico importando la geometría del modelo CAD de un coche y después construyeron una malla CFD automáticamente, utilizando una herramienta de STAR-CD que tiene base ingenieril: "EZ-Aero". La malla explota la simetría para el modelado de la mitad del coche con alrededor de 10 millones de celdas. Estas grandes simulaciones pueden completarse en toda una noche. Para elaborar capas de fina malla de una superficie CAD, una increíble alta resolución del flujo puede ser realizada.

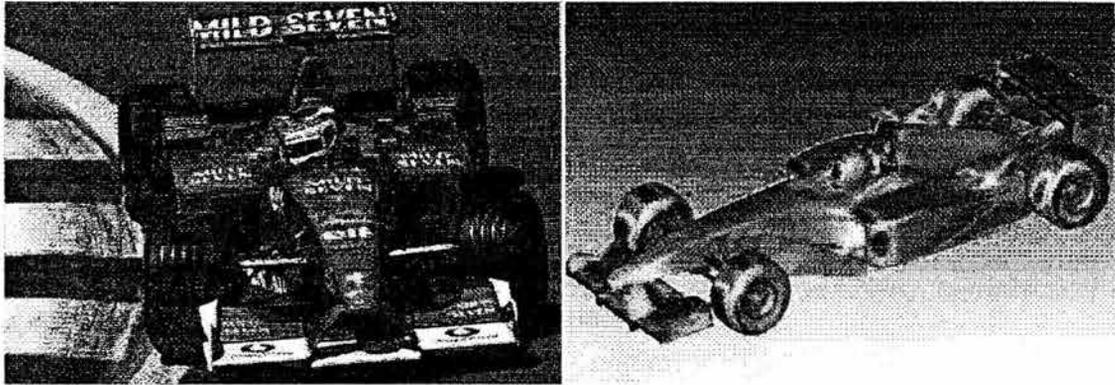


Fig. 1.25. Los ingenieros de diseño de Benetton utilizan STAR-CD para dejar en excelentes condiciones la aerodinámica de su vehículo

La flexibilidad del mallado de STAR-CD no sólo se adapta al modelado de detalles geométricos; éste también permite que los ingenieros de Fórmula Uno, realicen simulaciones CFD a todo el vehículo. Esto es particularmente importante en el análisis del montaje del alerón trasero. Analizado por sí mismo, la propuesta del flujo de aire de los alerones también debería ser más uniforme. En este caso, es necesario que la parte más alta del vehículo sea incluida dentro del análisis, para producir la correcta distribución de velocidad en el alerón trasero, proporcionando un pronóstico más exacto de la fuerza de empuje en el alerón. Esta propuesta de simulación CFD de alta resolución proporciona resultados que captura el campo de flujo aerodinámico del coche en extremo detalle, incluyendo los efectos del movimiento de las ruedas.

Los objetivos de los fabricantes y proveedores para reducir el desarrollo y el costo de producción, tiempo de ensamble, costo de reparación y mantenimiento, y peso, mientras incrementa la flexibilidad en la línea de producción, se están manifestando por el aumento en el uso de una arquitectura *front-end*, así como también el crecimiento en el interés de los recubrimientos plásticos.

Un módulo *front-end* (FEM) puede abarcar muchas funciones, ser ensamblado en un sencillo paso sobre el coche, y proporciona un ahorro en los costos. El diseño del FEM

depende mucho de las especificaciones particulares de los fabricantes, de las plantas de ensamble y de la cultura tecnológica.

Los ingenieros han estado desarrollando los conceptos del FEM en varios vehículos desde mediados de los 80's. Estos conceptos tienen el potencial para ser generalizados en muchas plataformas. Los nuevos estándares para pruebas de impacto, el incremento en la variedad para los consumidores y el desarrollo de un vehículo con plataformas múltiples, tiene todas las aportaciones para la popularización del FEM.

Los numerosos conceptos del FEM han surgido en los últimos 10 años y han sido adaptados a la técnica y a la especificación cultural de cada fabricante, así como también, en la variedad en el proceso para la línea de producción y ensamble. Muchos parámetros pueden ser utilizados para clasificar los diferentes conceptos del FEM. Estos incluyen el concepto geométrico, la integración de componentes, el funcionamiento mecánico y NVH (ruido, vibración, discordancia) del módulo, y el proceso de ensamble y la logística.

La ventaja geométrica del FEM esta relacionada con la capacidad para conseguir espacio entre los paneles de la carrocería. El primer FEM fue diseñado con el propósito de realizar una función de integración, tal como ocurre en las fascias y en los faros.

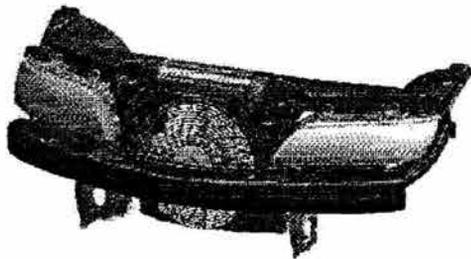


Fig. 1.26. Módulo front-end (FEM), visto sin fascia



Fig. 1.27. FEM portadora de los faros (Citroën Xantia)

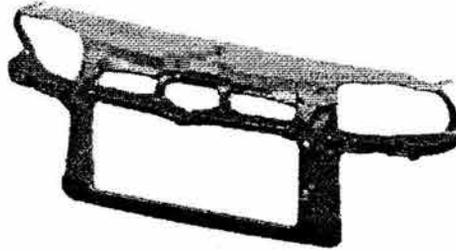


Fig. 1.28. Concepto mono-block de un FEM (VW Golf A4)

La reducción en peso de la carrocería será uno de los factores decisivos en el diseño de los coches de “tres litros”. Estos coches, con un consumo de combustible menor a 3.5 [L/100 Km], se espera sean introducidos en gran escala en Europa entre el 2005 y el 2010.¹⁴ Hoogovens Aluminium ha desarrollado un concepto para una carrocería que pueda cumplir los futuros requerimientos. El coche de cuatro puertas, de tamaño mediano, modelado por la compañía italiana I.D.E.A., muestra todos los materiales de bajo peso y las tecnologías de producción con las cuales Hoogoven está involucrado actualmente. El propósito del estudio del diseño fue para desarrollar una carrocería que tenga una máxima reducción en peso, combinado con los bajos costos de producción para hacerla apta para la producción en masa. Los materiales y las técnicas utilizadas también son aplicables para los grandes carros.

Parte del diseño es perfeccionado utilizando una combinación de materiales y técnicas; una carrocería de alta resistencia hidroformada, tubos unidos con láser, junto con paneles de acero troquelados, y paneles de acero conglomerado. El capó y la cajuela serán producidos de un conglomerado de aluminio para las partes exteriores y de aluminio para las partes interiores. Las puertas y las defensas serán fabricadas de hojas y extrusiones de aluminio. El piso de este vehículo está hecha de acero de alta resistencia. A causa de esto, el espesor de la lámina puede ser reducido, resultando una carrocería de bajo peso.

14. Nico A. J. Langerak, Hoogovens Research and Development, y Simon P. Kragtwiijk, Hoogovens Automoyive Design Support. “Lightweight car body design” en *Automotive Engineering International*, Vol. 106, No. 10, octubre 1998, p.p. 106 a 110.

El techo, las salpicaderas, los paneles exteriores del capó y de la cajuela están hechas de materiales conglomerados. Dos de esos conglomerados de materiales, son los desarrollados por Hoogovens: Hylite and Steelite.

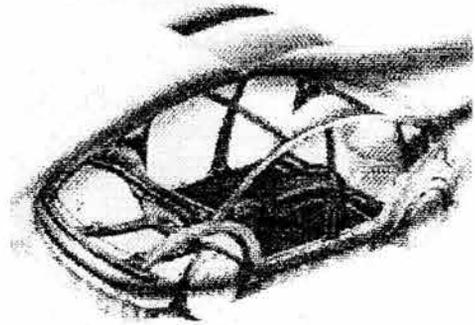


Fig. 1.29. Toldo de Hylite

Hylite, un conglomerado de aluminio-plástico-aluminio (típicamente una capa de 0.8 [mm] de plástico entre dos capas de 0.2 [mm] de aluminio), es una de las láminas automotrices disponibles más ligeras y es producida y comercializada por Hoogovens Hylite BV.

Steelite, es un conglomerado de acero-plástico-acero (típicamente una capa de 0.6 [mm] de plástico entre dos capas de 0.12 [mm] de acero), está actualmente en desarrollo y es apto para realizar partes con formas complicadas. Estos conglomerados pueden contribuir para disminuir el peso considerablemente en los coches del futuro.

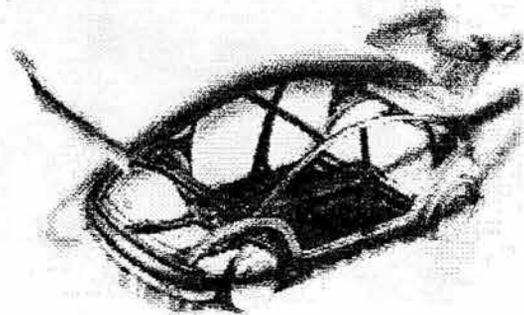


Fig. 1.30. Paneles de Steelite

Steelite es utilizado en el diseño de las salpicaderas y de la cajuela. Por utilizar este material en la cajuela se consigue un ahorro del 50% en peso, en comparación que si estuviera fabricado con acero.¹⁵

Si la formación de la pieza no es complicada, y si ni un poco de soldadura se requiere, el uso de Hylite llevará a otra reducción de peso, como fue demostrado en muchos prototipos y autos concepto.¹⁶

15. *Ibid.*, p.p. 106 a 110

16. *Ibid.*, p.p. 106 a 110

Para el techo, una variación de 2 [mm] de Hylite es utilizado para darle la rigidez suficiente a la carrocería.

Los paneles verticales de la carrocería, tales como las puertas y las defensas, están hechas de hojas de aluminio. En el ensamble de la puerta de aluminio, está integrado un marco para darle protección contra los impactos. Las partes interiores de la puerta están hechos de aluminio troquelado.

Dos tipos de aluminio están comenzando a utilizarse para los paneles de la carrocería: las aleaciones de Al-Mg sin tratamiento térmico de la serie 5000 y las aleaciones de Al-Mg-Si con tratamiento térmico de la serie 6000.

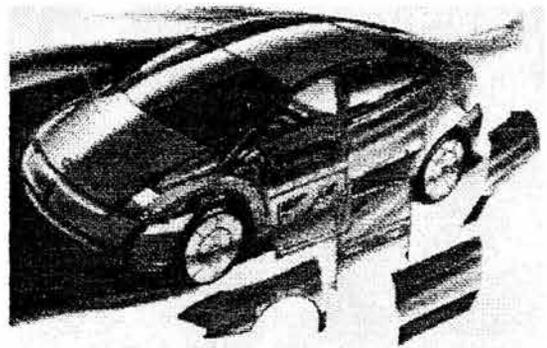


Fig. 1.31. Paneles laterales de Aluminio

Para las partes exteriores, la resistencia a la abolladura es un requisito crítico de servicio y, como esta resistencia es proporcional al esfuerzo de cedencia, un alto esfuerzo de cedencia en el componente del estampado es visto como benéfico.

Para una reducción óptima de peso, el capó y la cajuela, son una combinación de partes exteriores de Hylite y de partes interiores de aluminio. Una de las diferencias entre el aluminio y el acero es el menor módulo de Young y, por lo tanto, una menor rigidez. Un ejemplo de esto, es un capó de acero, el cual fue usado

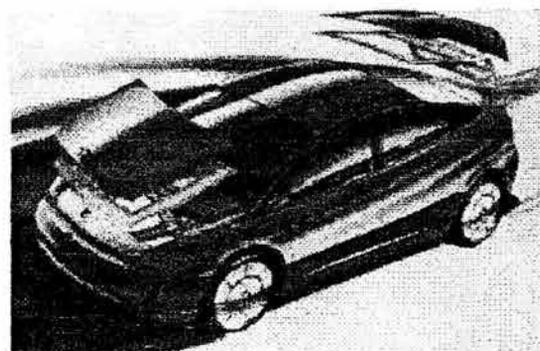


Fig. 1.32. Capó y cajuela construidas de Hylite/aluminio

para estudiar los efectos de transición para el aluminio. Para este estudio, los cálculos de rigidez, utilizando ANSYS ,

que es un programa de elemento finito, fueron hechos de acero y de aluminio. Para los cálculos, los capós están sujetos a unas bisagras, y son levantadas por una de sus esquinas.

Esto mostró que el capó de acero tendría una deformación de 50 [mm]. Si la superficie de acero de 0.7 [mm] es remplazada por una de aluminio de 1.0 [mm], utilizando el mismo diseño, la deformación será de 80 [mm]. Para un diseño modificado, y mejorado para el aluminio, la deformación ahora es, en el mismo rango como para el diseño original de acero, con un producto mucho más ligero.

El peso final de la carrocería es reducido de la siguiente manera:

1. Menor cantidad de material es utilizado para la aplicación de componentes hidroformados, tailored blanks, aceros de alta resistencia y ensambles hechos con soldadura láser. Con los paneles de acero conglomerado, el peso de la carrocería es reducido en un 25% comparado con los vehículos producidos actualmente.
2. El ahorro de peso se debe por la aplicación de materiales de bajo peso, tales como el Hylite y el aluminio. Los paneles de aluminio tienen ahorro potencial en peso de 50%. Pero utilizando Hylite para los paneles exteriores, se ahorra el 65% de peso.

Cálculos preliminares muestran que el ahorro total en el peso es alrededor del 35%, comparado con las carrocerías de vehículos producidos actualmente. Estos cálculos están actualmente siendo perfeccionados.¹⁷

17. *Ibid.* 106 a 110

Los avances hechos por computadora han llevado a un crecimiento exponencial en la velocidad de proceso.

Esta capacidad ha estado creando ingenieros a través de los nuevos e innovadores programas de CAD y CAE. Los programas CAD han progresado con la continua progresión del modelado de sólidos y el desarrollo de herramientas basadas en la web. De manera similar, CAE también ha crecido en su enfoque, así como en sus aplicaciones.

Muchas compañías, particularmente en la industria automotriz en donde es crítico el tiempo de venta, han estado conduciendo menos y menos pruebas a favor de CAE y de la simulación. Este uso de CAE, en algunas instancias, ha eliminado la necesidad de las pruebas.

Actualmente CAE y la simulación sirven en muchas funciones para las compañías y para los proveedores automotrices. Algunas compañías han trasladado las actividades CAE dentro de las primeras fases del desarrollo del producto, así como para probar sus diseños aún antes de que los prototipos sean construidos. En otras instancias, CAE y la simulación, han permitido que los ingenieros ganen mejores ideas en su proceso de desarrollo al discutir las limitaciones de sus métodos y puedan crear nuevos métodos para llevar a cabo un diseño de calidad.

Tomando ejemplos de sus clientes, Delphi Automotive Systems y Eaton Corp., ANSYS ha desarrollado una clasificación de los productos de simulación para encontrar las variaciones necesitadas para la fabricación y el desarrollo de productos automotrices. La compañía tiene como objetivo tres áreas: los productos avanzados para los analistas (alto grado de sofisticación), primer orden de productos para los diseñadores (alto grado de automatización) y herramientas para colaborar en la distribución del conocimiento. Para el enfoque de estas áreas, ANSYS ha permitido que algunos de sus clientes empleen eficazmente la simulación up-front en el proceso de desarrollo de sus productos.

Una de esas compañías fue Delco Electronics Systems del grupo de Delphi Automotive Systems. Su visión de CAE fue utilizar la simulación up-front, para permitir el diseño, las pruebas, y la construcción de la producción de sus productos en cada una de las etapas del proceso de desarrollo. La simulación up-front significa que las actividades de diseño y simulación ocurren concurrentemente para mejorar y verificar los diseños del producto antes de que sean realmente construidos. Esto sirve para eliminar la construcción de múltiples prototipos y pruebas de validación, incrementando la productividad de la ingeniería y mejorando el tiempo de venta.

De acuerdo con Delphi, la simulación ha sido tan efectiva que sólo las pruebas que se llevan a cabo son las pruebas válidas requeridas por sus clientes. Ésta también ha ayudado en que la velocidad de la prueba, proporcionada por los ingenieros, sea mayor con un mejor entendimiento de cómo acelerar los varios modos de falla en el producto.

A la mitad de la simulación up-front, Delphi también ha reexaminado la estructura y la recuperación de la ingeniería. La compañía está actualmente en la primera fase de esta reestructuración en la cual el departamento de ingeniería está haciendo tres niveles de ingenieros: ingenieros de diseño del producto (nivel 1), ingenieros de diseño y de análisis en superficies múltiples (nivel 2), y técnico experto en grandes superficies (nivel 3). La siguiente fase de la reestructuración verá estos tres niveles resumidos en dos: ingeniero de diseño del producto y técnico experto.

Anteriormente, los ingenieros del nivel 1, sólo realizaban las funciones de diseño en los equipos de producción. Todas las actividades de análisis fueron hechas por Mechanical Analysis & Simulation Group. Ahora estos ingenieros no sólo realizan funciones de diseño, sino que también desarrollan una verificación y simulación para el producto. Los ingenieros de diseño del producto también realizan una parte de sus propios estados térmicos, modelos, y análisis de esfuerzos lineales. Estos ingenieros

utilizan el Hardware Analysis & Simulation Group sólo para especialidades y trabajos de análisis no lineales.

El nivel 2 de ingenieros se compone de un ingeniero de diseño del producto especializado para realizar trabajos de análisis simple. Estos ingenieros día a día proporcionan soporte a los diseñadores del producto y sirven como enlace con los técnicos expertos. También identifican la preparación y las herramientas requeridas por el conjunto de herramientas del ingeniero de diseño y dirige la integración de las herramientas de análisis dentro del proceso de desarrollo del producto.

Los técnicos expertos, o el nivel 3 de ingenieros, proporcionan un sólo punto técnico de habilidad en el análisis de paquetes electrónicos. En el pasado, estos ingenieros realizaban todo el trabajo de análisis. Ahora trabajan solamente en los análisis especializados. Esto les permite mejorar el uso de su tiempo transmitiendo mejor la capacidad de análisis y convirtiéndose en mejores expertos. Estos expertos sirven como mentores para el nivel 2 de ingenieros, así como también, establecen el principio del análisis para el departamento de ingeniería. También son los responsables de la adquisición y del desarrollo de las herramientas del nivel 1 y de los modelos paramétricos para los expertos del sistema.

La nueva estructura de Delphi tiene algo que vuelve a definir la función del ingeniero mecánico. La nueva función verá incrementar la responsabilidad en el diseño y en las actividades de análisis mientras se ordena fuera de algunas de sus pruebas de soporte y la documentación de actividades.

Esto forzará a la compañía a ver por el nivel de entrada de los ingenieros con el análisis de elemento finito y la simulación de superficies.

Eaton Corp., otro cliente de ANSYS, también coincide con la necesidad de una simulación up-front. Como un proveedor de la industria automotriz, Eaton ha visto que los ciclos de desarrollo del producto se reducen de 48 a 24 meses. Para continuar con este programa, también ha adoptado una estrategia de CAE up-front.

En este capítulo se vio como se conforma una carrocería, pasando por su clasificación, las consideraciones que deben tomarse para su diseño, los diferentes tipos de materiales y los procesos con los que se fabrican, y por los diseños mediante las técnicas CAD y CAE, que actualmente se utilizan. Sin embargo, para poder fabricar una carrocería, se necesitan conocer las dimensiones de cada una de las piezas de la misma; como se ha visto, la carrocería es parte del sistema denominado automóvil, en el cual el ser humano es el único usuario, lo que implica que es necesario conocer las dimensiones de éste, para poder conocer las de la carrocería. Para determinar dichas dimensiones se recurre a la ergonomía. En el siguiente capítulo, se explica lo que estudia la Ergonomía, así como algunos factores que intervienen en la construcción de automóviles, que son objeto de estudio dentro de este trabajo de tesis.

Ergonomía

2.1 Definición

El término ergonomía proviene de las palabras griegas *ergos* (trabajo o fuerza) y *nomos* (ley, regla o conocimiento). Una definición de ergonomía debiera recoger los elementos condicionantes que enmarcan su realización. Por ello se podría pensar en la ergonomía como en una actuación que considerara los siguientes puntos:

- i) Objetivo: mejora la interacción hombre-máquina, de forma que la haga más segura, más cómoda, y más eficaz; esto implica selección, planificación, programación, control y finalidad
- ii) Procedimiento pluridisciplinar de ingeniería, medicina, psicología, economía, estadística, etc., para ejecutar una actividad.
- iii) Intervención en la realidad exterior, es decir, alterar tanto lo natural como lo artificial que nos rodea; lo material y lo relacional.
- iv) Analizar y regir la acción humana: incluye el análisis de actitudes, ademanes, gestos y movimientos necesarios para poder ejecutar una actividad; en un sentido más figurado implica anticiparse a los propósitos para evitar los errores.
- v) Valoración de limitaciones y condicionantes del factor humano, con su vulnerabilidad y seguridad, con su motivación y desinterés, con su competencia e incompetencia.
- vi) Y por último, un factor que se debe ponderar en su justo valor: el económico, sin el cual tampoco se concibe la intervención ergonómica.

Por lo anterior la ergonomía se puede definir como la ciencia que estudia las relaciones que se establecen recíprocamente entre el usuario y los objetos de uso al desempeñar o realizar una actividad cualquiera dentro un entorno definido.

Alcance de la ergonomía

Una primera aproximación a la ergonomía colocaría a ésta en la posición de estudio del ser humano en su ambiente laboral, lo que permitirá pensar en la ergonomía como en una técnica de aplicación en la fase de conceptualización y corporificación de proyectos (ergonomía de concepción o preventiva), o como una técnica de rediseño para la mejora y optimización (ergonomía correctiva).

Una segunda visión de la ergonomía recogería la idea de que, en realidad, ésta debe ser una disciplina eminentemente prescriptiva, que debe proporcionar a los responsables de los proyectos los límites de actuación de los usuarios para de este modo adecuar las realizaciones artificiales a las limitaciones humanas.

En un tercer enfoque, un poco más ambicioso que los anteriores, entendería esta ciencia como un campo de estudio interdisciplinar donde se debaten los problemas relativos a qué proyectar y cómo articular la secuencia de posibles interacciones del usuario con el producto, con los servicios, o incluso con otros usuarios.

De todas formas, una reflexión sucinta sobre el alcance de la ergonomía, podría contemplar los tres apartados siguientes:

- La ergonomía como banco de datos sobre la horquilla de las capacidades y limitaciones de respuesta de los usuarios.
- La ergonomía como programa de actividades planificadas, para mejorar el diseño de los productos, servicios y/o las condiciones de trabajo y uso.
- La ergonomía como disciplina aplicada para mejorar la calidad de vida de las personas.

El carácter de la ergonomía configura y a la vez es configurado por sus relaciones externas con las perspectivas del conocimiento y las prácticas en otros campos de conocimiento: ingeniería, medicina, psicología, economía, diseño, fisiología, etc.

Metodología

Se podría pensar en representar la ergonomía como un campo de investigación y de práctica que tiene que ser visto en interdependencia directa respecto a los proyectos de concepción de puestos de trabajo y ocio, y a los atributos funcionales de los productos y servicios.

El desarrollo de la tecnología permite proyectar herramientas, máquinas, equipos y servicios con elevadas prestaciones, pero además se debe exigir a los proyectos que respeten y que se adecuen a los límites de capacidad de repuesta humana.

El monto de conocimiento que generan las diferentes disciplinas científicas se acumula de tal forma que el ergónomo se ve obligado a generar una estrategia válida que le permita acceder a la información relevante al caso con el mínimo esfuerzo, para poder disponer de los requerimientos funcionales que debe cumplir el proyecto, manteniendo el grado más bajo de saturación de los canales perceptivos de los usuarios, y respetando las compatibilidades funcionales con el resto de productos y servicios que ya figuran dentro del sistema. (fig. 2.1)

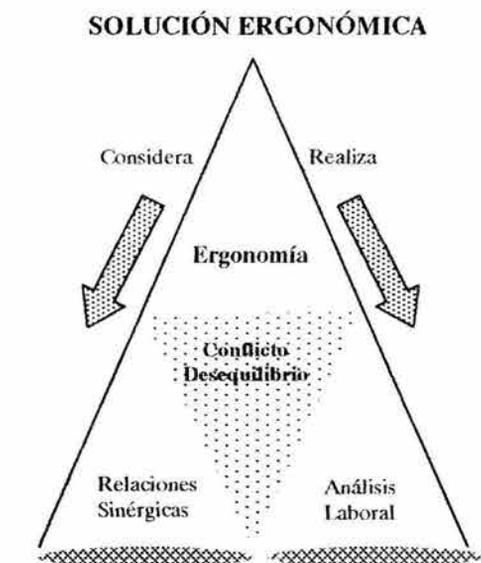


Fig. 2.1. Intervención de la ergonomía en los conflictos del sistema

El ergónomo utiliza los métodos clásicos de investigación en ciencias humanas y biológicas, pero además ha adaptado y creado nuevos métodos que, en muchos casos, son pequeñas variantes de metodologías conocidas, que le permiten recoger de forma exhaustiva y económica las variables significativas de los problemas que se le plantean en el devenir de su intervención. Se pueden destacar los siguientes:

1. *Informes subjetivos* de las personas, ya que el grado de bienestar de una situación no sólo depende de las variables externas, sino de la consideración que de éstas haga el usuario.
2. *Observación y mediciones*: esta técnica permite recoger datos cargados de contenido. Una variación en la metodología de observación, como puede ser la observación conjugada de varias personas con diferencias en formación, sexo, cultura, edad, pericia, experiencia, etc., acostumbra a enriquecer enormemente los resultados.
3. *Simulación y modelo*: debido a la complejidad de los sistemas, o a la innovación, en ciertos momentos se debe recurrir a la modelación o simplemente a la simulación de las posibles respuestas del sistema.
4. *Método de incidentes críticos*: mediante el análisis de estos incidentes, podemos encontrar las situaciones caracterizadas como fuentes de error, y ahondar en el análisis explorativo de éstas.

La intervención ergonómica

Existen, al menos, dos formas de entender lo que debe ser la intervención ergonómica, y cómo se debe aplicar: para unos, la ergonomía debe elaborar manuales, catálogos de recomendaciones o de normas que deben servir de guía a los proyectistas; detrás de esta concepción aparece arraigada la necesidad de dotar de herramientas útiles a los encargados de dirigir proyectos, o de poner a punto equipamientos y servicios. Esta aproximación se considera a menudo la única posible cuando estos productos/servicios

están destinados a un “gran público”, o cuando no se conocen sus futuras condiciones de utilización. Esta concepción presenta una ergonomía sin ergónomos, en el cual el profesional es sustituido por los datos, y se deja en manos del buen criterio de otros profesionales el uso cabal de la disciplina.

La otra forma de entender la ergonomía requiere de la presencia activa del ergónomo en la fase de proyecto y/o en el lugar de trabajo/ocio, posibilita el analizar la actividad, entender la forma de actuación real de usuarios, diferenciando “lo que dicen, de lo que hacen”, infiriendo los procesos que subyacen en su actuación, las variaciones no reseñadas en las condiciones de realización de la tarea, el uso de “otros” medios de trabajo, etc., todo lo cual es necesario para elaborar estrategias mas eficaces a la hora de dar forma y corporizar el proyecto.

Las etapas de la intervención

Se puede reducir la intervención ergonómica a una serie de etapas fácilmente identificables en cualquier proyecto:

- i) *Análisis de la situación*: esta se realiza cuando aparece algún tipo de conflicto.
- ii) *Diagnostico y propuestas*: una vez detectado el problema el siguiente paso reside en diferenciar lo latente de lo manifiesto, destacando las variables relevantes en función de su importancia para el caso.
- iii) *Experimentación*: simulación o modelado de las posibles soluciones.
- iv) *Aplicación*: de las propuestas ergonómicas que se consideran pertinentes al caso
- v) *Validación de los resultados*: grado de efectividad, valoración económica de la intervención y análisis de fiabilidad.

vi) *Seguimiento*: por último, cabe retroalimentar y comprobar el grado de desviación para ajustar las diferencias obtenidas a los valores pretendidos mediante un programa.

El objetivo que se persigue siempre en ergonomía es el de mejorar “la calidad de vida” del usuario, y en todos los casos este objetivo se concreta con la reducción de los riesgos de error, y con el incremento de bienestar de los usuarios. Facilitar la adaptación del usuario de los nuevos requerimientos funcionales es incrementar la eficiencia del sistema. La intervención ergonómica no se limita a identificar los factores de riesgo y las molestias, sino que propone soluciones positivas, soluciones que se mueven en el ámbito posibilista de las potencialidades efectivas de los usuarios, y de la viabilidad económica que enmarca cualquier proyecto.

El usuario no se concibe como un “objeto” a proteger sino como una persona en busca de un compromiso aceptable con las exigencias del medio. El ergónomo da referencias para concebir situaciones más adaptadas a las tareas a realizar, en función de las características de todos los usuarios involucrados en el proyecto. (fig. 2.2)

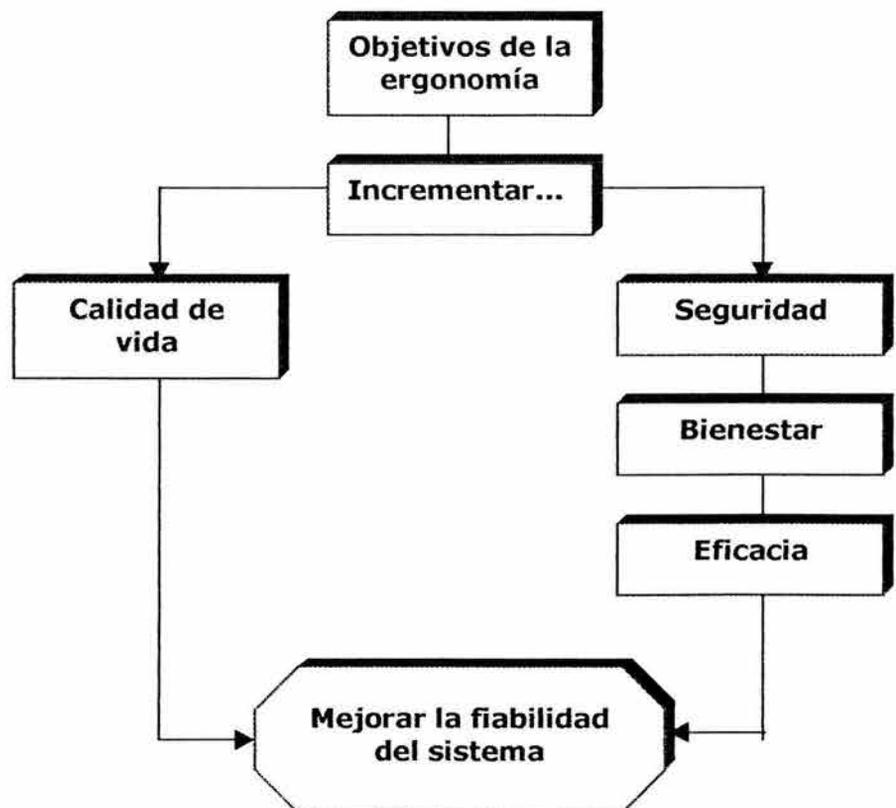


Fig. 2.2. Objetivo de la ergonomía

2.2 La implicación del hombre con lo que éste utiliza

Un inventario de los objetos obra del hombre, de los medios de trabajo y de los entornos que el hombre “utiliza”, en términos generales, debería incluir las tres clases que a continuación se describen:

- Sistemas constituidos por hombre-máquina
- Entorno físico
- Artículos personales y de protección

Sistemas constituidos por hombre-máquina

Se puede considerar un sistema constituido por hombre y máquina como una combinación de uno o más seres humanos y uno o más componentes físicos que actúan recíprocamente para efectuar, a partir de unas entradas de energía dadas, una producción deseada. A este respecto, el concepto común de ‘máquina’ es demasiado restringido y sería mejor considerar como ‘máquina’ todo tipo de objeto físico, aparato, equipamiento, medio de trabajo, equipo de protección, etc., que la gente emplea al llevar a cabo cualquier actividad dirigida a lograr algún propósito deseado o desempeñar alguna función.

La esencia de la implicación del hombre en un sistema es activa, que actúa recíprocamente con el mismo sistema para cumplir la función para la que éste ha sido proyectado.

Entorno físico

Los entornos físicos ‘utilizados’ incluyen dos categorías generales. La primera está formada por el espacio físico y los medios de trabajo que la gente emplea, los cuales

abarcan desde el entorno inmediato (como una mesa para escribir a máquina), pasando por el intermedio (como una oficina), hasta el general (como una ciudad). La segunda categoría está constituida por diferentes aspectos del entorno físico en que vivimos y trabajamos, son parte del entorno natural y no pueden ser sometidos a modificación. Aunque la naturaleza de la implicación del hombre con su entorno físico es esencialmente pasiva, el entorno tiende a imponer ciertas coacciones en su desarrollo (tales como limitar radio de acción de los movimientos o restringir el campo de visión) o a predeterminar ciertos aspectos por su propia manera de ser.

Input y output

Otras características esenciales de los sistemas hombre-máquina son sus *inputs* y *outputs*. El input en un sistema consta de los ingredientes que son necesarios para lograr el resultado deseado. El input puede constar de objetos físicos o materiales, ser información de alguna forma, la presencia de objetos, o puede consistir de energía. En cualquier sistema dado, el input puede constar de cualquiera o de todos ellos. El output es el resultado o la consecuencia del sistema. Cuando el sistema en cuestión tiene varios componentes, el output de un componente sirve frecuentemente como input de otro.

Tipos de sistemas

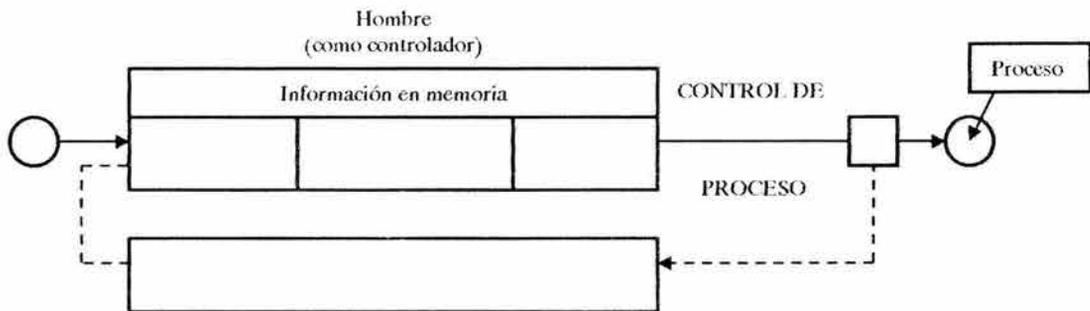
La naturaleza de un sistema predetermina la de la implicación humana en él. Sin embargo, antes de ver los varios tipos de sistemas mayores, hay que distinguir entre sistemas cerrados y abiertos. A grandes rasgos, los sistemas pueden ser caracterizados por el grado de control del hombre contra la máquina. En una clasificación bastante extensa de sistemas diferentes¹ se incluyen tres tipos a los que se refiere como sistemas de máquina (fig 2.3): Sistema Manual, Sistema Mecánico y Sistema Automático.

1. Jones, J.C., "The designing of man-machine systems" en Ergonomics, Vol. 10, No. 2, 1967, p.p. 101 a 111.

A. SISTEMA MANUAL



B. SISTEMA MECÁNICO



C. SISTEMA AUTOMÁTICO

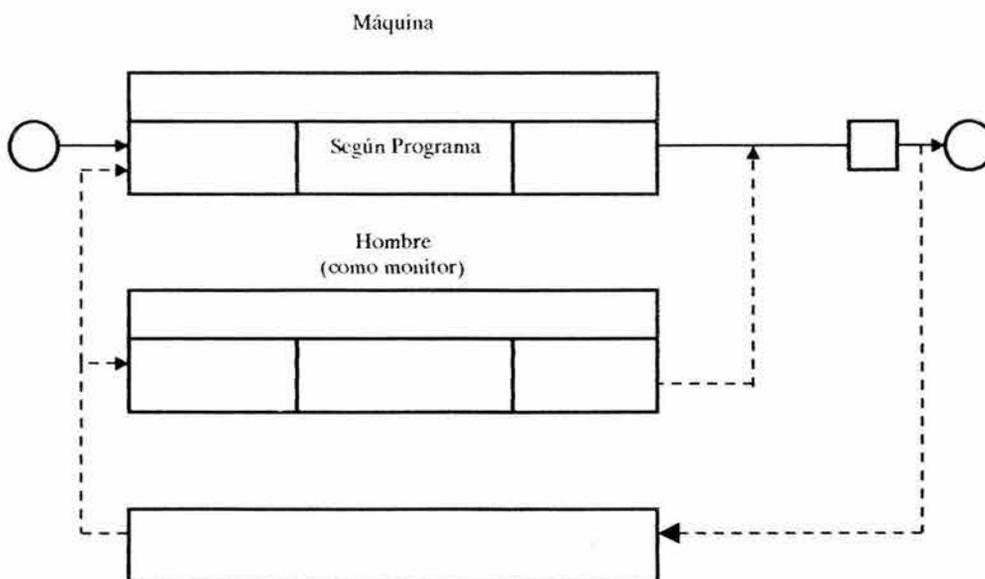


Fig. 2.3. Tipos de sistemas según la función del hombre dentro de los mismos

2.3 Antropometría

La antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas, y sirve de herramienta a la ergonomía con objeto de adaptar el entorno a las personas. Cuando hablamos de antropometría acostumbramos a diferenciar la antropometría estática, que mide las diferencias estructurales del cuerpo humano, en diferentes posiciones, sin movimiento, de la antropometría dinámica, que considera las posiciones resultantes del movimiento.

La búsqueda de la adaptación física, o interfaz, entre el cuerpo humano en actividad y los diversos componentes del espacio que lo rodean, es la esencia a la que pretende responder la antropometría. Se debe advertir que los resultados obtenidos después de un estudio antropométrico deben aplicarse con criterios amplios y razonables. La persona “media” no existe, ya que aunque alguna de sus medidas corresponda con la media de la población, es seguro que no ocurrirá esto con el resto. Los diseños realizados deben contrastarse con la realidad y, al analizar el tipo de población destinataria del diseño, se podrá adoptar un criterio amplio, cuando la población de referencia sea una gran cantidad de personas con unas desviaciones considerables, o específicos, si el destinatario pertenece a un sesgo poblacional, o responda a un usuario concreto.

Relaciones dimensionales del sistema hombre-máquina

Bienestar, salud, productividad, calidad, satisfacción en el puesto de trabajo, etc., lo proporcionan, en gran medida, las relaciones dimensionales armónicas entre el hombre y su área de actividad. Un principio ergonómico es adaptar la actividad a las capacidades y limitaciones de los usuarios.

Medidas antropométricas

Las medidas que se deben poseer de la población dependerán de la aplicación funcional que la que queramos dar a las mismas; partiendo del diseño de lugares de trabajo existe un número mínimo de dimensiones relevantes que se deben conocer. Debido a las especiales características de los estudios antropométricos, se debe analizar con mucho rigor el tipo de medidas a tomar y el error admisible, ya que la precisión y el número total de medidas, guarda relación con la posibilidad de viabilidad económica del estudio. Si se deja de considerar alguna medida relevante, o se exige una precisión exagerada, la limitación económica hará prácticamente imposible la realización o la replicación del estudio. Una vez determinada la población y clasificándola según los objetivos, se deberán analizar las medidas que se crean oportunas. Toda organización debería tener recogidas parte de las medidas mostradas en la tabla 2.1.

Posición sentado	
AP	Altura poplítea
SP	Distancia sacro-poplítea
SR	Distancia sacro-rótula
MA	Altura del muslo desde el asiento
MS	Altura del muslo desde el suelo
CA	Altura del codo desde el asiento
$A_{\min}B$	Alcance mínimo del brazo
$A_{\max}B$	Alcance máximo del brazo
Aos	Altura de los ojos desde el suelo
Acs	Anchura de caderas sentado
CC	Anchura de codo a codo
RP	Distancia respaldo-pecho
RA	Distancia respaldo-abdomen

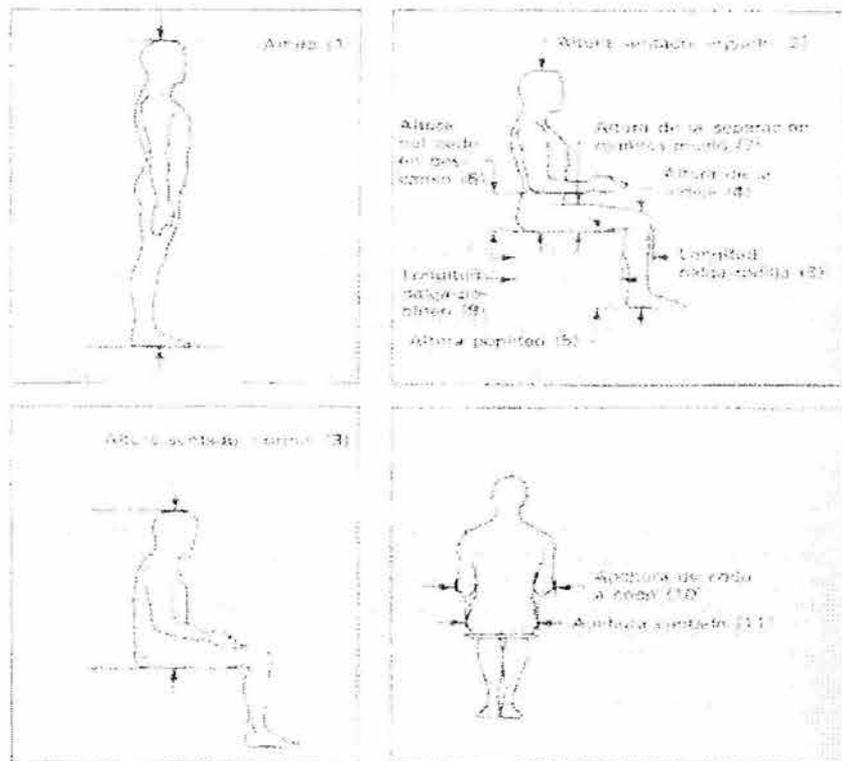
Posición de pie	
E	Estatura
CSp	Altura de codos a pie
AOp	Altura de ojos a pie
Anhh	Altura de hombro a pie

Tabla. 2.1. Medidas básicas para el diseño de puestos de trabajo

El diseño ergonómico y la antropometría

A la hora de diseñar un objeto cualquiera, se puede encontrar uno de estos tres supuestos:

- Que el diseño sea para una persona específica
- Que sea para un grupo de personas
- Que sea para una población numerosa



2.4. Diagramas de posiciones básicas para tomar medidas

Análisis preliminar

Antes de acometer un estudio de las relaciones dimensionales de un sistema, es necesario analizar los métodos de trabajo que existen o existirán en el futuro; si los métodos no se consideran óptimos se deben rediseñar. La secuencia de actuación recomendada para el análisis es la siguiente:

1. Los métodos de trabajo que existen o existirán en el puesto.
2. Las posturas y movimientos, y su frecuencia.
3. Las fuerzas que deberá desarrollar.
4. Importancia y frecuencia de atención y manipulación de los dispositivos informativos y controles.
5. Ropas y equipos de uso personal.
6. Otras características específicas del puesto.

A partir de este análisis podemos conocer cuales son las dimensiones relevantes que hay que considerar, y cuales podemos obviar de nuestro análisis. Existen reglas que permiten tomar decisiones sobre las relaciones de las distintas dimensiones del cuerpo humano y los objetos, con el fin de lograr una correcta compatibilidad.

Diseño para una persona

Este caso es como hacer un traje a la medida: sería lo mejor, pero también lo más caro, y sólo estaría justificado en casos muy específicos. Sin embargo, si este puesto de trabajo debe ser utilizado por un grupo de personas, por ejemplo 5, habrá que tener en cuenta a los 5 para hacer el diseño.

Diseño para un grupo poco numeroso y diseño para una población numerosa

Para abordar estos casos se tiene que hablar de los tres principios para el diseño antropométrico:

- Principio del diseño para extremos.
- Principio del diseño para un intervalo ajustable.
- Principio del diseño para el promedio.

Principio del diseño para los extremos

Si se tiene que diseñar un puesto de trabajo para 5 personas, donde el alcance del brazo hacia delante sea una dimensión relevante, se tendrá que decidir esa distancia por el que tendría dificultades para alcanzar ese punto, es decir, de los 5, el que tenga un alcance menor. Así se habrá diseñado para el mínimo y, de esta forma, los 5 alcanzarán el panel de control.

Esto se hace así, salvo cuando el mínimo ofrece un valor tan pequeño que ponga en crisis el diseño, o provoque incomodidades en los restantes usuarios. En esos casos, se deben buscar soluciones ingeniosas que permitan el acceso a esa persona, y como última alternativa excluirla de ese puesto.

Principio del diseño para un intervalo ajustable

Este diseño es el idóneo, porque el operario ajusta el objeto a su medida, a sus necesidades, pero es el más caro, por el mecanismo de ajuste. El objetivo es decidir los límites del intervalo. En la situación del ejemplo de los cinco hombres, la altura del asiento se regularía diseñando un intervalo de ajuste con un límite inferior para la altura poplíteica menor y un límite superior para el de altura poplíteica mayor, así los cinco podrán ajustar el asiento exactamente a sus necesidades.

Principio del diseño para el promedio

El promedio, generalmente, es un engaño, y más en ergonomía. Sólo se utiliza en contadas situaciones, cuando la precisión de la dimensión tiene poca importancia o su frecuencia de uso es muy baja, siendo cualquier otra solución o muy costosa o técnicamente muy compleja.

Sin embargo, la situación se complica cuando la población es numerosa, pues es imposible medirlos a todos. Para ellos se selecciona una muestra representativa de la población, que se debe determinar mediante la siguiente expresión, para que sea confiable estadísticamente:

$$n = Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2 / e^2 \quad \dots (1)$$

donde:

σ desviación estándar

$Z_{\alpha/2}$ porcentaje que se deja fuera a cada lado del intervalo

e error admitido (precisión)

Cuando se cuenta con información estadística respecto a una población, se debe considerar que existen grandes diferencias antropométricas entre individuos por sexo, edad, etnia, nacionalidad, etc., por lo que las tablas de información antropométricas deben ser propias. Además, la información estadística envejece, por que la población cambia, lo cual quiere decir que a la hora de utilizar datos antropométricos no sólo se debe considerar el país, sino también, la fecha de realización del estudio.

Suponiendo que se dispone de información actualizada de la población y de la zona o región donde debemos diseñar, hay algo que se debe saber: los datos antropométricos

tienden a una distribución normal, la curva de Gauss está presente en la antropometría (figura 2.5). Esto facilita el trabajo, conociendo la media y la desviación estándar

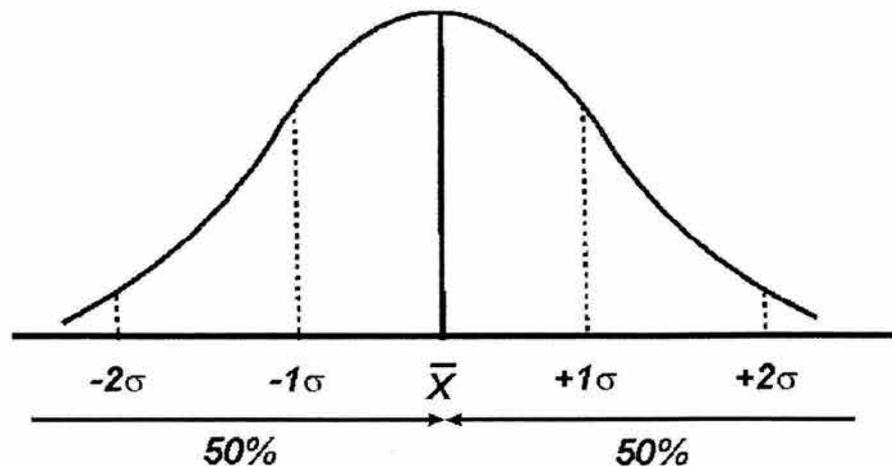


Fig. 2.5. Curva de distribución normal

de cada dimensión de la población, podemos hacer nuestros cálculos y tomar decisiones.

Utilizando la expresión:

$$P = X \pm Z\sigma \quad \dots(2)$$

donde:

- P será la medida del percentil en centímetros, es decir, el intervalo dónde se incluye el porcentaje de la población o de la muestra
- Z es el número de veces que σ está separada de la media

En la tabla 2.2 se muestran los percentiles P más utilizados en diseño antropométrico y sus correspondientes valores de Z .

P	Z
1 - 99	2.326
2 - 98	2.054
3 - 97	1.88
5 - 95	1.645
10 - 90	1.28
15 - 85	1.036
20 - 80	0.84
25 - 75	0.674
30 - 70	0.52
40 - 60	0.253
50	0

Tabla 2.2

Lo ideal sería poder incluir a toda la población, pero esto no es posible cuando es muy numerosa. Como se puede comprender, la selección del percentil, generalmente, es prioritariamente una razón económica y en segundo lugar tecnológica.

2.4 Instrumentos de control

Tanto en el caso de las herramientas como en el de los instrumentos de control, su diseño debería ser tal que completase dos objetivos relacionados. En primer lugar, la herramienta o instrumento ha de ser capaz de desempeñar su función de una forma eficaz cuando la empleen sus usuarios. En segundo lugar, ha de ser adecuada al uso humano por lo que hace referencia a las capacidades sensoriales, psicomotrices, y otras, así como a las características antropométricas de los usuarios. Generalmente, estos dos objetivos son compatibles en el mismo diseño, puesto que el instrumento que las personas pueden utilizar mejor es aquel que más bien desempeña su función.

Es importante considerar las capacidades psicomotrices y las características antropométricas de las personas en función de su posible importancia para el diseño de controles y herramientas, sin embargo, el diseñador puede, bajo circunstancias distintas, considerar estos factores desde dos puntos de vista diferentes. En algunas circunstancias cabe interesarse fundamentalmente en la disposición de diferencias individuales con alguna característica determinada, como sería el caso de diseñar para individuos extremos. En otras circunstancias, sin embargo, el diseñador puede interesarse fundamentalmente por las diferencias medias, como la realización media de una tarea a cargo de grupos de personas que utilizan un instrumento en vez de otro. Las comparaciones de tales diferencias medias colaborarían en la selección de la característica en cuestión que parezca mejor por lo que respecta a las consideraciones humanas.

Funciones de los controles

Los controles son instrumentos que transmiten información sobre algún mecanismo o sistema. El tipo de información así transmitido puede caracterizarse en términos de clases de información relacionada con los displays. Los tipos de información relacionados con las diversas funciones de control se citan en la tabla 2.3.

Tipo de función de control	Tipo de información relacionada
Activación (generalmente on-off)	Condición (dicotómica)
Posición de montaje discreta (en cualquier posición a lo largo de un control cuantitativo)	Condición (indicaciones discretas) Aviso y señal
Montaje cuantitativo (montaje de un control en cualquier posición a lo largo de un control cuantitativo)	Cuantitativa
Control continuo	Cuantitativa Cualitativa Figurativa
Entrada de datos (como en máquinas de escribir, computadoras, planos)	Alfanumérica Simbólica

Tabla 2.3.

La información relacionada con cualquier función de control dada puede presentarse en un display, o bien puede manifestarse en la naturaleza de la respuesta del sistema. En algunas circunstancias la acción de control se lleva a cabo siguiendo las indicaciones de la respuesta del sistema, mientras que en otras circunstancias la acción de control se lleva a cabo a fin de obtener alguna respuesta del sistema, predeterminada y deseable.

Tipos de control relacionados con las funciones

Ciertas funciones de control pueden realizarse con mayor efectividad mediante algunos tipos de controles que con otros. La tabla 2.4 presenta los tipos de control, anotando las funciones para las que cada uno parece indicado. Algunos de estos tipos de controles aparecen ilustrados en la figura 2.6 junto con las funciones de control para las que pueden emplearse.

Tipo de control	Activación	Situación discreta	Situación cuantitativa	Control continuo	Entrada de datos
Pulsador manual	X				
Pulsador de pie	X				
Interruptor	X	X			
Selector giratorio		X			
Mando		X	X	X	
Manivela			X	X	
Volante			X	X	
Palanca			X	X	
Pedal			X	X	
Teclado					X

Tabla 2.4. Tipos comunes de controles y funciones de control que pueden cumplir

Aunque un tipo general puede considerarse más apropiado para una función determinada, la utilidad específica de una variante particular de este tipo para una aplicación específica puede resultar influida por características tales como identificación, situación, tamaño, proporción control-display, resistencia, retraso, retroceso, media de operación y distancia de movimiento.

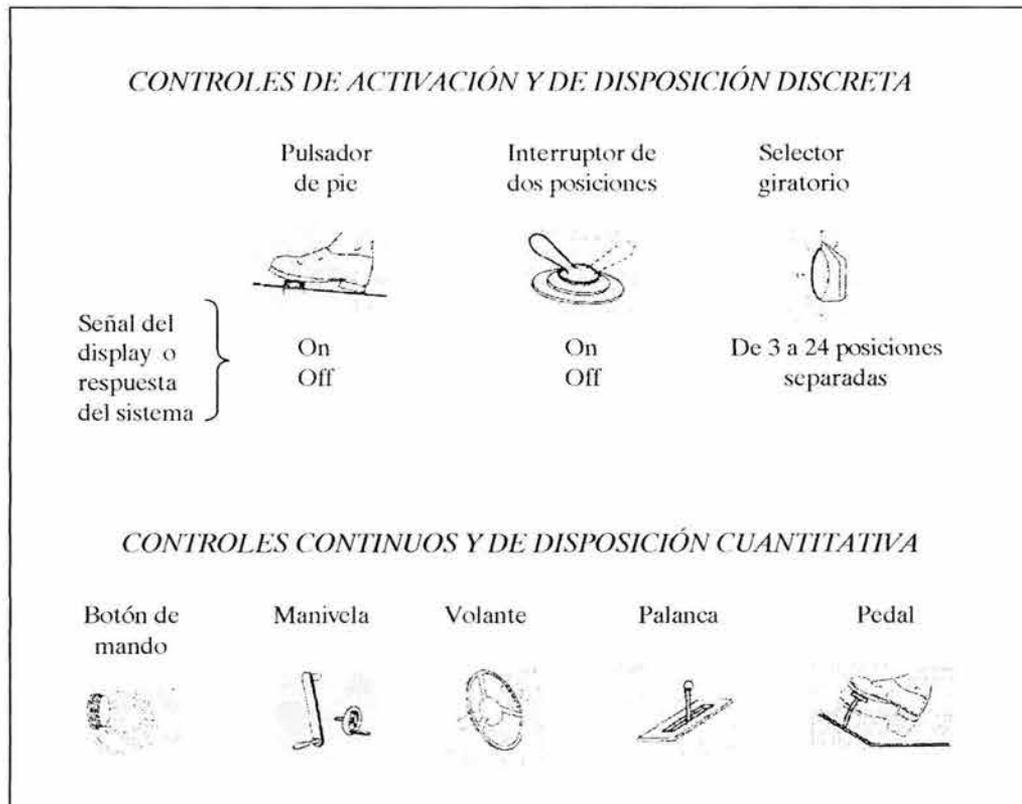


Fig. 2.6. Ejemplos de algunos tipos de instrumentos de control

Tipos básicos de controles

Los diferentes tipos de controles con frecuencia aparecen mezclados entre sí en el puesto de trabajo, o integrados en un mismo control; de todas formas una clasificación básica de los mismos puede ser la siguiente:

1. *Botón pulsador manual:* es el control más simple y más rápido. Se utiliza para activar y desactivar, tanto para situaciones habituales como para casos de emergencia.
2. *Botón pulsador de pie:* se utiliza para situaciones similares al anterior, cuando las manos están muy ocupadas; no posee la misma precisión, ni la misma velocidad que los de mano.

3. *Interruptor de palanca*: se utiliza en operaciones que requieren alta velocidad y puede ser de dos o tres posiciones.
4. *Selector rotativo*: pueden ser de escala móvil y escala fija; en este último el tiempo de selección y los errores cometidos son menos (del orden de la mitad) que cuando se utilizan escalas móviles; pueden ser de valores discretos o de valores continuos, siendo más precisos los de valores discretos.
5. *Perilla*: son selectores rotativos sin escala, ya que el usuario recibe la información del estado del sistema mediante otros dispositivos (el dial del radio), o directamente (el volumen del radio)
6. *Volante de mano y manivelas*: se utilizan para abrir y cerrar válvulas que no requieren excesiva fuerza, para desplazar piezas sobre bancadas, etc.
7. *Volantes*: se utilizan tanto para control interrumpido, como valores continuos. Su diámetro depende de la fuerza, de la velocidad de accionamiento y de la antropometría.
8. *Palancas*: la longitud estará en función de la fuerza a desarrollar y de la estratosfera del puesto. Admiten rapidez pero son poco precisas.
9. *Pedales*: existe una gran variedad, el diseño del pedal depende de su función, de la situación.

Reglas para la selección y ubicación de controles

- i. Distribuir los controles para que ninguna extremidad se sobrecargue. Los controles que requieren ajuste rápido y preciso se deben asignar a las manos. Los que requieran aplicación de fuerza grandes y continuas, se deben asignar a los pies. A las manos se les pueden destinar una gran cantidad y variedad de controles siempre que no requieran operación simultánea, pero para cada pie sólo debe asignarse uno o dos controles con empuje frontal o flexión del tobillo.
- ii. Seleccionar, ubicar y orientar los controles de forma compatible con los dispositivos informativos, componentes del equipo o vehículo asociado.

- iii. Seleccionar controles multirrotativos cuando se requiera un ajuste preciso en un amplio intervalo de ajuste, ya que los lineales están limitados por la amplitud de movimiento. Con el control rotativo se puede lograr cualquier grado de precisión, aunque el tiempo de operación puede verse afectado.
- iv. Seleccionar controles de ajustes discretos por pasos con retención, o botoneras cuando la variable de control se pueda ajustar a valores discretos (sólo se requiere un número limitado de posiciones), o cuando la precisión permita que todo el espectro se pueda representar por un número limitado de posiciones.
- v. Seleccionar controles de ajustes continuos cuando se necesite precisión o más de 24 ajustes discretos.
- vi. Seleccionar controles que sean fácilmente identificables normalizando sus ubicaciones. Todos los controles críticos o de emergencia deben identificarse visualmente y por el tacto. La identificación no debe dificultar la manipulación del control ni provocar una activación accidental.
- vii. Combinar los controles relacionados funcionalmente para facilitar la operación simultánea o en secuencia, o para economizar espacio en el panel de mando.

Compatibilidad

La compatibilidad se define como la armonía que se debe establecer entre los elementos de un sistema con el fin de obtener una respuesta adecuada a las expectativas de la mayoría de los usuarios.

Existen cuatro tipos de compatibilidad: la compatibilidad espacial en lo referente a las características físicas y la disposición en el espacio de los elementos; la compatibilidad de movimiento con relación al sentido del movimiento; la compatibilidad conceptual de las representaciones cognitivas, algunas veces con marcado acento cultural, que poseen los usuarios sobre el significado de la información; y la compatibilidad temporal que relaciona los tiempos de los distintos elementos del sistema.

La utilización de los principios de compatibilidad permiten:

- a) Un aprendizaje y entrenamiento más rápidos
- b) Menor riesgo de accidentes
- c) Mejores respuestas ante situaciones de fatiga y sobrecarga
- d) Más rapidez y precisión en el control

Consideraciones sobre el diseño de pedales

Los pedales utilizados para diversas finalidades varían por lo que respecta a unas cuantas características: si necesitan impulso con o sin acción del tobillo, la situación del fulcro (si el pedal es de bisagra), el ángulo del pie respecto al hueso de la tibia, la carga (la fuerza necesaria), y las exigencias operacionales (tales como el tiempo de reacción, el tiempo de trayecto, velocidad de la operación y precisión). Figura 2.7.

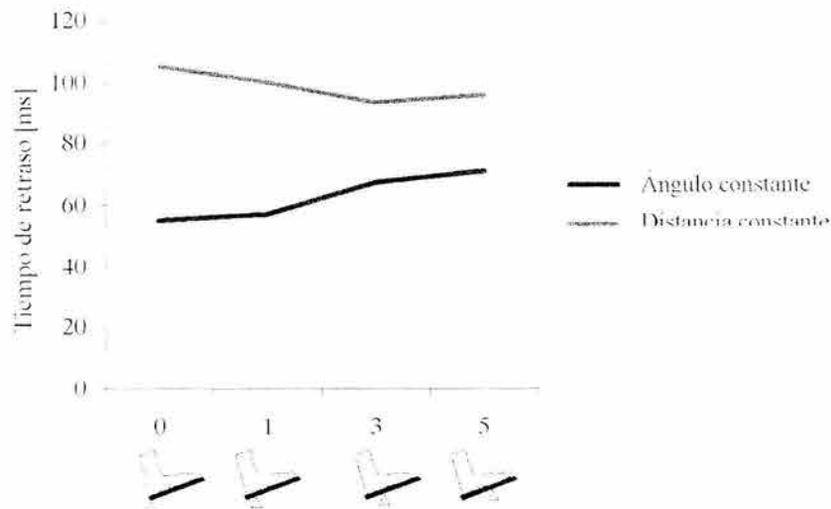


Fig. 2.7. Tiempo medio de trayecto en un movimiento de pedal relacionado con la situación del fulcro, por lo que respecta a condiciones de ángulo constante de movimiento (12°) y distancia constante del movimiento (1.9 [cm])

En la figura aparecen los tiempos de trayecto medido por lo que respecta a diversas situaciones del fulcro. Puede observarse que, para un ángulo constante de movimiento (12°), la situación óptima del fulcro está hacia el tobillo (casi a un tercio de la distancia entre el tobillo y el talón), mientras que para una distancia constante de movimiento la situación óptima del fulcro está en el talón.

2.5 El color como factor ambiental y objetual

Es de especial importancia en los vehículos el color elegido de la pintura. Aparte de las connotaciones estéticas, el color de los vehículos influye también en la comodidad y en la seguridad. Todavía más importante que la faceta de comodidad, se presenta relacionada con los colores el aspecto de la seguridad. El color juega un papel importante en el apartado de percepción visual del entorno. Dependiendo de sus colores, hay vehículos que resultan más fáciles de percibir que otros. Muchos estudios se han realizado al respecto, y de estos se desprende con rotundidad cual importante resulta el color del vehículo propio para que pueda ser distinguido con mas celeridad y claridad.

De la cantidad de radiaciones electromagnéticas, cuyas longitudes de onda varían desde las menores de 0.1 [pm] hasta las mayores, cuya longitud de onda puede llegar hasta los 100 [Km], el ojo humano sólo es capaz de percibir una pequeña parte. Esa parte de longitudes de onda, denominada espectro de ondas visibles para el ojo humano, está comprendida en el intervalo que va desde 380 [nm] hasta 780 [nm]. La zona de radiaciones de longitud de onda inferior a los 380 [nm], está acotada por la radiación ultravioleta y el límite superior lo define la radiación infrarroja; ninguna de las dos visibles por el ojo humano.

Dentro de la gama de radiaciones visibles, aquellas por las que el ojo humano se muestra más sensible son las que tienen una longitud de onda en el entorno de los 555 [nm]. Esta longitud de onda corresponde al color amarillo, que se ha mostrado

claramente como el color que más rápidamente se distingue en la mayoría de las circunstancias. De noche, la sensibilidad varía y se desplaza ligeramente hacia longitudes de onda inferiores, en torno a los 500 [nm], cifra que corresponde al color verde. De ello se deduce que los colores más seguros para los automóviles van desde el azul hasta el rojo, pasando por el verde y el amarillo e incluyendo el blanco. Pero sobre todo, destaca el amarillo, que salvo en circunstancias en las que pueda confundirse con el tono del paisaje, resulta el color que aporta más seguridad superando incluso al rojo, que instintivamente parece ser el que mejor se distingue de todos y que, de hecho, también ofrece magníficos resultados.

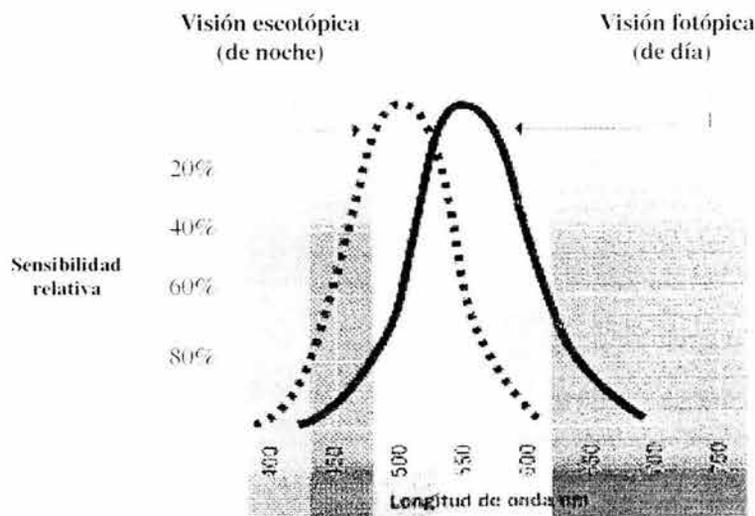


Fig. 2.9. Desplazamiento de la curva de sensibilidad visual en función de la luz ambiente. Sensibilidad relativa del ojo humano diurna (fotópica) y nocturna (escotópica)

En este capítulo se trató acerca del campo de estudio de la Ergonomía, viendo cómo es que el usuario tiene una interacción con la máquina y con su entorno físico, tomando en cuenta a la Antropometría. Además, se trataron temas como los de los controles que puede utilizar el usuario dentro de un vehículo monoplace todo terreno, así como también se vio la capacidad que tiene el ojo humano para captar las ondas de luz, lo que hará que se pueda distinguir al vehículo en un entorno específico. Todo lo anterior nos



servirá para ir diseñando y analizando nuestro vehículo. En el siguiente capítulo, se explica a detalle, en que consiste el proceso de diseño, la teoría referente a esfuerzos mecánicos, la selección de materiales y los sistemas de unión que se podrían aplicar en las piezas de la carrocería.

Diseño, resistencia mecánica y materiales implicados en las carrocerías

3.1 Introducción al diseño mecánico

De forma general, diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el comienzo. En comparación con los problemas matemáticos o científicos, los problemas de diseño no tienen una sola respuesta correcta en todos los casos, ya que todo problema de diseño siempre está sujeto a demandas y/o restricciones para su solución.

Un problema de diseño no es hipotético en absoluto. Todo diseño tiene un propósito concreto, que es la obtención de un resultado final al que se llega mediante una acción determinada, creación de algo que tiene realidad física. En ingeniería el término de diseño puede tener diferentes significados para distintas personas. Algunos consideran al diseñador como el técnico que dibuja, en todos sus detalles, algún elemento de una máquina. Otros creen que el diseño es la creación de un sistema complejo. En algunas ramas de la ingeniería, el término diseño ha sido sustituido por denominaciones como ingeniería de sistemas o aplicación de la teoría de las decisiones. En ingeniería, también es el proceso en el que se utilizan principios científicos y métodos técnicos (matemáticas, herramientas computacionales, métodos gráficos, y lenguaje común), para llevar a cabo un plan que cubrirá cierta necesidad o demanda. Pero no importa que palabras se utilicen para describir la función de diseñar.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería.

El diseño de ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca a todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. Aparte de las ciencias fundamentales que se requieren, las bases del diseño de ingeniería mecánica son las mismas que las del diseño mecánico.

Por otra parte, hay que hacer notar que un diseño puede o no ser una invención. Para obtener una patente legal en una invención se requiere que el diseño se encuentre un paso más allá de los límites del conocimiento existente.

Los buenos diseños requieren de análisis y de síntesis. El análisis, es la simplificación del mundo real a través de modelos, esto es, la separación del problema en partes fácilmente manejables, mientras que la síntesis, se ocupa del ensamble de los elementos para estudiarlos integralmente.

Por una parte, el CAD ofrece la capacidad de diseñar armazones y miembros que soportan cargas, con estructuras más livianas y fuertes. El CAD y el CAE, agilizan la labor de diseño refinando los bosquejos, y encargándose de tareas de dibujo. Puede haber una base de datos y utilizar la pieza estándar disponible, cuando la hay, en vez de crear otra.

Fases del diseño

A menudo se describe el proceso total de diseño, desde que empieza hasta que termina, como se muestra en la figura 3.1.

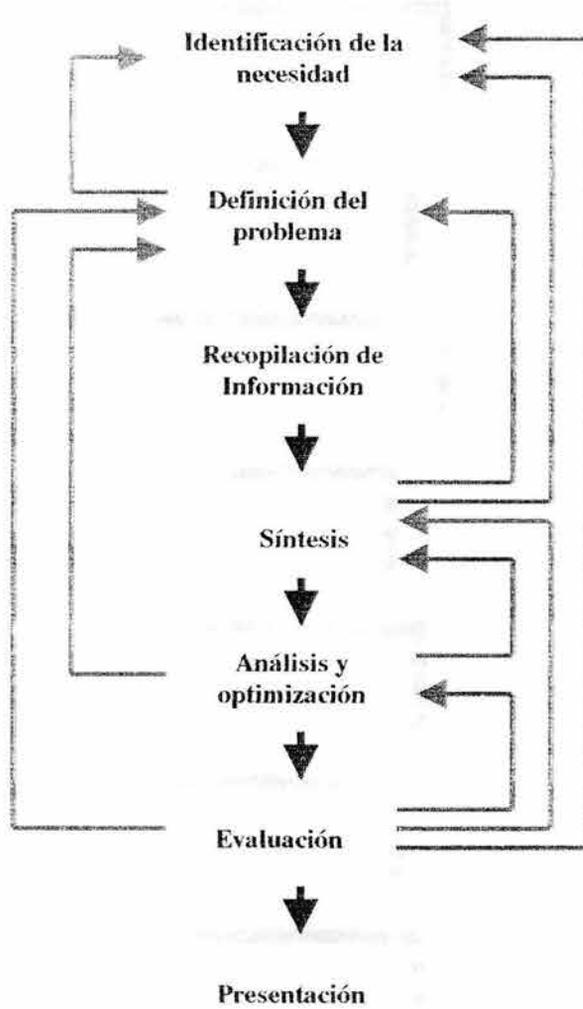


Fig. 3.1 Fases de diseño

Principia con la identificación de una necesidad y con una decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad.

Identificación de necesidades: A veces el diseño comienza cuando un ingeniero se da cuenta de una necesidad y decide hacer algo al respecto. Por lo general, las necesidades se identifican de repente, a partir de una circunstancia adversa, o bien, de una serie de circunstancias fortuitas que surgen casi al mismo tiempo. Una necesidad se identifica fácilmente después de que alguien la ha planteado.

Definición del problema: Hay una diferencia bien clara entre el planteamiento de la necesidad y la definición del problema. El problema es más específico. Por ejemplo, si la necesidad es tener más limpia nuestra ciudad, el problema podría consistir en reducir la cantidad de productos irritantes emitidos por los automóviles y las fábricas.

La definición del problema debe abarcar todas las condiciones para el objeto que se ha de diseñar. Tales condiciones o especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Se puede considerar al objeto como algo colocado en una caja negra, invisible desde afuera. Todo lo que limite la libertad de selección del diseñador es una condición o especificación.

Síntesis: Una vez que se ha definido el problema y obtenido un conjunto de especificaciones implícitas, formuladas por escrito, el siguiente paso en el diseño, es la síntesis de una solución óptima. Esta síntesis no podrá efectuarse antes de hacer el análisis y la optimización, puesto que se debe analizar el sistema a diseñar, para determinar si su funcionamiento cumplirá las especificaciones. Dicho análisis podría revelar que el sistema no es óptimo. Si el diseño no resultase satisfactorio en una de dichas pruebas o en ambas, el procedimiento de síntesis deberá iniciarse otra vez.

Análisis y optimización: Es posible sintetizar componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos para, después, volver a la fase de síntesis y ver qué efecto tiene esto sobre las demás partes del sistema. Para el análisis y la optimización se requiere que se ideen o imaginen modelos abstractos del sistema, que admitan alguna forma de análisis matemático. Tales modelos reciben el nombre de modelos matemáticos. Al crearlos, se espera encontrar alguno que reproduzca lo mejor posible el sistema físico real. Todos los sistemas de esta clase son complicados. Idear un modelo matemático de un sistema físico es simplificar dicho sistema hasta que se pueda analizar.

Evaluación: La evaluación es una fase significativa del proceso total de diseño, pues es la demostración definitiva de que un diseño es acertado y, generalmente, incluye pruebas con un prototipo. Es cuando se desea observar si el diseño satisface realmente la necesidad o las necesidades, es decir, si es confiable, si competirá con éxito contra productos semejantes, si su fabricación y su uso son económicos, si presenta algún tipo de riesgo, si es fácil de mantener, si se obtendrán ganancias por su venta o utilización.

Una consideración importante en cualquier paso del diseño, especialmente cuando el diseño está próximo de completarse, es la revisión. En general hay dos tipos de revisión que pueden ser realizadas: la revisión matemática y la revisión de criterios de ingeniería.

Las revisiones matemáticas consisten en verificar la aritmética y las ecuaciones usadas para el modelo analítico, logrando así, la consistencia dimensional de las ecuaciones y variables empleadas. Por otro lado, la revisión de criterios de ingeniería tiene que ver con la experiencia del diseñador, es decir, intuir cuando un resultado, ya sea matemático o físico, es acertado o no lo es, y así poder evaluar el diseño.

Presentación: Es muy importante mencionar, que el diseño es satisfacer las necesidades de las personas o clientes. Por lo tanto, la comunicación del diseño a otras personas es el paso final y vital en el proceso de diseño. La presentación es un trabajo de venta. En esencia hay tres medios de comunicación que se pueden utilizar: las formas escrita, oral y la representación gráfica. Estas tres formas de comunicación son habilidades, es decir, capacidades que puede adquirir o desarrollar una persona. En un buen proyecto de diseño debe haber una continua comunicación entre el director del proyecto y el cliente o consumidor.

Por otro lado, en un proyecto típico de diseño, el proceso se dividirá así mismo en un cierto número de etapas, de acuerdo a la complejidad del problema que se trate. Por lo que podemos considerar las siguientes etapas:

Etapa 1. Estudio de factibilidad. El propósito del estudio de factibilidad es iniciar el diseño y establecer la línea de pensamiento. La meta en esta etapa es validar la necesidad, producir un número de soluciones y evaluarlas, basándolos en poder realizarlas física y económicamente. Esta etapa es llamada algunas veces diseño conceptual.

Etapa 2. Diseño preliminar. Esta etapa fija las bases del buen diseño detallando que significa el desarrollo estructurado del concepto del diseño. La incorporación preliminar de todas las funciones principales que deban ser ejecutadas por el producto, tienen que ser tomadas en cuenta. Eso envuelve la clara determinación de los procesos físicos los cuales gobiernan los principales flujos y conversión de material, energía e información. Esta etapa del diseño es también llamada diseño global.

Etapa 3. Diseño a detalle. En esta etapa el diseño es llevado a una completa descripción de la producción y pruebas del producto. El arreglo, forma, dimensiones, tolerancias y propiedades de la superficie de todas las partes individuales son determinadas y los materiales y procesos de manufactura especificados. Esto es una tarea que consume mucho tiempo debido a las complejas interacciones involucradas. La calidad y costo favorable de un producto son determinados por el nivel de excelencia del diseño detallado. También es la etapa en la que los especialistas de manufactura deben trabajar conjuntamente con el ingeniero de diseño para asegurar que el producto pueda ser producido con un costo y calidad aceptables dentro del mercado donde se distribuirá.

Etapa 4. Planeación para manufactura. Una gran parte de la planeación detallada debe ser realizada para la producción del producto diseñado. Un método de manufactura debe ser establecido para cada componente del sistema. Como un primer paso, se establece una hoja de proceso la cual contiene una lista secuencial de las operaciones que deben ser ejecutadas sobre el componente. También, se especifica la forma y condición del material, las herramientas y las máquinas que serán utilizadas. La información en la

hoja de proceso hace la posible estimación del costo de producción del componente.

Otras tareas importantes ejecutadas en esta etapa son las siguientes:

- Diseño especializado de herramientas e instalaciones.
- Especificaciones de las distribuciones de la planta que será usada.
- Planeación del trabajo de inventario y control de inventario.
- Planeación del sistema de control de calidad.
- Establecimiento del tiempo estándar y el costo para cada operación.
- Establecimiento del sistema de flujo de información necesaria para controlar la operación de manufactura.

Todas estas tareas generalmente se consideran dentro de la ingeniería industrial o de manufactura.

Etapa 5. Planeación para la distribución. Se deben tomar decisiones para asegurar una distribución efectiva al consumidor de los sistemas que se han producidos. Los éxitos económicos del diseño, frecuentemente dependen del hábil ejercicio sobre el mercado del producto.

Etapa 6. Planeación para uso. El uso del diseño por el consumidor es muy importante y las consideraciones de cómo el consumidor reaccionará con el producto, ocupan todas las etapas del proceso de diseño. Los siguientes términos son importantes para la orientación del uso en el proceso de diseño: fácil mantenimiento, confiabilidad, seguridad del producto, ergonomía, estética, economía en el mantenimiento y duración de servicio.

Una importante actividad en esta etapa es la adquisición de datos de fallas, vida de servicio, quejas y actitudes de los consumidores, para proveer las bases para la mejora del producto en el siguiente diseño.

Etapa 7. Planeación para el retiro del producto. La última etapa en el proceso de diseño es la colocación del producto cuando éste ha alcanzado el final de su vida útil. El diseño debe estar orientado para que pueda ser recuperado por lo menos en materiales para adaptarse a un uso que requiera menor nivel de demanda. Para algunos productos, en algunos países, existen legislaciones en las cuales, se prohíbe desechar el producto sin antes procesarlo para su retiro por cuestiones ambientales.

Para concluir esta sección, en la figura 3.2 se muestra las etapas típicas en la evolución de un nuevo producto. En la práctica del diseño moderno algunas de las etapas del diseño son facilitados por el uso de computadoras (Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora, CAD/CAE) y existe un creciente uso en las máquinas herramienta controlados por computadora (Manufactura asistida por computadora, CAM). El lazo entre estas dos funciones, es el diseño con base de datos en forma digital.

Consideraciones de diseño

Cuando se usa la expresión consideración de diseño, se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, o quizá, en todo el sistema. La descripción anterior del proceso de diseño sigue una secuencia de eventos en el desarrollo de un producto cualquiera. Sin embargo, el diseño es multifacético y se relaciona también con otros factores que hay que tomar en consideración. Algunos de estos factores se enlistan a continuación: resistencia, propiedades térmicas, corrosión, rigidez, utilidad, tamaño, costo, acabado superficial, seguridad, volumen, peso, responsabilidad legal, duración, seguridad, ecología, estética.



Fig. 3.2. Etapas en el diseño de un nuevo producto

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento, o bien a la unión o ensamble del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema, y algunas de ellas pueden ser vitales para que el diseño del sistema funcione adecuadamente.

Especificaciones

El diseñador no puede hacer caso únicamente a los requisitos del cliente sino que debe saber también cuales son las capacidades del fabricante. Este fabricante puede estar dentro de la misma empresa del diseñador o puede ser un proveedor externo. En cualquier caso, puede que el diseñador especifique materiales o tolerancias que estén más allá de la capacidad del fabricante. El diseño, pues, es iterativo: consultar un aspecto de diseño con el cliente, consultar con el fabricante, volver a consultar. Los ingenieros de manufactura, los miembros del departamento de compra e ingenieros de calidad son socios del diseñador y debe haber una comunicación estrecha en ambas direcciones, el desarrollo de especificaciones ha sido una tarea laboriosa y poco agradable; la nueva manera trae más satisfacción porque el diseñador ejerce su criterio profesional al fijar las especificaciones.

Factores económicos

La consideración del costo es tan importante en el proceso de la decisión para el diseño, que tardaría un tanto en examinarlo como en estudiar el diseño mismo. Porque en primer lugar, debe observarse que no se puede decir nada en absoluto en lo que respecta a costos. Ya que, el costo de los materiales y de la mano de obra aumenta por lo general de un año a otro. Sin embargo, es de esperar que los costos de procesamiento de materiales manifiestan una tendencia a la baja, debido al uso de máquinas herramientas automatizadas y robots industriales. El costo de fabricar un mismo producto varía de una ciudad a otra y de una industria a otra, debido a las diferencias que hay en gastos generales, mano de obra, impuestos, ajustes por fletes y ligeras variaciones por manufactura en cuanto a procesos utilizados.

Uno de los principios básicos para reducir los costos, es el uso de tamaños estándares, tanto para materia prima como en la manufactura de piezas. El ingeniero

de diseño debe procurar elegir las partes que se van a comprar de tal manera que sean fácilmente adquiribles. Otro de los efectos que tienen las especificaciones de diseño sobre los costos, es el uso de tolerancias amplias. Si se eligen tolerancias cerradas para las piezas que se van a fabricar, el costo de manufactura puede ser muy elevado, así como si el acabado superficial es muy riguroso, aumentarán mucho los costos, lo cual incluye considerablemente en la fabricación masiva. A veces sucede que, cuando se compara el costo de dos o más diseños, el criterio para elegir uno de estos, dependerá de condiciones tales como volumen de producción o velocidad de líneas de ensamblado. De esta manera se llega a un punto donde se igualan o se equilibran los costos, el cual recibe el nombre de punto equilibrio.

Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora (CAD) ha tenido un uso muy importante en los últimos años, en todas las ramas de la ingeniería, y en la disminución en el costo de computadoras digitales, provocando una revolución en la práctica del diseño en ingeniería que se realiza actualmente (figura 3.3). Los primeros sistemas CAD de los años 60's eran principalmente bidimensionales y no contaban con la capacidad de hacer modelos sólidos.

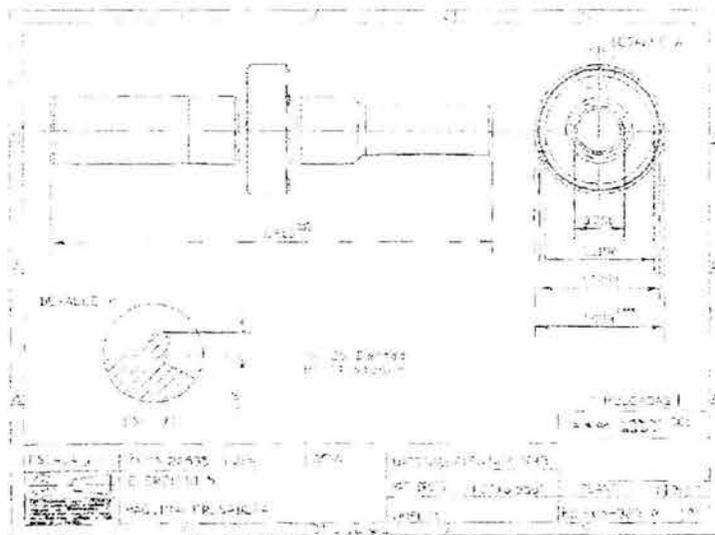


Fig. 3.3

En los años 70's se comienzan a investigar el modelo sólido en varias universidades, y comienzan a aparecer los primeros sistemas CAD de tres dimensiones. Ya para los 80's, el modelado sólido comienza a ganar terreno en los sistemas CAD a través del software comercial de alto nivel, que en ese entonces, estaban basados en mini-computadoras de 32 bits. En esta época también comienzan a aparecer los primeros sistemas de CAD para PC. En el mundo de las PC's, primero aparecieron las aplicaciones CAD 2D para dibujos de planos, posteriormente llegaron los sistemas CAD 3D, y recientemente comenzaron a aparecer los primeros sistemas de modelado sólido.

Actualmente, las aplicaciones CAD para PC, han llegado al nivel de potencia como en las diversas estaciones de trabajo. A continuación se muestran aspectos diferentes del dramático cambio en la práctica del diseño.

A través de la interacción con la computadora, en tiempo real, el diseñador es capaz de utilizar la computadora y sus gráficos, para ejecutar muchos aspectos de rutina de diseño con una mayor velocidad y a un bajo costo.

Mediante el empleo de software, basado en el método de los elementos finitos, el diseñador es capaz de ejecutar potentes procedimientos analíticos. Los miembros de una estructura actual bajo análisis, pueden ser desplegados gráficamente. Pueden ser observadas la distribución de esfuerzos, así como la de deformación debida a una carga por medio de la simulación gráfica. El modo interactivo de comunicación con la computadora en sus terminales gráficas permite un fácil procedimiento de iteración y optimización de un diseño. Esta última parte es la que se denomina CAE (Ingeniería asistida por computadora).

Los sistemas CAD que permiten el diseño de objetos tridimensionales (diseños de piezas mecánicas, diseños en chapa, en plástico, diseños de obra civil, arquitectura y urbanismo, etc.) pueden llegar a ofrecer al usuario las siguientes prestaciones:

- a) En un módulo de proceso, se define interactivamente la forma tridimensional del objeto o conjunto de objetos a diseñar. La computadora almacena un modelo tridimensional completo del mismo, que permite la generación de cualquier vista, así como de secciones, detalles y planos. Asimismo, el modelo de representación tridimensional contiene la información necesaria para el cálculo de las propiedades geométricas del objeto que se está diseñando: superficie, volumen, peso, centro de gravedad, momentos de inercia, radio de giro, etc.

- b) En una segunda fase de proceso, se utiliza el modelo obtenido para realizar cálculos y simulaciones más complejos, como pueden ser los cálculos de tensiones por elementos finitos, o la simulación del comportamiento aerodinámico, en el caso de diseño de carrocerías, perfiles de alas de avión, etc., esto mediante una interrelación con el CAE.

- c) En una tercera fase, se pueden visualizar gráficamente los principales resultados de los programas de cálculo. Si no son correctos, el usuario incidirá sobre la forma del objeto, modificando el modelo y repitiendo el proceso. Si por el contrario, sí son aceptables, el sistema podrá generar automáticamente un código de control numérico para la generación automática de un prototipo del objeto diseñado, mediante una interrelación con el CAM.

Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)

Las computadoras están siendo empleadas cada vez con más frecuencia y eficacia en el diseño y fabricación de productos. Los principios de diseño se pueden incluir dentro de programas específicos, y determinadas tareas, tales como el ensamble, la soldadura, etc., se pueden llevar a cabo bajo la supervisión de la computadora.

Bajo el nombre de Ingeniería Asistida por Computadora (CAD), se agrupan habitualmente tópicos tales como los del CAD y la creación automatizada de dibujos y documentación. Sin embargo, el concepto de CAE, asociado a la concepción de un producto y a las etapas de investigación y diseño, previas a su fabricación, sobre todo cuando esta última es asistida o controlada mediante la computadora, se extiende cada vez más hasta incluir progresivamente a la propia fabricación.

Se puede decir que el CAE es un proceso integrado que incluye todas las funciones de la ingeniería que van desde el diseño propiamente dicho hasta la fabricación. Esto supone, en la práctica, el empleo de sistemas gráficos interactivos combinados con técnicas de modelado geométrico, análisis de estructuras, diseño y dibujo de detalles de piezas, simulación, análisis por elementos finitos y evaluación del comportamiento de los elementos diseñados. El modelo geométrico de un producto es sin duda el elemento central dentro del concepto del CAE, y consiste en la representación del mismo en la memoria de la computadora. Todos los demás elementos del CAE utilizan esta descripción geométrica como punto de partida.

3.2 Esfuerzos mecánicos

Resistencia de materiales

La mecánica de sólidos o resistencia de materiales se ocupa del estudio de los efectos causados por la acción de cargas externas que actúan sobre un sistema deformable. Analiza las fuerzas internas incluidas en sus diferentes componentes, las deformaciones correspondientes y las relaciones que existen entre ambas, permitiéndole al ingeniero con base en estos análisis, tomar decisiones acerca de los materiales a utilizar, del tamaño y forma correcta de las piezas que compone un sistema dado, o bien, concluir si una pieza es capaz de resistir un sistema de cargas propuesto.

Esfuerzo permisible y factor de seguridad

Un diseño no puede estar basado en el esfuerzo que produzca falla, sino que el diseñador debe dar margen de seguridad para que el esfuerzo real pueda incrementarse por factores imprevistos y no se produzca la falla del material. Este valor que es base de los cálculos se denomina esfuerzo permisible, esfuerzo de trabajo o esfuerzo de diseño.

Factor de seguridad. Es el número entre el cual se divide la resistencia de un material para obtener el esfuerzo de trabajo o de diseño. Las relaciones que nos proporcionan los esfuerzos de trabajo para materiales dúctiles y frágiles están dadas:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_{yp}}{FS} \qquad \sigma_w = \frac{\sigma_u}{FS}$$

donde:

σ_{yp} = Esfuerzo de cedencia [Mpa]

σ_u = Esfuerzo último [Mpa]

σ_w = Esfuerzo de trabajo [Mpa]

FS = Factor de seguridad

Hablando del factor de seguridad, el fijar un cierto valor es un asunto de criterio, basado en el uso apropiado del material y las consecuencias de su falla, si la falla de una pieza pone en peligro la operación de todo un sistema o de vidas humanas. Cuando las cargas son estáticas y no hay peligro de daños a personas, un factor de seguridad de 2 es razonable. Este número indica, desde otro punto de vista, relacionado exclusivamente con las cargas que se aplicarán al sistema, que para producir una falla es necesario duplicar las cargas que se tomaron como base de diseño, o bien, indica que se tiene un margen de 100% para sobrecargar el sistema sin producir falla. La selección de un valor apropiado para el factor de seguridad se basa principalmente en los cinco factores siguientes:

1. *Grado de incertidumbre de la carga.* En algunos casos, pueden determinarse las cargas con aproximación, pero en algunos otros, la incertidumbre en la magnitud de la cargas puede ser muy grande. Mientras mayor sea la incertidumbre, más conservador debería ser el criterio del ingeniero al seleccionar una sobrecarga apropiada de diseño o factor de seguridad.
2. *Grado de incertidumbre en la resistencia del material.* En forma ideal, el ingeniero debe tener información extensa relacionada con la resistencia del material con la que se manufacturaron las partes reales, y con las pruebas a temperaturas y ambientes similares a las que se encontrarán en la realidad.
3. *Incertidumbre con relación a las cargas aplicadas con respecto a la resistencia del material.* Se refiere a la validez de las suposiciones aplicadas en las ecuaciones estándar para calcular los esfuerzos nominales, la precisión para determinar los factores de concentración de esfuerzos, la adaptabilidad de cualquiera de las teorías de falla, etc.
4. *Consecuencias de la falla, seguridad humana y economía.* Si las consecuencias de la falla son catastróficas, debe usarse un factor de seguridad mayor a 4. También si la falla de una pieza, relativamente barata, puede ocasionar que se detenga una línea de ensamble mayor, la economía simple dicta aumentar varias veces el costo de esa parte con objeto de eliminar virtualmente la posibilidad de falla.
5. *Costo por proporcionar un factor de seguridad.* Este costo siempre implica una consideración monetaria, y también puede implicar consumo importante de recursos.

Un punto importante en la selección del factor de seguridad, es el equilibrio. Todas las partes de una máquina deben tener factores de seguridad consistentes.

Esfuerzo y deformación

Cuando a un cuerpo se le aplica una fuerza externa que tiende a cambiar su forma o tamaño, el cuerpo se resiste a esa fuerza. La resistencia interna del cuerpo se conoce como *esfuerzo* y los cambios en las dimensiones del cuerpo que la acompañan se llaman *deformaciones*.

El esfuerzo total es la resistencia interna total que actúa en una sección del cuerpo. Por lo general, la cantidad determinada es la intensidad de esfuerzo o esfuerzo unitario, definida como el esfuerzo por unidad de área. El esfuerzo unitario generalmente se expresa en unidades de [lb/pulg²], y para una carga axial tensil o una compresiva, se calcula como la carga por unidad de área. La deformación total en cualquier dirección es el cambio total de una dimensión del cuerpo en esa dirección, y la deformación o tensión unitaria es la deformación por unidad de longitud en esa dirección.

Diagrama esfuerzo-deformación

El diagrama esfuerzo-deformación de la figura 3.4 se puede usar para determinar varias características de resistencia del material. Estas son:

Límite de proporcionalidad. Es el punto de la curva hasta donde la deformación unitaria es proporcional al esfuerzo aplicado. Al esfuerzo que caracteriza a este punto se llama esfuerzo límite de proporcionalidad (σ_{LP}).

Punto de cedencia o fluencia. Conforme la carga en la pieza a prueba aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continúa deformándose

sin que haya incremento de la carga. El esfuerzo en el punto Y de la figura 3.4 se conoce como punto de cedencia o fluencia. El esfuerzo puede disminuir realmente por un momento, resultando en un punto de cedencia superior y en uno inferior. Al esfuerzo que caracteriza este punto se le llama esfuerzo de cedencia o de fluencia (σ_y).

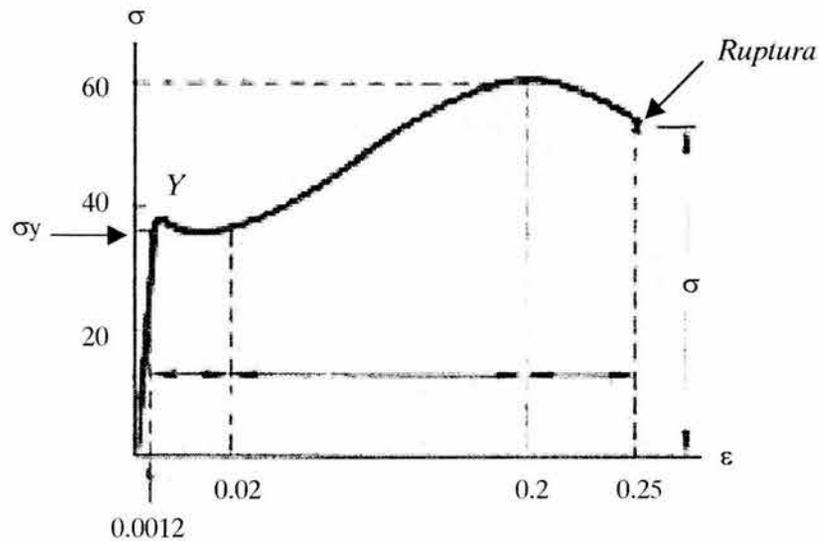


Fig. 3.4. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero

Límite elástico. Es la tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de tracción simple de modo que no haya deformación permanente cuando se suprime totalmente la carga. Para muchos materiales son casi idénticos los valores numéricos del límite elástico y del límite de proporcionalidad, por lo que a veces se consideran sinónimos. En los casos en que es notoria la diferencia, el límite elástico es casi siempre mayor que el de proporcionalidad.

Zona elástica. Es la región del diagrama esfuerzo-deformación que va desde el origen hasta el límite de proporcionalidad.

Zona plástica. Es la región del diagrama esfuerzo-deformación que va desde el límite de proporcionalidad.

Límite elástico aparente o de fluencia. A la ordenada del punto Y , en el que se produce un aumento de deformación sin aumento de tensión, se le conoce por límite elástico aparente o límite de fluencia del material. Cuando la carga ha aumentado hasta el punto Y , se dice que se produce fluencia.

Resistencia límite. La resistencia límite o la resistencia de tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original.

Resistencia a la ruptura. Es el esfuerzo basado en la sección original que produce la fractura del material.

Módulo de elasticidad o módulo de Young (E). Es la pendiente de la recta del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, y es realmente la constante de proporcionalidad entre esfuerzo-deformación cuando se está abajo del límite de proporcionalidad.

Módulo de resiliencia. El trabajo realizado en un volumen de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero, hasta un valor tal que se alcance el límite de proporcionalidad del material, se define como módulo de resiliencia.

Módulo de tenacidad. El trabajo realizado en un volumen de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta el valor que produce la ruptura, se define como módulo de tenacidad.

Falla de un material

Es un estado de condición del material, por el cual una pieza o una estructura no satisfacen la función para la cual fueron proyectadas. En el diseño de ingeniería podemos distinguir los siguientes tipos de fallas:

Falla por deformación. Se presenta cuando el esfuerzo inducido en el material produce una deformación excesiva (elástica o plástica) que impide el funcionamiento correcto de las piezas. Las propiedades del material que deben considerarse en el análisis son: el módulo de elasticidad, el esfuerzo límite de proporcionalidad y el esfuerzo de cedencia según el caso (deformación plástica o elástica).

Falla por fractura. Esta falla se caracteriza por la ruptura completa del material bajo carga estática y la resistencia última es la propiedad básica que debe tomarse en cuenta para el análisis.

Falla por fatiga. Ésta se presenta cuando el material se fractura bajo el efecto de cargas que varían continuamente. La base para la evaluación de la resistencia del material bajo carga variable es el límite de fatiga.

Falla por termofluencia. Se caracteriza por excesiva deformación plástica después de un largo período de tiempo bajo esfuerzo constante.

Falla por carga de impacto. Cuando una carga se aplica de forma súbita o por choque sobre una pieza, su efecto es más perjudicial que en el caso de cargas gradualmente aplicadas. La falla puede presentarse ya sea por deformación excesiva o por fractura, según el tipo de material.

Teoría de falla

En un elemento de máquina que esté sujeto a un estado de esfuerzo biaxial o triaxial, la predicción de la falla es muy compleja. Se han formulado teorías que relacionan el estado multiaxial de esfuerzos con la falla en la prueba de tracción simple, a través de un parámetro como el esfuerzo, la deformación o la energía. Las teorías más útiles en diseño son: la Teoría del esfuerzo cortante máximo y la Teoría de la energía de distorsión.

Teoría de esfuerzo cortante máximo (Tresca). Esta teoría puede expresarse como: “la falla de una pieza sujeta a un estado uniaxial de esfuerzos, ocurrirá cuando el esfuerzo cortante máximo iguale o exceda el esfuerzo cortante máximo correspondiente al momento de la falla en el ensayo de tracción simple, efectuado con una probeta del mismo material”. En un estado biaxial de esfuerzos pueden darse dos esfuerzos cortantes τ que son:

$$\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

donde:

σ_1 y σ_2 = Esfuerzos principales

τ_{12} = Esfuerzo cortante

La figura geométrica de un hexágono (figura 3.5) está asociada con la iniciación de la fluencia en el material y se conoce como el hexágono de Tresca. Mientras el esfuerzo caiga dentro del área del hexágono, el componente estructural es seguro.

Teoría de energía de distorsión (Von Mises). Un componente estructural dado, es seguro siempre y cuando, el valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen en dicho material sea menor que la energía de distorsión por unidad de volumen requerido para causar fluencia en una probeta de prueba a tracción del mismo material. Esta teoría puede expresarse en términos matemáticos como:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

donde:

σ_y = Esfuerzo de fluencia

σ_1 y σ_2 = Esfuerzos principales

Para este criterio, una elipse (figura 3.5) representa su lugar geométrico, por lo que el componente estructural es seguro siempre y cuando el esfuerzo caiga dentro de esta área.

La representación que se ofrece en la figura 3.5 constituye un procedimiento para comparar los criterios de fluencia en un estado de tracción en dos dimensiones.

Obsérvese que se predice al mismo límite elástico en condiciones de tensión uniaxial y en tensión biaxial equilibrada cuando $\sigma_1 = \sigma_2$.

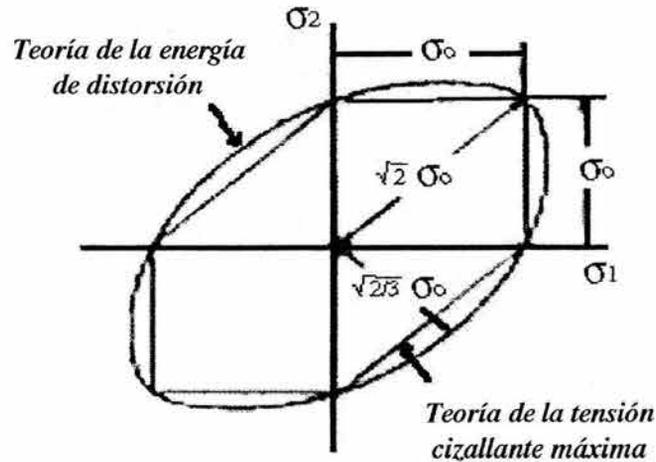


Fig. 3.5. Comparación del criterio de fluencia plástica para tracción plana

3.3 Deformaciones por falla que se producen en la carrocería

A pesar de los tratamientos a que se someten las carrocerías y los cálculos de resistencia de materiales que se efectúan en la fabricación de un automóvil, es inevitable que por múltiples razones las carrocerías tengan una serie de puntos débiles. Las causas de éstos se pueden agrupar en dos grandes categorías: las causadas por agentes externos, que provocan reacciones químicas de la plancha de acero al entrar en contacto con ellos, y las físicas, producidas por fatiga del material, esfuerzos estructurales y vibraciones.

Las del primer grupo son inevitables con el paso del tiempo, y lo único que consiguen los tratamientos que se aplican a las carrocerías para evitarlo, es retrasar en la

mayor medida posible la aparición del fenómeno de la corrosión, retraso que actualmente hace que los componentes mecánicos lleguen al final de su vida útil antes de que la corrosión ataque a la estructura metálica.

Las causas del segundo grupo son más fáciles de prever ya desde el diseño de la carrocería, y es cuestión de eficacia en el proceso productivo de cada modelo, el que los problemas estructurales hagan o no aparición durante la vida útil del automóvil.

Pero hay que tener muy en cuenta que la primera causa puede acelerar la presencia de la segunda, y es que la corrosión en ciertos puntos estratégicos de la carrocería, pueden alterar la rigidez del conjunto.

Las deformaciones a las que está expuesta la carrocería la carrocería del vehículo mini-baja se producen por impactos o por vibraciones.

Las deformaciones por impactos son producidas por el choque con rocas, árboles o contra otros vehículos. Estas deformaciones pueden ser perjudiciales para la carrocería, sin embargo, protegen al piloto absorbiendo parte de la energía producida por el choque.

Las deformaciones por vibraciones son producidas, principalmente, por la vibraciones que produce el motor y por las irregularidades del camino que se transmiten al chasis, y éste a su vez, las transmite a la carrocería. Estas deformaciones producen fallas por fatiga.

3.4 Selección de materiales para carrocerías

Debido a la gran cantidad de materiales que existen en el mercado mundial, es indispensable llevar a cabo una selección del material que satisfaga las especificaciones de

la carrocería. Una manera de hacerlo, es utilizando las gráficas de *Ashby* para determinar que tipo de familias de materiales son los óptimos a utilizarse.

A continuación se procede a buscar el material que mejor cumpla nuestros requerimientos, bajo la restricción de mínimo peso, utilizando para ello, los índices de funcionalidad.

Los índices de funcionalidad son la relación que se presenta en un componente, respecto a la carga a soportar, con relación a su propio peso. La forma en que se aplique la carga, hará variar el índice de funcionalidad.

El análisis de la carrocería se lleva a cabo considerando a cualquier elemento de ésta, como viga apoyada en cualesquiera dos puntos, a la cual se le aplica una carga en el centro: (fig. 3.6)

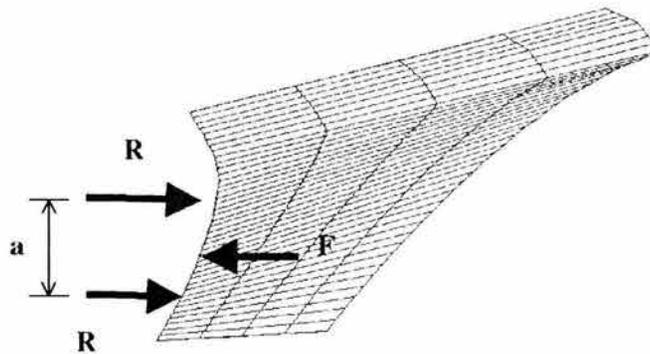


Fig. 3.6

donde: F carga puntual aplicada al centro del elemento
 R reacción en los extremos del elemento
 a distancia entre las reacciones

Índice de funcionalidad para una lámina

Para determinar los índices de funcionalidad, hay que considerar los siguientes parámetros y la sección transversal de la lámina (fig. 3.7):

F = carga

m = masa

V = volumen

ρ = densidad

I = momento de inercia

σ_y = esfuerzo de fluencia

c = distancia del eje neutral
a la fibra máxima

L = longitud

b = ancho

h = espesor

E = módulo de Young

M = momento

δ = deflexión

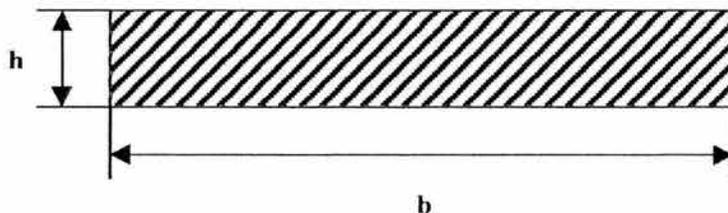


Fig. 3.7.

Para la resistencia a la fluencia, obteniendo el índice de funcionalidad para la masa y con base en la figura 3.7:

$$m = V\rho = bhL\rho \quad \dots(1)$$

por otra parte:

$$M = \frac{Fb}{2} \quad \dots(2)$$

$$\sigma_y = \frac{Mc}{I} \quad \dots(3)$$

donde: ... (4)

I para una lámina:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \dots (5)$$

sustituyendo (2), (4) y (5) en (3):

$$\sigma_y = \frac{\frac{Fb}{2} \left(\frac{h}{2} \right)}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{3F}{h^2} \quad \dots (6)$$

suponiendo que h es la variable que se adapte a la solución del problema; resolviendo para h :

$$h = \sqrt{\frac{3F}{\sigma_y}} \quad \dots (7)$$

sustituyendo (7) en (1), para la mínima masa:

$$m = bL\rho \sqrt{\frac{3F}{\sigma_y}}$$

obteniendo el índice de funcionalidad para la resistencia a la fluencia:

$$m = [3bL] \left[F^{1/2} \right] \left[\frac{\rho}{\sigma_y^{1/2}} \right]$$

$$\boxed{IF^{-1} = \frac{\sigma_y^{1/2}}{\rho}}$$

Considerando el mismo caso para la rigidez a la fluencia, obteniendo el índice de funcionalidad para la masa:

$$m = V\rho = bhL\rho \quad \dots(1)$$

por otra parte:

$$\delta = \frac{F\left(\frac{b}{2}\right)^3}{3EI} \quad \dots(2)$$

donde:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \dots(3)$$

sustituyendo (3) en (2):

$$\delta = \frac{F\left(\frac{b}{2}\right)^3}{3E\left(\frac{bh^3}{12}\right)} = \frac{Fb^2}{2Eh^3} \quad \dots(6)$$

suponiendo que h es la variable que se adapte a la solución del problema;
resolviendo para h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{Fb^2}{2E\delta}} \quad \dots(7)$$

sustituyendo (7) en (1), para la mínima masa:

$$m = bL\rho^3 \sqrt[3]{\frac{Fb^2}{2E\delta}}$$

obteniendo el índice de funcionalidad para la rigidez a la fluencia:

$$m = \left[3b^{4/3} L \left[\frac{F}{\delta} \right]^{1/3} \left[\frac{\rho}{E^{1/3}} \right] \right]$$

$$\boxed{IF^{-1} = \frac{E^{1/3}}{\rho}}$$

Por lo tanto, para una lámina, los índices de funcionalidad son:

Resistencia a la flexión:
$$IF^{-1} = \frac{\sigma^{1/2}}{\rho}$$

Rigidez a la flexión:
$$IF^{-1} = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

Una vez determinado el índice de funcionalidad para la geometría propuesta, se proceden a determinar los materiales óptimos presentados en las gráficas de Ashby.

Utilizando la gráfica de Resistencia – Densidad (fig. 3.8) se pueden determinar los materiales óptimos para el índice $\sigma_y^{1/2}/\rho$.

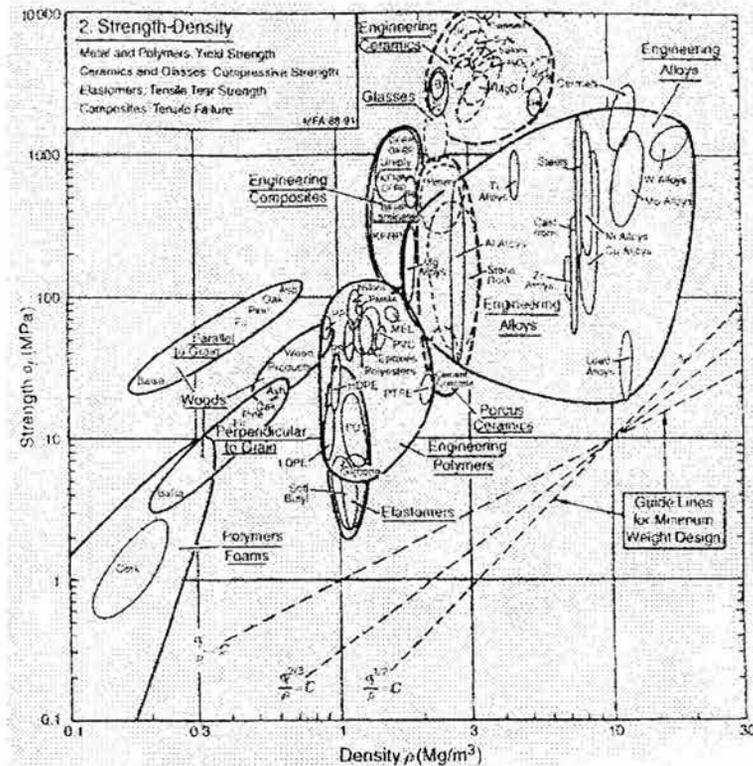


Fig. 3.8.

Igualmente, utilizando la gráfica de Módulo de Young – Densidad (fig. 3.9.) se pueden determinar los materiales que cumplen mejor bajo el índice $E^{1/2}/\rho$.

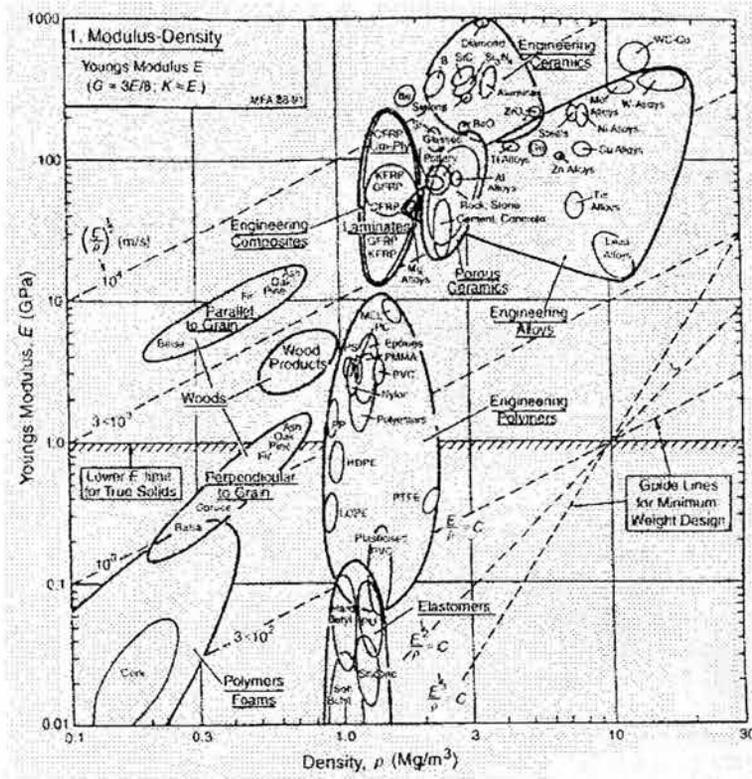


Fig. 3.9

3.5 Sistemas de unión utilizados en los ensambles de carrocerías

Los diferentes sistemas de unión son uno de los factores que más decisivamente influyen en el desarrollo de los procesos de reparación y más específicamente, en los tiempos de intervención.

A la hora de establecer el sistema más idóneo, es necesario realizar una serie de consideraciones previas. Entre ellas, cabe destacar:

- El grado de accesibilidad de la pieza
- La frecuencia de sustitución
- Su contribución en materia de resistencia estructural
- Las características de los materiales que se van a unir o a ensamblar

Clasificación de las uniones

Las uniones pueden agruparse y clasificarse según diversos criterios. Éstos dependerán de las características de las uniones que se tomen en cuenta. Enseguida se consideran las uniones de acuerdo con los siguientes criterios:

1) ¿Por medio de qué se realiza la unión?

Agentes y condiciones de las piezas que permiten las uniones. Comprenden cuatro grupos:

- *Uniones por forma.* Piezas que están tratadas de tal forma que si se colocan de cierto modo se mantienen unidas: machihembrado, engargolado, etc.
- *Uniones por fuerza (sujetan).* Son piezas con forma propia, generalmente independientes de las piezas a unir, que mantienen estas juntas mediante áreas de soporte que ejercen fuerza sobre las piezas: tornillos, remaches, pijas, cuñas y grapas.
- *Uniones por material (suedan).* Aquellas en que los materiales de las piezas por unir se integran y forman un solo componente: alta frecuencia, punteado, por arco eléctrico, soldadura oxiacetilénica.

- *Uniones por integración.* Cuando las piezas son transformadas en su estructura de modo que se integran y forman una sola: por ejemplo, las soldaduras.
- *Uniones por peso y gravedad.* Cuando sólo funcionan en determinadas posiciones, cuando la atracción de la tierra coincide con su posición de ensamble: tapas cubiertas.

A continuación, se describen más a detalle, algunos elementos de sujeción

Remaches

Los remaches son sujetadores con cabeza, de material maleable, utilizados para unir partes de estructuras, máquinas o productos. El vástago, se introduce en perforaciones alineadas en ambas piezas. El extremo sin cabeza del remache es deformado, generalmente por expansión, para bloquear la junta al formar otra cabeza en este extremo.

Para determinar la longitud adecuada de un remache se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = T + T + (1.5D)$$

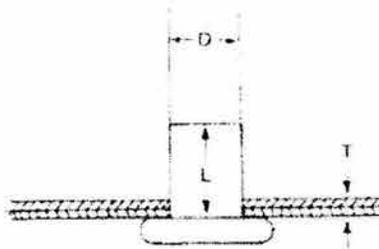


Fig. 3.10..

Para lograr resultados óptimos, los remaches deben estar distanciados un mínimo de tres veces su diámetro y un máximo de 24 veces el espesor de las partes. Así mismo, es

- *Uniones por integración.* Cuando las piezas son transformadas en su estructura de modo que se integran y forman una sola: por ejemplo, las soldaduras.
- *Uniones por peso y gravedad.* Cuando sólo funcionan en determinadas posiciones, cuando la atracción de la tierra coincide con su posición de ensamble: tapas cubiertas.

A continuación, se describen más a detalle, algunos elementos de sujeción

Remaches

Los remaches son sujetadores con cabeza, de material maleable, utilizados para unir partes de estructuras, máquinas o productos. El vástago, se introduce en perforaciones alineadas en ambas piezas. El extremo sin cabeza del remache es deformado, generalmente por expansión, para bloquear la junta al formar otra cabeza en este extremo.

Para determinar la longitud adecuada de un remache se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = T + T + (1.5D)$$

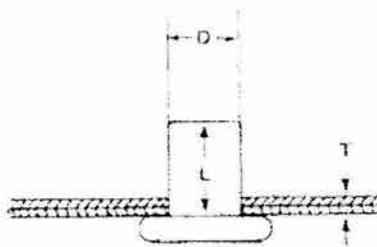


Fig. 3.10.

Para lograr resultados óptimos, los remaches deben estar distanciados un mínimo de tres veces su diámetro y un máximo de 24 veces el espesor de las partes. Así mismo, es

importante que la distancia del centro del remache a la orilla de las piezas sea como mínimo el doble del diámetro del remache. (Fig. 3.11)

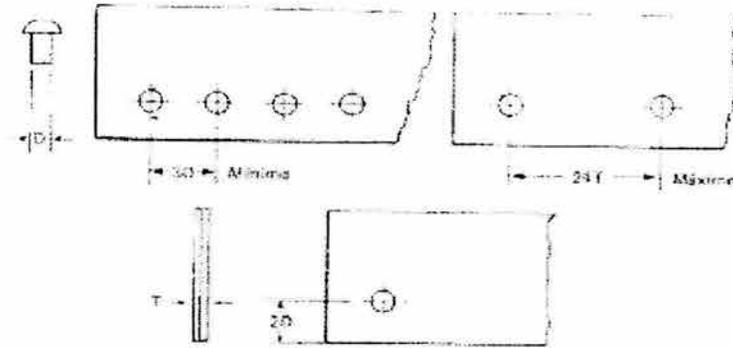


Fig. 3.11.

Existen diferentes tipos de remaches, entre los que se encuentran:

- Remaches comunes
- Remaches ciegos: de expansión, pop, Chobert, Avex
- Remaches no deformables: Avdelock (huckbolt), de poste, Hi-Shear
- Remaches tubulares
- Remaches bifurcados
- Remaches plásticos: plasti-remache, de trinquete, triploc

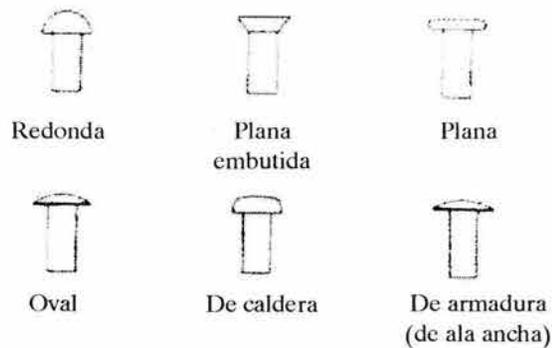


Fig. 3.12. Tipos de remaches según la forma de la cabeza

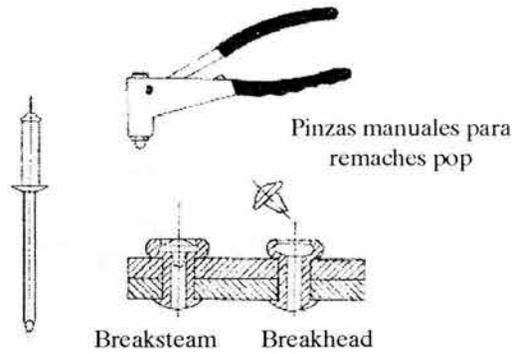


Fig. 3.13. Remaches pop estándar

Velcro

El velcro es un nombre genérico que se utiliza para un sistema de sujeción en dos cintas. Una de ellas con pequeños ganchos elásticos y la otra con finas ondas de tejido. Para fijarlas basta presionarlas juntas. Para separarlas, basta con jalarlas como si se estuvieran pelando.

Estas cintas pueden fijarse a la mayoría de los materiales (por adhesivos, costuras, remaches, etc.) permitiendo uniones desmontables entre ellos. Estas uniones resultan además ajustables, fuertes, versátiles, ligeras y de buena apariencia. Las cintas vienen en una gran variedad de anchos y colores. Están tratadas contra la corrosión y el desgaste que sufren es muy lento.

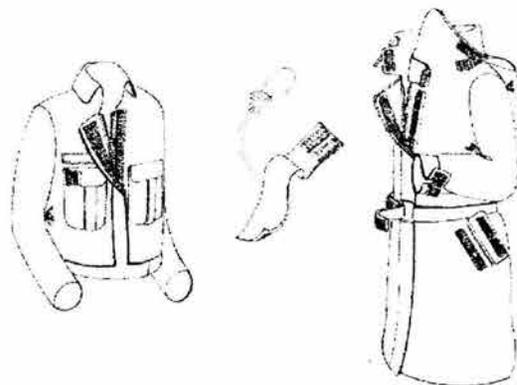


Fig. 3.14. Algunas aplicaciones del velcro

Adhesivos

La unión por adhesivos es una técnica para juntar materiales. En los últimos años se ha demostrado que con esta técnica se pueden reemplazar métodos convencionales como el remachado, la soldadura o las sujeciones mecánicas en una gran variedad de aplicaciones. En la construcción de aviones se ha demostrado durante mucho tiempo la fuerza y durabilidad de estructuras pegadas. En otros campos, sin embargo, había sido restringida. Por lo que respecta a las estructuras automotrices y marítimas, aún predominan la soldadura, los tornillos (pernos) y los remaches. Muchos productos en gran escala todavía involucran uniones metálicas y sujetadores metálicos.

Hace más de 50 años los únicos adhesivos de importancia eran las gomas animales y otros productos naturales que se han usado por siglos, sin embargo desde principios de siglo pasado, las gomas vegetales han encontrado gran aplicación en la unión de materiales porosos tales como el papel. Los adhesivos de cascina fueron empleados en la Primera Guerra Mundial para construcciones de madera en las aeronaves, pero se encontró que tenían resistencia limitada a la humedad y crecimiento del moho.

El rápido crecimiento del uso de los adhesivos en la industria se debió al desarrollo de las resinas sintéticas que no tienen las limitaciones de los productos naturales y que pueden unir metales y otros materiales no porosos. La primera resina sintética de importancia fue el fenol formaldehído, que ha sido grandemente utilizada para unir madera. La Segunda Guerra Mundial vio el desarrollo de las resinas epóxicas y fenoles modificados, para unir piezas metálicas en los aviones, y desde entonces un gran número de resinas sintéticas se han formulado.

La unión por adhesivos es ahora de gran importancia para unir metales entre sí y con otros materiales para una gran variedad de propósitos. Este crecimiento es muy

importante en aplicaciones no estructurales, como la ingeniería en general y las industrias automotivas, del calzado y del empaque.

Debido a sus ventajas en un gran número de aplicaciones, el pegado ofrece nuevas posibilidades de producción a bajo costo. Debe ser considerado como complementario con otros métodos de sujeción, para ser usado donde éstos no son factibles o son menos económicos.

Por ejemplo, el peso es a menudo de suma importancia para el diseñador de productos y pudiera afectar a su costo. Con uniones por adhesivos se pueden usar metales más delgados, ya que hasta ahora el grosor de los metales usados está determinado por la necesidad de evitar la distorsión sufrida por la soldadura o el remachado. Aleaciones de aluminio tan delgadas como 0.35 [mm] se han pegado satisfactoriamente, y se han utilizado películas metálicas de 0.05 [mm] de espesor en estructuras especiales.

Limitaciones de los adhesivos

Las uniones por adhesivos también tienen sus limitaciones, aunque los actuales avances en la tecnología prometen minimizar muchas de ellas. Entre las limitaciones del pegado se encuentran:

1. La dependencia de la durabilidad de la unión por las condiciones del proceso de manufactura.
2. La necesidad de un diseño especial de unión para evitar fallas.
3. La resistencia limitada de los adhesivos en condiciones extremas de servicio, especialmente por el calor. Las poliamidas, termofijos y epoxis modificados son capaces de resistir hasta 250 [°C], límite sobre el cual el material sufre degradación. Materiales inorgánicos, como los silicatos, funcionan como

adhesivos hasta los 1500 [°C] pero son quebradizos debido al impacto mecánico y térmico y tienen adhesión a los metales.

Algunas limitaciones adicionales en la utilización de adhesivos para usos particulares son:

- a) Esfuerzos residuales en uniones pegadas. Pueden presentar problemas, producto de las expansiones térmicas del adhesivo y las superficies a pegar.
- b) La fuerza óptima de pegado generalmente no se realiza instantáneamente como sucede con la soldadura o sujetadores mecánicos.
- c) Muchos adhesivos termofijos tienen poca fuerza y los adhesivos termoplásticos tienden a quebrarse bajo esfuerzos continuos.
- d) La permanencia de las uniones de adhesivos en medios severos es frecuentemente desconocida, el calor, el frío, los agentes químicos, la radiación y la deterioración biológica pueden causar degradación en los adhesivos.
- e) Inflamabilidad y toxicidad de los adhesivos basados en solventes.
- f) Las estructuras pegadas no son fácilmente desmanteladas para reparación.
- g) Generalmente se requieren pruebas rigurosas de control de producción para mantener las condiciones de calidad uniforme en los procesos de producción.

Además de estas limitaciones, el proceso de pegado trae consigo complicados requerimientos como:

- i) Lugares especiales para la preparación de los componentes antes de unir y para la aplicación de los adhesivos.
- ii) La provisión de condiciones ambientales especiales, que generalmente incluyen prolongados períodos de curado bajo calor y presión constantes.

Materiales adhesivos y sus propiedades

Los adhesivos se pueden clasificar por: los materiales por unir, la forma física del adhesivo, sus requerimientos de curado, las propiedades de fuerza que éste produce y su durabilidad en servicio.

También pueden ser clasificados con base en el tipo químico del principal ingrediente. Aunque este sistema es de valor limitado para el diseñador, es uno de los más comúnmente usados.

Forma física del adhesivo

Los materiales adhesivos se pueden conseguir en una gran variedad de formas físicas y para una aplicación particular, la elección depende de consideraciones de ensamble, diseño, costo y facilidades de producción.

En la tabla 3.1, se aprecian las características de los adhesivos en sus diferentes formas físicas.

Requerimientos de curado

Los adhesivos se pueden clasificar convenientemente en tres grupos, de acuerdo con su fijación.

- 1) *Adhesivos con base de solventes.* Estos adhesivos se solidifican al perder el solvente. Incluyen las gomas producidas naturalmente como Shellac y bálsamo canadiense, resinas sintéticas como acrílico, vinil y polímeros de estireno y elastómeros basados en poliuretano, policloropreno y gomas de nitrilo.

<i>Forma física</i>	<i>Observaciones</i>
Líquidos de alta o baja viscosidad	Muchas fórmulas pueden existir en este estado, como dispersiones solventes o como emulsiones acuosas. Son fáciles de aplicar con un cierto control de la viscosidad por parte del usuario.
Pastas o mastiques	Esta forma es usada en producción en masa cuando se requiere que no haya desperdicio. Puede obtenerse gran variedad de consistencias.
Película o cinta	Estas formas son restringidas para superficies de naturaleza suave y se caracterizan por una rápida y fácil aplicación con reducción de desperdicio y grosor uniforme de pegamento.
Polvo	Esta forma requiere mezclarse con líquidos o activación calorífica para lograr el estado líquido. Algunos tipos contienen catalizadores latentes. En general los polvos son formas económicas de adhesivos con larga vida.
Gránulos, cubos y otras formas sólidas	Éstas son formas convenientes para aplicaciones fáciles y particulares. Los tipos sólidos son bases para barras de soldadura por adhesivos y materiales de fusión por calor.

Tabla 3.1. Características de los adhesivos según su forma física

- 2) *Adhesivos de fijación por temperatura.* Se licúan con calor y se fijan al enfriar. Incluyen poliamidas, poliésteres saturados, poliacrilato y poliésteres.
- 3) *Adhesivos de fijación química.* Se usan en aplicaciones estructurales sujetas a esfuerzos elevados o condiciones adversas e incluyen elastómeros y termofijos que reaccionan químicamente.

Aspectos del proceso de adhesión

La unión por adhesivos frecuentemente produce uniones que son mejores en servicio y más económicas que las logradas por sujetadores convencionales.

<i>Agente de fijación</i>	<i>Forma del adhesivo y requerimientos de fijación</i>	<i>Observaciones</i>
Calor	Se fijan desde la temperatura ambiental hasta 250 [°C]. Se consiguen en todas las formas físicas, aunque la rígida es la más común	La fuerza en la unión se puede incrementar con tratamientos caloríficos para cualquier adhesivo
Presión	Las presiones de fijación varían desde el contacto hasta la aplicación de presiones elevadas con elementos auxiliares. Se encuentran físicamente en todas las formas, principalmente en polvo y en líquido.	La presión favorece la unión dejando películas delgadas de adhesivo. Tienen gran fuerza cuando se utilizan estructuralmente.
Tiempo	El tiempo de fijación puede ser de 30 minutos a 24 horas. Los períodos de tratamiento pueden fluctuar de segundos a semanas. Estos adhesivos se consiguen en todos los estados físicos.	Depende de la temperatura y la presión aplicados.
Catalizadores químicos	Existe una gran variedad de catalizadores químicos para adhesivos termofijos y elastómeros. Las formas generales constan de dos componentes, líquidos o pastas, los cuales requieren premezclado.	Se requieren temperaturas de 120 [°C] y aplicación de presión.
Vulcanización	Son adhesivos elastómeros que se tratan con la adición de un agente químico como catalizador. Las fórmulas con dos partes líquidas son las más comunes.	Algunos tipos requieren temperaturas de hasta de 170 [°C] para iniciar la vulcanización.

Tabla 3.2. Clasificación de los adhesivos por su acción de fijación

<i>Agente de fijación</i>	<i>Forma del adhesivo y requerimientos de fijación</i>	<i>Observaciones</i>
Reactivación	Son adhesivos termoplásticos o elastómeros que a veces requieren solventes o calor para licuar el adhesivo. Este proceso se aplica a películas secas.	La mayor fuerza se obtiene con activación calorífica donde se involucran sustratos impermeables

Tabla 3.3. (continuación) Clasificación de los adhesivos por su acción de fijación

<i>Categoría</i>	<i>Tipos representativos</i>	<i>Forma física</i>	<i>Propiedades de la unión</i>	<i>Materiales por unir</i>	<i>Aplicaciones</i>
Naturales	Dextrina, almidón, gomas de pescados, y otros animales, caseína, shellac, bálsamo canadiense y gomas	Solventes, emulsiones, pastas, sólidos y polvo	Tienen poca fuerza, buena resistencia al calor y a los agentes químicos	Propósitos domésticos, empaque industrial, ensambles rápidos	Papel, empaques, textiles, madera, algunos plásticos y metales

Tabla 3.4. Clasificación química de los adhesivos

1. *Diseño de la unión.* Generalmente las demandas de diseño para las piezas pegadas son diferentes que para las uniones mecánicas.

El diseño de las uniones para adhesivos es generalmente cuestión de sentido común, y para obtener mayor fuerza y eficiencia en la unión deben observarse estos puntos:

- a) Poner a trabajar la máxima cantidad de área por unir en contribución con la fuerza de la unión.
- b) Emplear una geometría favorable para el diseño de la unión.

Normalmente los tipos de esfuerzo que la pieza va a soportar son de tensión, torsión y tracción; de acuerdo con estos esfuerzos deberá diseñarse la unión.

2. *Selección del adhesivo.* El diseñador no deberá aventurarse a elegir de uno a otro adhesivo sin antes consultar a los fabricantes de adhesivos, quienes serán los más idóneos para dar a conocer los diversos productos y su compatibilidad con los materiales de construcción. Los adhesivos nunca trabajan como materiales independientes, pero forman parte integral de la unión; afectan y son afectados por las superficies en contacto y su buen funcionamiento depende también del medio ambiente. No existe una regla para un adhesivo en una formulación aunque sean del mismo tipo.

La definición del problema de unión es un paso esencial en la selección de un adhesivo para una aplicación dada. Las siguientes tablas de factores a considerarse al seleccionar un adhesivo, pueden ser de gran ayuda al diseñador en sus pláticas con el especialista. En la primera se tratan factores de diseño y en la segunda la

compatibilidad entre adhesivos y adherendos.

<i>Factores de diseño</i>	<i>Consideraciones detallados</i>
Requerimientos del ensamble	Pegado; sellado; aislamiento, desarrollo o aplicaciones de producción; reparación y mantenimiento
Método de aplicación	Manual o por máquina; cepillo, cilindro extrusor; aerosol; por inmersión
Diseño de la unión	Tipo de esfuerzo; área por pegar y número de ensambles
Condiciones de servicio	Calor, frío; agua, humedad, químicos; radiación; riesgos biológicos

Tabla 3.5. Factores a considerarse al seleccionar un adhesivo

3. *Preparación de la superficie.* La fuerza de la unión depende de la fuerza con la que los adhesivos y adherendos se unen y del área de las superficies por pegar. La adhesión ocurre entre una región interfacial de dimensiones moleculares donde el adhesivo se encuentra con el adherendo y puede reducirse donde hay espacios con poco adhesivo o contaminación. Esto quiere decir que las superficies por pegar deben ser limpiadas o modificadas antes de la unión. La preparación de las superficies puede ser crítica para la

durabilidad de la unión aunque la fuerza inicial de unión sea satisfactoria.

El primer paso es ver que la superficie por unir no tenga polvo, mugre, grasa, mezclas, productos corrosivos y otros contaminantes. Se debe revisar la uniformidad de la superficie. Después del proceso inicial de limpieza, las uniones metálicas llevan generalmente un tratamiento químico para quitar residuos de oxidación u otras impurezas. Los procesos químicos y electromecánicos son generalmente más económicos y producen superficies más uniformes. Finalmente se le da a la superficie un tratamiento con agua purificada.

Para las superficies plásticas, también se necesita una preparación ya que se consideran entre los materiales difíciles de unir. Además de la texturización de la superficie por abrasión para aumentar la adhesión mecánica, los tratamientos para plásticos están relacionados con quitar los contaminantes y residuos de la superficie. La superficie de los plásticos tiene menor energía que la del vidrio y metales y esto a menudo evita que se moje lo suficiente para una buena adhesión. Generalmente se usan solventes para lograr buenas uniones, aunque también por abrasión se logra preparar la superficie.

Algunos materiales presentan más dificultades para ser pegados y para ellos se usan métodos diversos:

- I. Abrasión para quitar residuos adheridos a la superficie.
- II. Tratamientos químicos para oxidar la superficie o producir texturización microscópica.

- III. Activación con iones gaseosos en una descarga eléctrica.
- IV. Oxidación por exposición a las flamas.

Los materiales termoplásticos con frecuencia se pueden unir con alguno de sus propios solventes para formar su propio adhesivo. El proceso usual es el de mojarlos superficialmente hasta que hayan absorbido el solvente y juntarlos para que se fusionen.

Técnicas de aplicación de los adhesivos

El método de aplicación del adhesivo al adherendo es muy importante para lograr buenas uniones. Generalmente se aplica en una capa uniforme y las películas adhesivas simplemente se colocan entre las superficies por unir. Los adhesivos líquidos generalmente usan los siguientes métodos:

Cepillado. No se usa para trabajos de producción rápida ya que el grosor de la aplicación es limitado.

Por fluido. Se usan pistolas de presión para adhesivos solventes o tipos fusionales que extruyan el adhesivo en el área por unir. Hay mayor control sobre el material de aplicación y en trabajos pequeños se usan jeringas hipodérmicas.

Rolado. Se usan cuando hay trabajo de laminación. El adhesivo se aplica por medio de un cilindro parcialmente sumergido en él. Se utiliza para hojas o láminas grandes.

Aerosol. Se pueden rociar solventes de poca viscosidad con un equipo parecido al de pintar. Da mejor acabado que el cepillado o el método por fluido; pero debe tenerse buena ventilación para evitar intoxicaciones y otros problemas a la salud.

Para finalizar, en este capítulo se vieron los fundamentos del diseño mecánico, así como todos los pasos a seguir para diseñar un elemento. Así mismo, se explicó la teoría de resistencia de materiales, viendo algunas características importantes de los esfuerzos mecánicos.

También se trataron las deformaciones por falla que llegan a tener las carrocerías y cómo es que se pueden seleccionar los materiales para la fabricación de las mismas y por último, algunos sistemas de unión para su ensamble.

En el siguiente capítulo, entraremos en el tema de modelado geométrico asistido por computadora, en donde se aplicarán parte de los conceptos vistos anteriormente, para posteriormente, realizar los análisis que son necesarios aplicar en este trabajo de tesis.

Modelado geométrico asistido por computadora

4.1 Modelado geométrico

Un modelo es una idealización de una situación real, que ayuda al análisis de un problema y son muy empleados en la ingeniería.

Un modelo puede ser de dos tipos: descriptivo y predictivo. Un modelo descriptivo nos permite entender un sistema o fenómeno del mundo real; sirve para comunicar ideas e información, sin embargo, esto no es suficiente para producir el comportamiento de un sistema. Un modelo predictivo es usado principalmente en ingeniería de diseño porque ayuda a entender y a predecir el comportamiento de un sistema.

La solución de los modelos geométricos requiere de la aplicación de técnicas matemáticas, sin embargo, sólo los modelos más simples pueden ser resueltos con los métodos analíticos clásicos. El extenso uso de las computadoras digitales ha tenido un gran crecimiento y son usadas para el modelado matemático. El uso de los métodos numéricos para resolver problemas y la facilidad con la cual los procedimientos iterativos pueden probar muchos estados específicos de un modelo, han hecho que la simulación por computadora sea una poderosa herramienta para la ingeniería de diseño.

El modelado geométrico constituye la primera fase de entrada y visualización de objetos en dos y tres dimensiones (2D y 3D respectivamente). Este proceso de diseño geométrico da la forma del objeto final y constituye una parte importante de los sistemas CAD actuales. A partir del modelo geométrico del sistema que el diseñador está estudiando, se puede establecer la comunicación y el intercambio de archivos hasta otros programas tales como programas para análisis por elementos finitos, programas para manufactura o programas que permiten integrar a la geometría característica como

acabados superficiales y otros efectos foto realistas. Aunque se pueden realizar diseños mecánicos trabajando en 2D, y aunque este tipo de dibujo tradicional con vistas y cortes tiene sentido en una variedad de situaciones, las tecnologías interesantes se encuentran en el trabajo de 3D, específicamente en el modelado sólido y en el modelado paramétrico.

Existen diferentes métodos de modelado que pueden realizarse con un sistema CAD:

- 1) Modelado en alambre
- 2) Modelado en sólidos
- 3) Modelado paramétrico
- 4) Modelado híbrido
- 5) Modelado en superficies

1) Modelado en alambre.

Uno de los métodos es el llamado modelado en alambre, que tal vez sea el más sencillo. En él, la computadora dispone de las coordenadas en el espacio de todos los vértices de un cuerpo, junto con la información de qué pares de vértices se encuentran unidos mediante aristas.

Mediante sencillas transformaciones geométricas de proyección, se puede obtener cualquier vista del objeto, sin embargo, este modelo tiene la desventaja de ser ambiguo, es decir, el modelo en sí corresponde a más de un sólido real, y no permite la producción de secciones y vistas con eliminación de partes ocultas. Por lo anterior, es poco utilizado en sistemas avanzados de diseño, pero para aplicaciones muy sencillas, es muy recurrido porque es muy rápido.

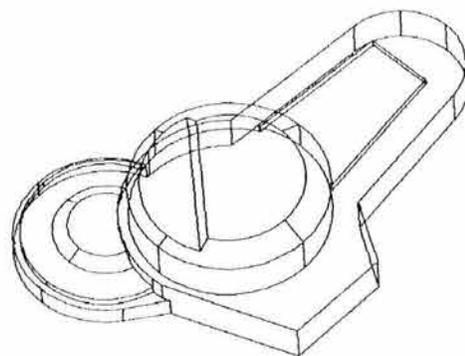


Fig. 3.1. Modelo en alambre

2) Modelado en sólidos

El modelado en sólido tiene como objetivo representar objetos tridimensionales de tal forma que pueden manipularse como objetos reales, y no como una colección de superficies; fue desarrollado debido a que la representación tridimensional de la superficie del objeto era insuficiente para poder efectuar operaciones booleanas (suma, resta e intersección de objetos) análogas a las usadas en la manufactura o concepción del diseño.

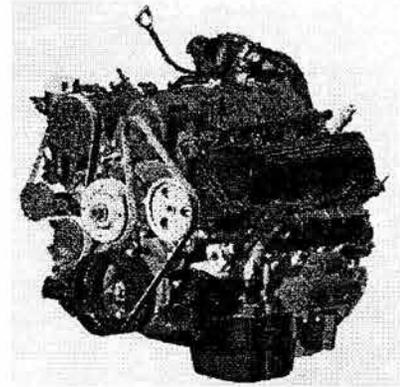


Fig. 3.2. Modelado en sólido

Un modelo sólido de un objeto por lo general incluye la descripción completa, tanto de su superficie como de su volumen, y describe los diversos elementos de su composición en términos de componentes discretos como prismas, cilindros, conos etc. Actualmente hay dos formas principales de representar un modelo sólido en una computadora. Una se conoce como CSG, por sus siglas en inglés (Geometría de Sólidos Constructivos) y el otro como B-Rep (Representación de Bordes).

1. **CGS.** En este tipo de modelado, se definen una serie de elementos llamados primitivos, los que se combinan mediante operaciones booleanas para formar partes complejas. Dependiendo del sistema de CAD en particular, pueden haber elementos primitivos definidos, pero todos los sistemas CSG poseen entidades básicas como esferas, prismas, cilindros, conos, etc. (fig 3.3)

Los sistemas CSG tienen varias ventajas: el diseño de objetos es muy natural ya que las operaciones involucradas se asemejan a operaciones de manufactura. Además de su relación con operaciones de manufactura, la metodología CSG se relaciona con aplicaciones de ingeniería. Estos sistemas son naturalmente aptos para detectar la interferencia entre los objetos, o crear moldes para manufactura.

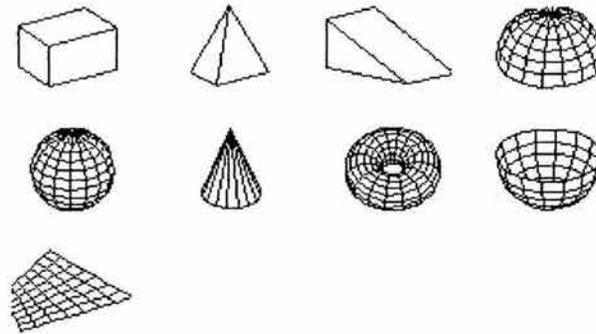


Fig. 3.3. Elementos primitivos

2. **B-Rep.** Mantienen una descripción completa de todas las superficies que delimitan el objeto. También mantienen la información sobre la geometría del objeto en una estructura de datos que contiene dos partes principales: la información geométrica y la topología. La primera consiste en las descripciones de superficies, curvas y puntos que definen al objeto, y es hasta cierto punto similar al tipo de información sobre la relación entre los elementos descritos geoméricamente, de manera tal que el modelador B-Rep posee la información necesaria para delimitar el objeto.

3) Modelado paramétrico

Hablando estrictamente, la capacidad para modelar paramétricamente una parte o un ensamble, es independiente de su representación en dos o tres dimensiones. Un modelador paramétrico permite que el usuario genere partes o ensambles cuyas dimensiones son paramétricas, es decir, las dimensiones de los diversos elementos pueden estar definidas matemáticamente en términos de otras dimensiones o de variables, y se pueden establecer relaciones geométricas que el modelo debe respetar.

Las relaciones geométricas en un modelo paramétrico involucran relaciones como paralelismo, perpendicularidad u otro tipo de relación, entre elementos de una parte o de varias partes de un ensamblaje. Los modelos paramétricos sirven para que el diseñador pueda crear familias de partes o ensambles a partir de un modelo base, o para que

pueda optimizar las características de un diseño particular. En proyectos donde se aplican los principios de la ingeniería concurrente, una de las ventajas fundamentales de los sistemas paramétricos es: la actualización automática de todas las partes del modelo cuando se efectúa un cambio en cualquiera de ellas.

4) Modelado híbrido

Normalmente, un modelador híbrido está basado principalmente en un modelo CSG al cual se le agrega información B-Rep. De esta forma, se pueden agregar superficies complejas, como las superficies o curvas NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), figura 3.4, a modelos CSG, liberándolos de la rigidez que imponen los primitivos habituales de este tipo de sistema. Las superficies o curvas NURBS que pueden ser concebidas como superficies hechas de algún material elástico que no se arruga, son ideales para describir geometría como las comúnmente encontradas en el rubro de los productos de consumo aeronáutico y automotriz.

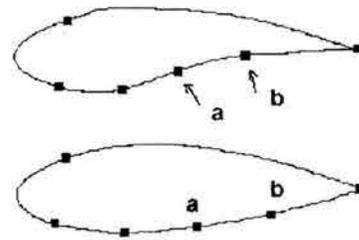


Fig. 3.4. Curvas Nurbs y puntos de control

5) Modelado en superficies

Un modelo en superficie se define en términos de puntos, líneas y caras. Se puede considerar como un modelo de nivel más alto que los modelos de alambre y consecuentemente resulta más versátil.

Las ventajas concretas de la modelización de superficies son:

- a) Capacidad para reconocer y visualizar perfiles curvados complejos.
- b) Capacidad para reconocer caras, proporcionando por consiguiente, facilidades de sombreado de superficies en 3D.
- c) Capacidades para reconocer características superficiales, tales como orificios.

- d) Capacidades para visualizar simulaciones de cortes de herramientas en 3D, en operaciones de máquinas multi-axiales y formas complejas.
- e) Facilidad mejorada de simulación de robots.

Tipos de superficie

Geometría básica

Se pueden crear fácilmente superficies planas mediante el dibujo de líneas rectas y la introducción de un comando que “barra” una línea idéntica a lo largo de una distancia específica en el espacio de 3D. (fig. 3.5)

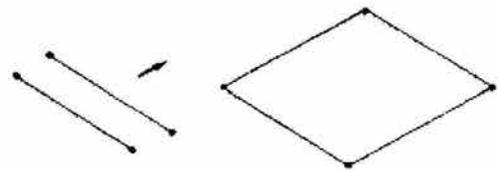


Fig. 3.5. Formación de una superficie plana por barrido

De forma similar, se pueden generar superficies cilíndricas y cónicas barriendo círculos o arcos a través del espacio de 3D. (fig. 3.6)



Fig. 3.6. Formación de una superficie curvada por barrido

También se pueden barrer áreas dentro de objetos de 3D tal y como muestra la figura 3.7. Sin embargo, se debe señalar que el sistema de modelado no reconoce la vista resultante como un volumen sólido, sino como siete superficies planas reunidas en el espacio de 3D que contornean un interior “vacío”.

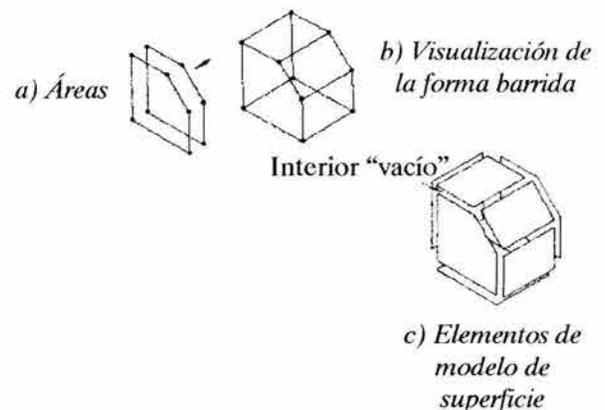


Fig. 3.7. Formación de un objeto en 3D por barrido de una superficie

Superficies de revolución

Se pueden crear fácilmente controlando la rotación de una forma plana ya creada sobre un eje definido (este proceso puede considerarse como un barrido rotacional). Debe recordarse que solamente se generan áreas de superficie y no volúmenes. (fig. 3.8)

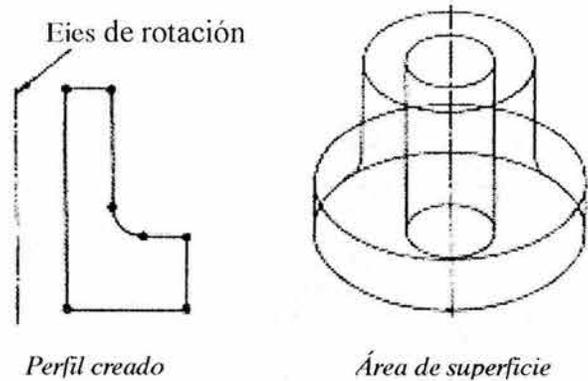


Fig. 3.8. Superficies de revolución

Ocultaciones e intersecciones

La ocultación es una de las técnicas más útiles en la modelización de superficies. También, como se definen superficies, es posible establecer la intersección de dos caras. La figura 3.9, muestra cómo se puede crear una unión achaflanada entre superficies cuadradas y cilíndricas, mediante la proyección de curvas tangenciales al cuadrado, para generar una curva de interpenetración automática sobre la superficie del cilindro.

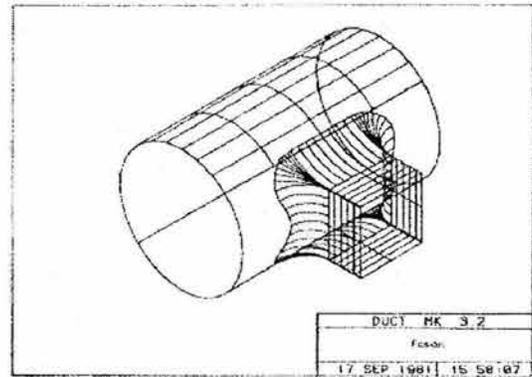


Fig. 3.9. Superficie fundida (Delta Computer Aided Engineering)

Analíticas

Las superficies analíticas se definen mediante una simple ecuación matemática en términos de coordenadas X , Y y Z . Los perfiles se visualizan según su ley matemática y una superficie automáticamente generada sobre ellos.

Esculpido

Conocido también como “forma-libre” o “discrecional”, estas superficies no se corresponden con una simple ecuación matemática. En su forma más básica se crean

visualizando curvas tangenciales longitudinales entre puntos definidos en el espacio de 3D. (fig. 3.10.).

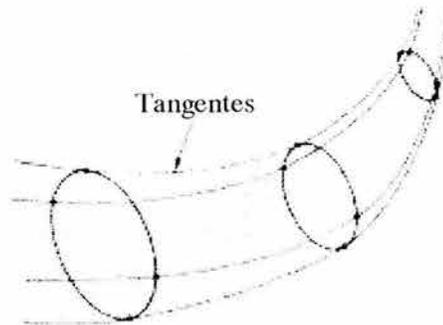


Fig. 3.10. Superficie esculpida

Los modelos de superficie esculpida se utilizan ampliamente en el diseño y fabricación de carrocerías de automóviles, fuselajes de avión, hélices rotorias, etc.

Principios de definición de superficies compuestas

Los modeladores de superficies avanzados pueden definir totalmente una superficie compuesta considerada como formada por una red de cuadriláteros “curvados” limitados por líneas transversales y longitudinales (fig. 3.11)

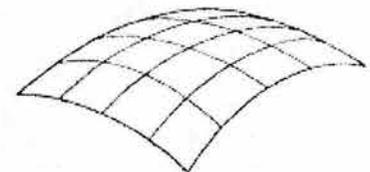


Fig. 3.11. Red de contornos sobre una superficie

La forma de cada cuadrilátero se denomina rectángulo topológico (o sea, cuatro lados que no son necesariamente rectos ni perpendiculares). Los límites de los cuadriláteros forman curvas continuas, obteniéndose superficies lisas a través de la red. Se emplea la interpolación para definir la superficie interior de cada cuadrilátero curvo. La superficie curvada se puede visualizar sobre una pantalla mediante curvas tangenciales entre puntos, o creando un esquema poliédrico al que el sistema aproxima automáticamente una superficie curvada lisa. (fig. 3.12)

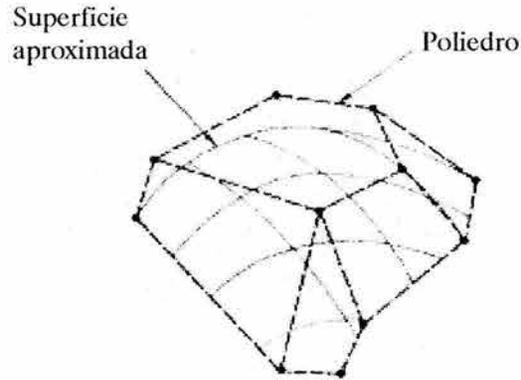


Fig. 3.12. Construcción de una superficie de contornos

Diseño de curvas

En todos los métodos de diseño de curvas se sigue el siguiente algoritmo interactivo:

- i) Se introducen un conjunto de puntos que permiten definir la forma de la superficie. La computadora calcula la ecuación matemática de una curva o un conjunto de curvas que se adapta a los puntos introducidos. Algunos de los métodos generan curvas que pasan (interpolan) por los puntos que son introducidos, mientras que en otros, los puntos iniciales sólo sirven para controlar la forma de la curva.
- ii) A partir de esta ecuación matemática, se calcula un conjunto suficientemente elevado de puntos de la curva y se dibuja en pantalla. Realmente, lo que se genera es el dibujo de una poligonal suficientemente fina, que no se distingue de la curva deseada y que puede aproximarse a ella todo lo que se desee, calculando un número suficiente mente elevado de puntos.
- iii) Si la forma de la curva no es la deseada, los sistemas de diseño permiten la modificación interactiva de la posición de alguno de los puntos iniciales. La variación de un solo punto afecta a la forma de toda la superficie, y los métodos locales en que sólo se modifica la zona de curva cercana al punto trasladado.

Los diseños de curvas más utilizados en la actualidad son:

- *Curvas Bezier*: está formada por varios segmentos, que pueden ser curvos o rectos. La curva puede ser abierta o cerrada.
- *Curvas Splines cúbicos*: son trozos de curvas polinomiales, que se construyen conectando polinomios de indeterminado grado, guiadas por una secuencia de puntos.
- *Curvas B-spline*: es el spline más empleado, debido a que proporciona un excelente ajuste a los puntos tabulados y su cálculo no es excesivamente complejo.

Diseño de superficies

Obtención de superficies a partir de un perfil curvado

Una vez obtenido un perfil curvado por alguna de las técnicas expuestas anteriormente, es posible generar superficies por técnicas de barrido similares a las expuestas en el apartado de modelado geométrico. Si el barrido consiste en la revolución del perfil alrededor de un eje, se obtienen diseños como el que se presenta en la figura 3.13.

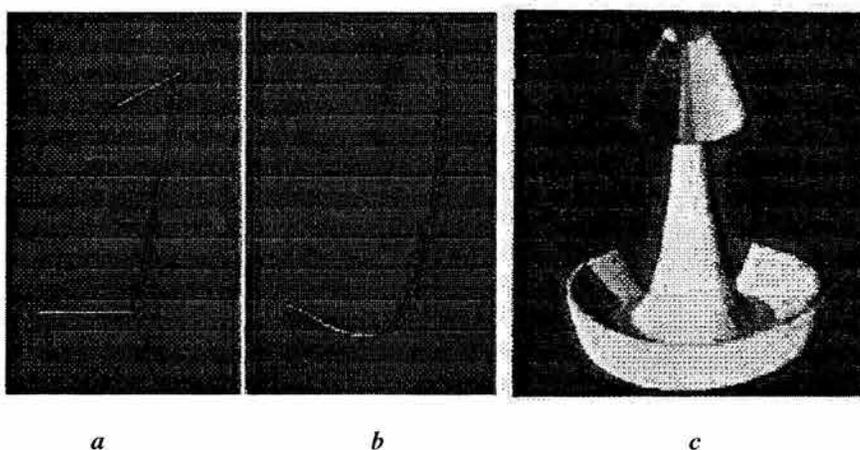


Fig. 3.13. Generación de un objeto de revolución; a) poligonal que une los cinco puntos ingresados por el usuario; b) spline cúbico global que interpola estos puntos; c) superficie obtenida por revolución del perfil representada con simulación de iluminación

En esta figura, no obstante, y en la mayoría de los sistemas existentes, el objeto generado está constituido por un conjunto suficientemente elevado de pequeñas caras, que aproxima de forma aceptable la superficie teórica de revolución que se deseaba obtener. Estas caras, que según la precisión pueden ser planas o bicúbicas, se van incorporando al modelo de fronteras final del objeto. Por otra parte, existen los sistemas que no almacenan caras, sino la expresión analítica del spline que forma la superficie de revolución. En este caso, la discretización debe realizarse cada vez que es necesario efectuar una representación gráfica de la superficie.

Otra operación que puede realizarse con el perfil generado es la de barrido de traslación. De esta forma, se pueden generar superficies tubulares de eje rectilíneo, o incluso de eje curvado, si se impone que la traslación se realice a lo largo de una segunda curva diseñada con anterioridad.

Finalmente, es posible obtener superficies por interpolación entre dos o más perfiles curvados. En el caso de dos perfiles, la computadora genera la superficie intermedia por interpolación lineal entre los extremos; el resultado final podría ser, por ejemplo, un conducto de unión entre dos aberturas de distinta forma. En el caso de dos o más perfiles, ya no es posible la interpolación lineal, que produciría cambios bruscos de pendiente en la superficie final. La solución más extendida, es la utilización de splines cúbicos (globales o locales, según la aplicación) para generar las curvas longitudinales que unen los puntos homólogos de los distintos perfiles.

Superficies generadas a partir de una malla de puntos en el espacio

En el caso en que se deseen construir superficies más complejas que las anteriores, se deben introducir un número suficientemente elevado de perfiles, para especificar de forma correcta la forma deseada de la superficie final. Si suponemos un conjunto de m perfiles, cada uno definido por n puntos, el sistema dispone en total de una malla de $n \cdot m$

puntos para la generación de la superficie. Existen varios procedimientos para la obtención de la superficie a partir de la malla de puntos:

- Una vez generadas, por interpolación con splines cúbicos, las curvas correspondientes a los m perfiles en sentido longitudinal y a los n perfiles en sentido transversal, puede “llenarse” cada uno de los trozos rectangulares de la malla con una superficie que se adapte a sus fronteras.
- Puede utilizarse un método de interpolación bidimensional basado en splines cúbicos o locales. En esta caso (camino a o b de la fig. 3.14), la superficie cumple las mismas propiedades que tenía en el diseño de curvas: pasa por todos los $n \cdot m$ puntos de la malla; en el caso de splines cúbicos globales, la superficie es suave, pero su comportamiento no es local: la modificación de uno solo de los puntos de la malla afecta a la forma de toda la superficie. En el caso de utilización de splines cúbicos locales, se consigue un comportamiento local por lo que respecta a las modificaciones, a costa de una menor continuidad, y por tanto suavidad, de la superficie diseñada. Los aspectos matemáticos del proceso de cálculo, se obtienen por generalización inmediata del caso unidimensional.
- En cambio puede utilizarse, una interpolación bidimensional con B-splines. En esta caso, que correspondería al camino d y e de la figura 3.14, la superficie obtenida no pasa por los puntos de la malla que ha suministrado el usuario. Estos puntos en realidad constituyen los vértices de control, que modelan la forma de la superficie interpolante. Aunque este método permite modificaciones locales y conduce a superficies suaves, de curvatura continua, tiene el grave inconveniente de no interpolar los puntos iniciales.
- Finalmente, puede utilizarse un método híbrido entre los anteriores, que queda representado por el camino d , c , e en la figura 3.14. Se introduce la matriz de puntos de paso en el espacio (normalmente, el proceso de entrada de esta matriz será perfil a perfil e interactivamente en una terminal gráfica). En el

siguiente paso, el sistema calcula automáticamente (resolviendo un sistema lineal de $n \cdot m$ ecuaciones con $n \cdot m$ incógnitas, mediante dos productos matriciales) la matriz de vértices de control tal que, interpolando con B-splines, dará lugar a una superficie que pasa por la malla inicial de puntos introducida. Dado que ahora se dispone a la vez del conjunto de puntos de paso y del de vértices de control, es posible, en la fase posterior de modificaciones interactivas, cambiar alguno de los primeros o de los segundos. Evidentemente, si lo que se modifica es la posición de un vértice de control, el cambio en la forma de la superficie quedará localizado.

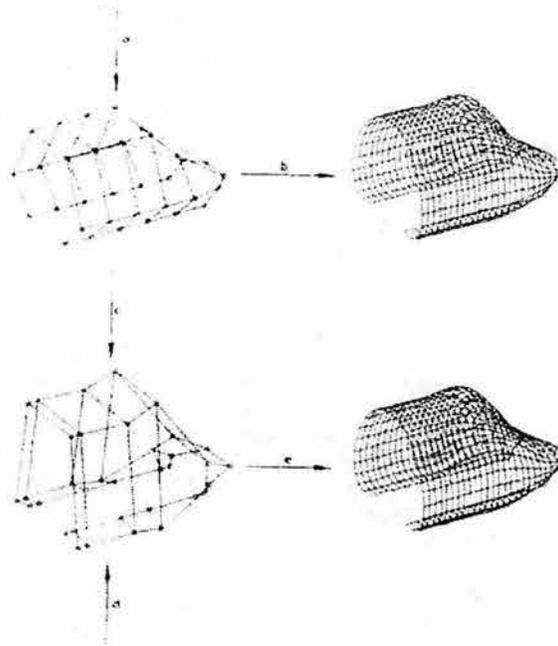


Fig. 3.14. Distintos métodos existentes para el diseño de una superficie a partir de una malla de puntos.

Operaciones con trozos bicúbicos

Cualquiera de las superficies contiene un conjunto de trozos cuadrangulares de ecuación bicúbica, que conectan adecuadamente (con continuidad C^1 o C^2) entre sí. Cada uno de estos trozos viene determinado por un conjunto de 16 vértices de control o bien posiciones y derivadas en los 4 puntos extremos.

El hecho de disponer de la ecuación independiente de cada uno de los trozos bicúbicos que forman la superficie, permite su posterior tratamiento, edición y modificación:

- a) Si se observa que la superficie obtenida no es suficientemente suave y posee ondulaciones (existen fundamentalmente dos métodos para detectar estos defectos en la superficie final, o bien, se simula su iluminación y se analizan posibles cambios de gris o de color, o bien se representan gráficamente las líneas de igual curvatura gaussiana), existen algoritmos para la modificación automática de algunos parámetros de la superficie con el fin de aumentar su suavidad.
- b) La existencia de algoritmos de subdivisión de splines cúbicos generalizables al tratamiento de superficies, permite partir un trozo bicúbico en un conjunto de trozos menores que se apoyan completamente sobre él. (fig. 3.15a).
- c) De la misma manera, es posible generar un segundo trozo bicúbico desplazado en la dirección de la norma a cada punto del primero (fig. 3.15b). El espesor entre ambos trozos, si su curvatura no es excesivamente elevada, será sensiblemente constante. Este algoritmo permite generar sólidos tridimensionales a partir del diseño de su superficie exterior, o interior.
- d) Dados dos trozos bicúbicos, puede generarse automáticamente uno o varios trozos de unión que conecten con ellos con pendiente continua. Esto permite completar diseños de carrocerías, por ejemplo, generados por trozos. (fig. 3.15c).
- e) Puede sustituirse un trozo bicúbico por otro más pequeño, y no necesariamente en el mismo plano, generando automáticamente 8 trozos de unión que conectan de forma suave el contorno del trozo reemplazante con los adyacentes al que se ha suprimido. (fig. 3.15d).
- f) Puede generarse un agujero en un trozo bicúbico, diseñando primero la forma de su contorno, dividiendo luego este contorno en un conjunto de cúbicas (4 en

la fig. 3.15e), y generando finalmente los 8 trozos alrededor del agujero que sustituirán al inicial, de forma idéntica al proceso que se seguía en la figura 3.15a.

- g) Finalmente, pueden generarse trozos triangulares o pentagonales para conectar tres trozos bicúbicos con distinta orientación en el espacio, en su vértice común. También puede optarse por una suavización posterior de la unión de varios trozos bicúbicos con aristas de pendiente discontinua.

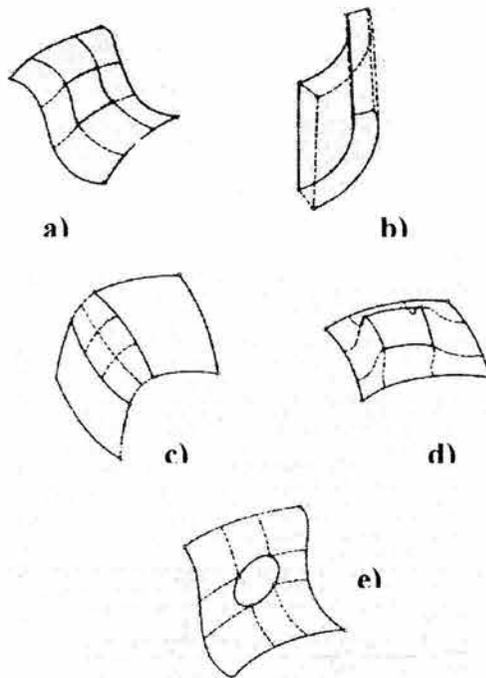


Fig. 3.15. Operaciones con trozos bicúbicos: a) reducción y partición en 9 trozos; b) traslación en cada punto según el sentido de la normal; c) unión de dos trozos; d) sustitución de un trozo por otro más pequeño conectado a su frontera; e) creación de un agujero

Limitaciones de la modelización de superficies

A pesar de los muchos atributos y de las actuales ventajas de la modelización de superficies, existe aún un cierto número de limitaciones que solamente pueden superarse utilizando modelos sólidos. Estas limitaciones incluyen:

- I. No compresión de modelos sólidos, produciéndose ambigüedades.

- II. Algunos modelos de superficies obtienen datos de volúmenes no fiables en función de la precisión de la definición de superficies.
- III. No pueden borrarse con facilidad líneas ocultas, ni se pueden visualizar secciones internas.

A pesar de las limitaciones anteriores, el modelado de superficies continuará siendo la técnica más adecuada para aplicaciones particulares en un futuro a corto plazo.

Aplicaciones del diseño de superficies

A continuación se presentan algunas aplicaciones del diseño de superficies con las técnicas expuestas. En todas ellas, aparte de la facilidad de generación de planos, cálculo de propiedades del objeto diseñado y posible conexión a un sistema de fabricación asistida, existe la gran ventaja de que el diseño es interactivo y que la modificación de alguna de sus partes se efectúa simplemente cambiando la posición de determinados puntos de control.

El diseño de casco de buques, se basa en un primer diseño (a partir de ciertos parámetros introducidos) de determinados perfiles básicos que determinan la forma final: la sección de planta, del casco, a la altura de la línea de flotación y en su parte más elevada; el perfil en el alzado del casco; y el área transversal deseada en función de la coordenada longitudinal. A partir de estas primeras curvas, el sistema genera automáticamente un conjunto de secciones transversales que definen la forma del casco, y finalmente, una interpolación cardinal de éstos genera la superficie final.

En lo que respecta al diseño de la industria del automóvil, fundamentalmente su carrocería, el paquete *Unisurf*, basado en curvas y superficies de Bezier, es usado principalmente en Renault y Citroën. Otras empresas, como Mercedes-Benz, Opel y Volkswagen, utilizan de forma combinada las superficies generadas con B-splines, trozos

bicúbicos que interpolan una malla de puntos y superficies de Bezier. Todos estos sistemas ofrecen posibilidades de edición de superficies, generación de superficies de unión y diseño de agujeros y aberturas.

Actualmente el modelado e superficies constituye la opción más adecuada en algunas aplicaciones tales como diseño y fabricación de superficies curvas complejas, como pueden ser las carrocerías de automóviles.

4.2 Análisis de Elementos Finitos

La utilización de tecnologías de cálculo y análisis por el método de elementos finitos se ha implementado con el objetivo de reducir el ciclo de diseño de un producto, además de verificar su forma, para comprobar que cumpla con todas las especificaciones de diseño y seguridad preestablecidas. A continuación se explican los conceptos más importantes.

Modelo de cálculo

La etapa inicial de un proceso de CAD es la definición de un modelo geométrico del diseño inicial a partir del cual se obtienen los datos necesarios para analizar su comportamiento. El modelo geométrico puede ser más o menos complejo, en función de la dificultad que presente la geometría real del diseño o de la capacidad informática disponible. Los modelos representan simplificaciones de la geometría real y son la base para la definición de los datos de cálculo, como las mallas de elementos finitos.

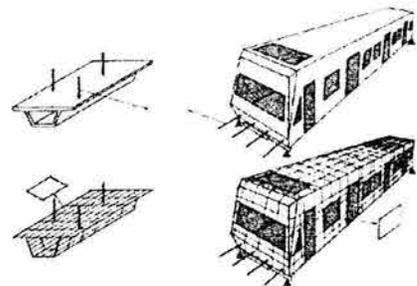


Fig. 3.16. Modelos geométricos. Mallas de elementos finitos para el análisis

Los modelos geométricos del diseño se les denomina *sistema*. Entonces, la finalidad del modelo de cálculo es obtener la respuesta del sistema al ser sometido a una serie de perturbaciones llamadas *acciones*. Los sistemas se pueden dividir en *sistemas discretos* y *sistemas continuos*.

- *Sistemas discretos*

Son aquellos sistemas compuestos por una serie de elementos diferentes, físicamente diferenciables, conectados por sus extremos o nodos formando una malla y sometidos a una serie de acciones generalmente externas al sistema.

Los modelos de cálculo de CAD más corrientes para análisis de sistemas discretos utilizan técnicas de cálculo matricial. En algunos casos particulares es posible obtener una representación analítica de la respuesta del sistema, lo que simplifica notablemente los cálculos. Se pueden considerar sistemas discretos a todas las estructuras de barras, como celosías, entramados de edificación, etc., así como también, las redes eléctricas e hidráulicas, en los sistemas de organización de transporte y otros. (fig. 3.17)

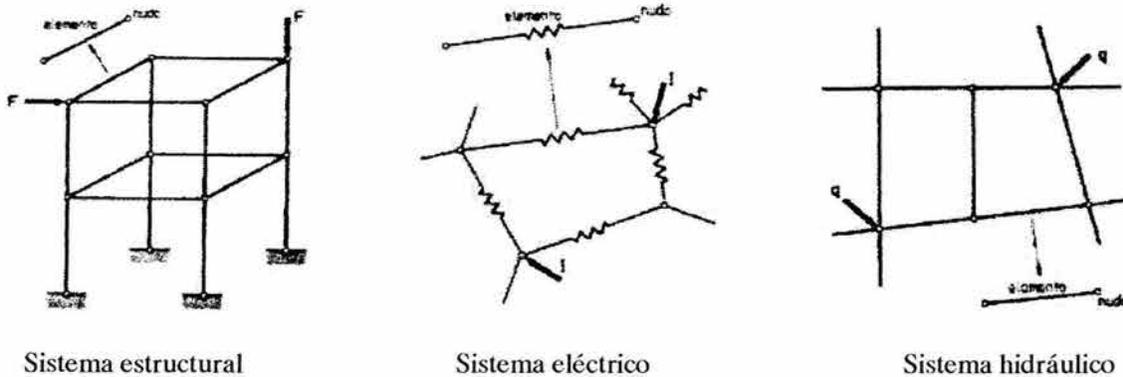


Fig. 3.17. *Sistemas discretos.*

- *Sistemas continuos*

Son aquellos cuyo comportamiento no puede expresarse en forma sencilla en función de un número pequeño de variables discretas. Se tienen muchos ejemplos de dichos sistemas en la ingeniería: se puede considerar que, prácticamente todas las

tipologías estructurales, a excepción de las formadas por elementos de barras corresponden a dicha clasificación (placas, puentes, láminas, presas, etc.) lo mismo ocurre en otras ramas de la ingeniería, como la ingeniería hidráulica, aeronáutica, naval, etc., donde la mayor parte de los problemas de interés práctico tienen un carácter bi o tridimensional y, por lo tanto, continuo. (fig. 3.18)

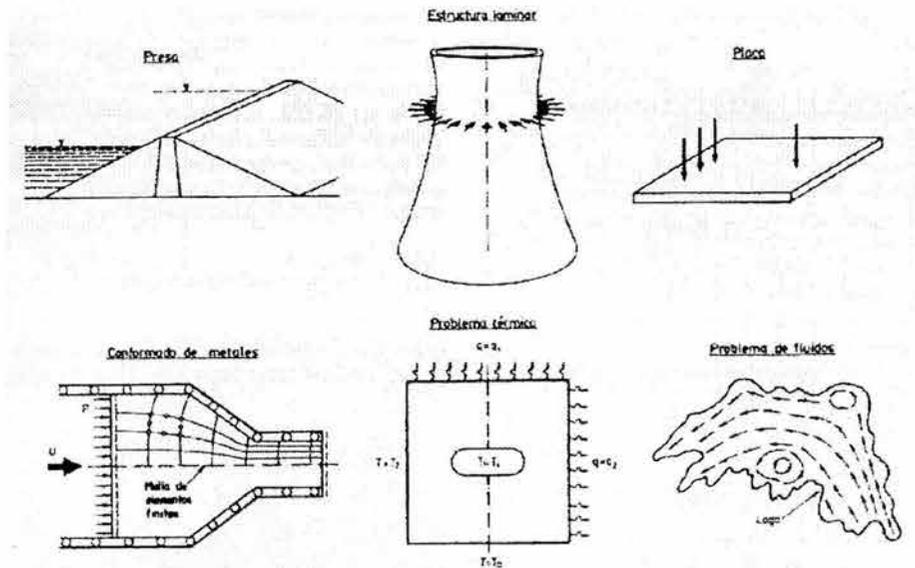


Fig. 3.18. Sistemas continuos.

Dichos sistemas constituyen un alto porcentaje de los problemas reales que intervienen en el diseño de obras o componentes de ingeniería. Esto explica el gran esfuerzo desarrollado en las últimas décadas por elaborar modelos de cálculo eficaces y económicos para su análisis.

Método de Análisis de Elementos Finitos

El Análisis de Elementos Finitos (FEA) constituye una de las técnicas más ampliamente utilizadas para el análisis de características de carga mecánica de modernos componentes de ingeniería. Las técnicas de análisis tradicionales, aunque teóricamente válidas, solamente se pueden aplicar satisfactoriamente a una gama de formas de componentes convencionales y en condiciones de carga específica. Desgraciadamente, la

mayoría de las situaciones de carga en ingeniería no son tan simples ni claras. Por consiguiente, las técnicas tradicionales necesitan con frecuencia modificarse y comprometerse a seguir situaciones para las que no han sido probadas. La incertidumbre que se crea conduce normalmente al diseñador a aplicar factores de alta seguridad excesivos en las cargas mecánicas y a crear componentes “sobre diseñados” que especifican, ya sea secciones transversales o materiales de alta calidad innecesarios, lo que afecta negativamente al costo del producto. FEA le permite al diseñador efectuar análisis de componentes complejos descomponiendo una forma en otras más pequeñas, en simples elementos finitos. Estos elementos se denominan a veces *discretos* y al proceso de generación *discretización* de la forma del componente. Las formas de los elementos típicos se muestran en la figura 3.19.

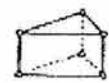
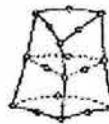
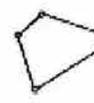
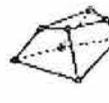
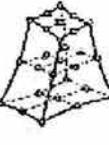
Tipo de elemento	Elemento	Tipo de elemento	Elemento
BE2		PE6	
BE3			
TR3		PE15	
TR6		PE18	
QU4		HE8	
QU7		HE16	
QU8		HE20	
QU9		HE27	

Fig. 3.19. Formas de elementos finitos (discretos) típicas

Los elementos finitos se analizan por sus características de deformación y los resultados se asocian a la estructura total del componente. Cada elemento se limita por puntos denominados nodos. Las líneas que cruzan a través de los nodos y que conforman así la forma del elemento reciben el nombre de *retícula de elementos finitos (FEM)*. (fig. 3.20).

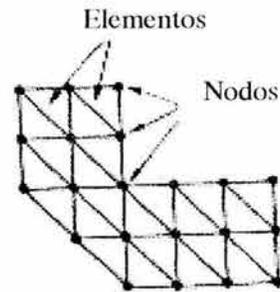


Fig. 3.20. *Retícula de elementos finitos*

Matrices de rigidez

Raramente los componentes de ingeniería están formados, de elementos simples tales como las varillas delgadas anteriormente estudiadas. En áreas y volúmenes, las relaciones entre fuerza y desplazamiento vienen afectadas considerablemente por la geometría del elemento, y no consisten en una simple cantidad tal como el valor de rigidez k . Por consiguiente la matriz de rigidez se debe derivar de un procedimiento algebraico complejo que involucra un cierto número de matrices constituyentes, cada una de las cuales es de una forma altamente avanzada.

La expresión general de la matriz de rigidez se da como:

$$\text{Matriz de rigidez} = V \int (B)'(D)(B)$$

en donde:

(B) = es una matriz que describe la geometría del elemento

(D) = es una matriz relativa a tensiones y deformaciones, que incluye Módulos de Young y valores del radio de Poisson

$(B)'$ = es la matriz transpuesta de (B)

V = es el volumen del elemento

Parámetros del elemento

Los tipos de elementos se pueden describir en términos de:

- Forma.* A través de la posición relativa de sus nodos.
- Grados de libertad.* Posibles direcciones de movimiento de cada nodo.

El número total de grados de libertad en la retícula da el tamaño de la matriz de rigidez. Si consideramos una forma simple de dos dimensiones, tal como el triángulo mostrado en la figura 3.21, ésta podría tener dos grados de libertad en cada uno de sus tres nodos, con lo que resultaría una matriz de rigidez de seis-por-seis. Si este elemento fuese una parte de la forma simple mostrada en la fig. 3.22, los ocho nodos darían una matriz de dieciséis-por-dieciséis.

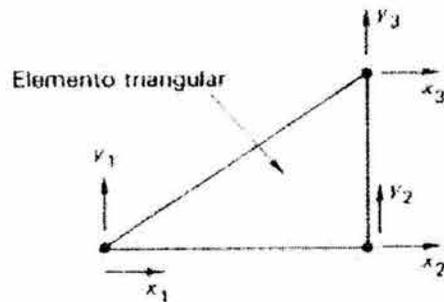


Fig. 3.21. Seis grados de libertad dan lugar a una matriz de seis-por-seis

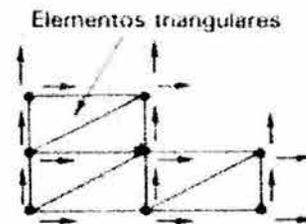


Fig. 3.22. Ocho nodos con dos grados de libertad por nodo dan lugar a una matriz de dieciséis-por-dieciséis

Los cálculos con una matriz de este tamaño supondrían un extraordinario consumo de tiempo y de posibilidades de error. Dado que algunos componentes complejos y algunas condiciones de carga pueden necesitar matrices de rigidez inmensas de muchos miles por muchos miles, se puede apreciar entonces que el uso del FEA para resolver problemas de ingeniería puede llegar a ser prácticamente imposible sin la ayuda de los elementos.

Tipos de elementos

La figura 3.23 lista los tipos más comunes de elementos. Estos se pueden clasificar como:

- 1) *Tipo de varilla o viga.* El caso más simple de este tipo (fig. 3.23-1) era el del primer elemento estudiado en los fundamentos del FEA, con un simple grado de libertad lineal en cada uno de sus dos nodos. Los elementos tipo varilla o viga son, en la práctica, más complejos que éste. En la fig. 3.23-2, se trata de un elemento alabeado de viga típico con dos grados de libertad lineales y uno rotacional por cada nodo. Una variación de esta forma es la varilla curvada que tiene tres nodos por elemento (fig. 3.23-3). Los elementos de varilla o viga se utilizan para el análisis de esquemas de trabajo planos y como contrafuertes en el diseño de un taller de laminación de chapa.

- 2) *Tipo de rigidez plana en 2D.* Estos son figuras planas con secciones transversales uniformes y normalmente dos grados de libertad por nodo. Tienen un espesor regular que se supone que va a ser igualmente desplazado alrededor de cada nodo. Secciones transversales de elementos típicos son el *triangular* (fig. 3.23-4), *cuadrilateral* (fig. 3.23-5) y *parabólica* (fig. 3.23-6). El tipo triangular es el más simple, mientras que los otros dos son elementos de orden más alto y mucho más precisos. Los dos grados de libertad de cada nodo permiten que se apliquen rigideces directamente al área contenida dentro de los espesores regulares, y tensión de desplazamiento al área de la forma del elemento. Los elementos de tensión plana en 2D se pueden emplear en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen tanto sólidos regulares como elementos de chapa de membranas o como estructuras de chapa plana.

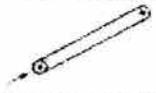
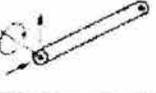
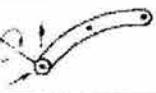
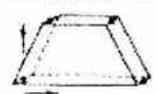
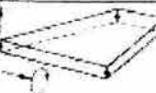
	TIPO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	G.D.L. POR NUDO	G.D.L. POR ELEMENTO
1		Varilla delgada Dos dimensiones Dos nodos	1	2
2		Varilla delgada Tipo alabeada Dos dimensiones Dos nodos	3	6
3		Varilla delgada Tipo alabeada Dos dimensiones Tres nodos	3	9
4		Triángulo Tensiones planas Dos dimensiones Tres nodos	2	6
5		Cuadrilátero Tensiones planas Dos dimensiones Cuatro nodos	2	8
6		Parabólico Tensiones planas Dos dimensiones Cuatro nodos	2	16
7		Triángulo Chapa alabeada Una dimensión Cuatro nodos	5	15
8		Cuadrilátero Chapa alabeada Una dimensión Cuatro nodos	5	20

Fig. 3.23. Algunos elementos más comunes (G.D.L. = grados de libertad)

- 3) *Elementos alabeados de chapa.* Como en el tipo de tensión plana en dos dimensiones, existen elementos planos de espesor regular. Se supone de pared delgada y con tres grados de libertad lineales y dos rotacionales en cada nodo. Esta combinación proporciona un buen modelo en aplicaciones de alabeado de chapa tales como secciones de planta, puente de mando de barcos y losas de cimentación. Los elementos alabeados de chapa típicos se muestran en las Figs. 3.23-7 y 3.23-8.
- 4) *Elementos de armazón alabeados.* Se pueden considerar como una extensión de los elementos anteriores. Tienen nodos adicionales para describir un perfil curvo de pared delgada de 3D. (fig. 3.24-9). Se puede utilizar el

análisis de tensiones de alabeo en 3D a través de los grados de libertad rotacionales y a lo largo de los tres ejes de cada nodo. Las aplicaciones típicas de este tipo de modelo incluyen válvulas de presión y carrocerías de automóviles.

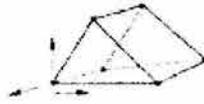
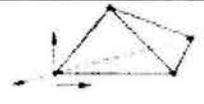
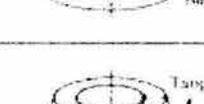
	TIPO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	G.D.L. POR NODO	G.D.L. POR ELEMENTO
9		Bóveda curva Tres dimensiones Ocho nodos	6	48
10		Triangular Sólido 3D Lineal isoparamétrica Seis nodos	3	18
11		Tetraedro Sólido 3D Lineal isoparamétrica cuatro nodos	3	12
12		Cuadrilateral Sólido 3D Lineal isoparamétrica Ocho nodos	3	24
13		Sólido 3D Cuadrática isoparamétrica Veinte nodos	3	60
14		Corona triangular Sólido 3D Axisimétrica Tres nodos	2	6
15		Corona cuadrilateral Sólido 3D Axisimétrica Cuatro nodos	2	8
16		Corona de paredes curvas Sólido 3D Axisimétrica Ocho nodos	2	16

Fig. 3.24. (continuación) Algunos elementos más comunes
(G.D.L. = grados de libertad)

- 5) *Elementos sólidos en 3D.* Este tipo de elementos se utiliza en componentes tridimensionales complejos como son las que tienen espesores no uniformes. Los elementos sólidos de 3D se pueden agrupar generalmente en dos familias: isoparamétricas y axisimétricas. Isoparamétrico es un

término que se puede aplicar a elementos de 2D. Describe cualquier elemento que tiene la misma función de forma para su desplazamiento y su geometría. Los elementos isoparamétricos comunes tienen fuerzas, desplazamientos y fijaciones sólo en los puntos nodales y no contienen nodos internos. En las figuras. 3.24-10, 3.24-11 y 3.24-12 se muestran tres tipos de elementos isoparamétricos de sólidos lineales. Tienen aristas rectas que unen los nodos. Los elementos isoparamétricos sólidos cuadráticos (fig. 3.24-13) tienen aristas formadas por curvas parabólicas que se definen a través de un nodo extra en el centro de cada arista. Las aplicaciones típicas de los elementos isoparamétricos incluyen el análisis de formas de componentes tales como cuerpos de válvulas, pistones y paletas de turbinas. Los elementos sólidos axisimétricos están formados por específicas secciones transversales que giran alrededor de un eje fijo. Estos son ampliamente utilizados en análisis de componentes mecánicos. Las secciones transversales típicas incluyen tipos de caras curvadas triangulares (fig. 3.24-14), cuadrilaterales (fig. 3.24-15) y de más alto orden (fig. 3.24-16). Las aplicaciones más comunes de los elementos axisimétricos incluyen ejes, volantes, toberas, carcasa de bombas, rotores y misiles.

De manera general, este es el método de elementos finitos, el cual conlleva un tratamiento matemático muy extenso, y no se entrará a detalle, debido a que lo que interesa es la aplicación práctica de este método.

Pasos para llevar a cabo el análisis de elementos finitos

El análisis por elementos finitos utilizando un software especializado, comienza con el preprocesamiento, en el cual se construye un modelo de elementos finitos que contenga toda la información necesaria para su análisis: geometría, cargas, restricciones de desplazamiento (conocidos también como condiciones de vínculo) y las propiedades de

los materiales. La geometría se crea usando una herramienta de tipo CAD, ya sea en 2D o en 3D. Este modelo luego se divide en una serie de elementos conectados. Este proceso se denomina mallado, y es un paso crítico del análisis por elementos finitos; el tipo y lugar de cada elemento, al igual que el número total y densidad, tienen un importante efecto en la rapidez y exactitud del análisis.

El último paso en el preprocesamiento es definir las condiciones de vínculo (también conocidas como restricciones de desplazamiento) y las cargas. Las restricciones determinan la dirección en la cual el modelo se puede mover. Las cargas son fuerzas aplicadas al modelo y típicamente se aplican sólo a los nodos (aunque modeladores más modernos no poseen esta restricción y se definen por funciones constantes, trascendentes u otras).

Los modelos se pueden reducir en tamaño y complejidad (requiriendo un menor tiempo de solución) al basarse la simetría de las cargas y de la geometría. La información creada en el preprocesamiento es luego procesada por el analizador, esto se corre como un proceso discontinuo sin interacción del usuario. Posteriormente, el software resuelve la matriz utilizando alguno de los algoritmos para resolución de matrices, siendo esta una tarea de computación intensiva.

Los resultados del analizador necesitan ser traducidos a alguna forma con sentido, esto se hace en el postprocesamiento. Los reportes de texto son los más fáciles de producir, muestran la información de tensiones y el desplazamiento de cada nodo y de cada elemento. Una manera más fácil de mirar los resultados es dibujando las tensiones, desviaciones y otros parámetros en estudio sobre el modelo. Luego las imágenes a color ayudan a detectar áreas con un alto grado de tensión.

Importancia del mallado y del tipo de elemento

El número y tamaño de los elementos se utiliza para determinar la densidad de la malla. Las mallas más simples se derivan en un menor tiempo de solución pero limitan la exactitud, ya que los nodos se sitúan sólo en las intersecciones de los elementos. Para crear una malla refinada se utilizan más elementos y también se sitúan nodos en otros lugares, como en las secciones medias de los elementos. Esta malla refinada puede utilizarse en todo el modelo con el objetivo de obtener mayor exactitud, y también en áreas locales, por ejemplo, alrededor de un agujero, para incrementar la exactitud sin aumentar el tiempo de solución.

Para acortar el tiempo de mallado se utiliza un proceso denominado mallado automático. En esta instancia, se especifican la densidad y la geometría general, para que el software genere la malla. Existe la posibilidad de elegir la densidad, para poner mallas más refinadas donde se considere necesario.

A continuación se mencionan los análisis que se pueden realizar mediante el método de elementos finitos:

- **Análisis de esfuerzos mecánicos**

Es la aplicación más popular del análisis por el método de elementos finitos. Es usado por los ingenieros para visualizar virtualmente, todo tipo de diseño de estructuras imaginables, esto incluye, productos industriales, manufactura, productos de consumo, ingeniería civil, transmisión de potencia, diseño electrónico, etc.

En general, un programa de análisis de esfuerzos puede calcular las deformaciones de las estructuras, los esfuerzos de acuerdo a diferentes teorías como Von Mises, Tresca, esfuerzos máximos y mínimos, esfuerzos y deformaciones locales, momentos flexionantes, esfuerzos cortantes, etc.

Son muy amplias las aplicaciones existentes, ya que se pueden analizar sistemas con materiales homogéneos, compuestos (isotrópicos u ortotrópicos), con análisis lineal y no lineal. Un análisis lineal es muy exacto sólo para los modelos en los cuales la relación de fuerzas y esfuerzos/flexiones cumplen con una función lineal; un ejemplo de este tipo de comportamiento, es el de un resorte lineal. Si la magnitud de la fuerza es incrementada, la fuerza de deflexión del resorte se incrementará de manera proporcional. Un análisis no lineal, es en el que las fuerzas sostienen una relación no lineal con los desplazamientos y/o los esfuerzos; las tres causas de un comportamiento no lineal pueden ser clasificadas como sigue:

- *Material no lineal.* Es causado por materiales que no tienen una curva lineal de esfuerzo-deformación. Un ejemplo, es el acero al carbono que es cargado más allá del punto de cedencia, en el que la curva de su gráfica de esfuerzo-deformación es no lineal. Cuando se cargan materiales dentro de la región plástica, se requiere un análisis no lineal para obtener resultados precisos.
- *Geometría no lineal.* Son los modelos que están sujetos a deformaciones o esfuerzos relativamente grandes. En estos casos, la severa deformación del modelo tiene un impacto apreciable en las características geométricas del modelo.
- *Elementos no lineales.* Son caracterizados por situaciones en las que el elemento será función de otras variables especificadas. Un ejemplo, es el elemento “gap” el cual es utilizado para modelar diferentes superficies en contacto.

▪ **Análisis de flujo de fluidos**

Se utiliza para el estudio de flujo incompresible; puede ser modelado en dos o en tres dimensiones, soporta dos o tres grados de libertad sobre las velocidades y las presiones del flujo según la capacidad del software. Se utiliza para simular el flujo alrededor de objetos y a través de tuberías, ductos, accesorios, flujos a través de obstáculos, flujo en intercambiadores de calor, en sistemas de enfriamiento y flujo de lubricación de rodamientos; también es usado para estudiar métodos de reducción de arrastre. Es

utilizado en la industria automotriz, aeroespacial, petrolera química y aplicaciones en productos de consumo. (fig. 3.25).

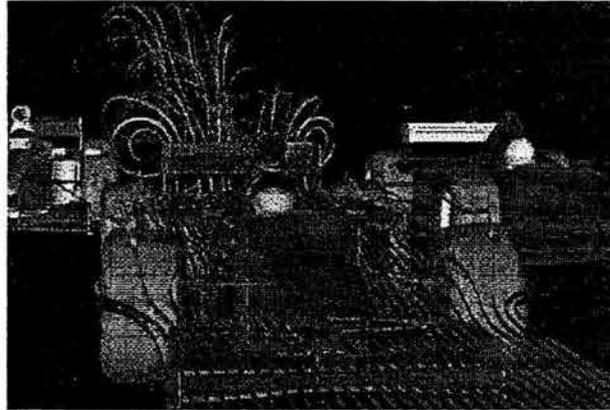


Fig. 3.25. Modelado del flujo de aire alrededor de un vehículo F1

▪ **Análisis térmico**

Comprende el estudio de transferencia de calor, ya sea el flujo en estado permanente o transitorio, lineal o no lineal, dependiendo de la capacidad del software. En general, un programa para análisis de transferencia de calor puede calcular las temperaturas sobre los nodos y el flujo de calor a través de las caras de los elementos.

Sus aplicaciones más típicas aparecen en algunas industrias donde los efectos de las condiciones térmicas son críticos, por ejemplo, en la contracción y expansión, debido a efectos térmicos, en el estudio del efecto de la fricción entre partes de maquinaria y para determinar esfuerzos por temperatura.

▪ **Otros tipos de análisis**

Otras aplicaciones típicas del análisis de elementos finitos abarcan áreas como las siguientes:

- *Análisis de vibraciones.* Utilizado en la industria del transporte y la aeroespacial, para realizar, por ejemplo, análisis de sistemas de suspensión y de alas.

- *Análisis de esfuerzos y deformaciones con materiales compuestos.* Utilizado en muchas industrias, en donde los ingenieros están incorporando materiales compuestos en sus diseños, para incrementar la resistencia y reducir el peso. Esto incluye partes de avión y paneles de carrocerías de automóviles.
- *Análisis electrostático.* En el cual está disponible el análisis de corriente y voltaje, campos electromagnéticos y para materiales isotrópicos y ortotrópicos. Es utilizado en el análisis de conducción o aislamiento de electricidad, propiedades dieléctricas y análisis de propiedades de corrosión.

Existe un sinnúmero de aplicaciones, como propiedades de masa (peso, volumen, centro de gravedad y momentos de inercia), frecuencias naturales tanto en materiales homogéneos como en materiales compuestos, etc., y todos ellos están disponibles, de acuerdo al sistema que se tenga, con modeladores de 2D o 3D, en superficies o elementos sólidos.

4.5 Técnicas para la elaboración de prototipos

La fase del prototipo

En numerosas compañías, la fase del prototipo es particularmente inefectiva, por cuanto se crean productos muy costosos y se aprende poco. Esto significa que el funcionamiento, aspecto y rendimiento del producto, se pueden verificar. De igual manera, los procesos de manufactura e instalación de herramientas también se pueden ensayar.

La función de prototipos completos como bases de contabilidad, sólo puede ser a largo plazo; a corto plazo, sólo se encontrarán errores serios que se deben haber aislado mediante técnicas de evaluación del diseño.

No obstante, los prototipos tiene un papel esencial en la prueba de confiabilidad a largo plazo. Esto se cumple cuando se planean y manejan adecuadamente.

Los principales criterios para la evaluación de prototipos son:

- Realismo
- Pruebas representativas en las modalidades más vulnerables
- Experiencia con los ejemplos más utilizados de los clientes
- Diseño experimental apropiado
- Supervisión adecuada y registro de resultados
- Retroalimentación para el diseño tanto en el apoyo del producto como productos nuevos relacionados
- Comparación con datos de apoyo del producto

Existen diversas formas de construir prototipos que van desde la manufactura real del objeto diseñado, es decir, empleando exactamente los mismos procesos de manufactura que se utilizarían para la producción en serie, hasta la elaboración de prototipos mediante otros procesos o con materiales diferentes a los especificados, y que pueden ser utilizados para ensayar únicamente formas, dimensiones y estética, o por ejemplo, para ser utilizados por el departamento de mercadotecnia para promover su venta antes de que el producto terminado esté disponible.

Dentro de la técnicas asistidas por computadoras, se puede mencionar las de maquinado con control numérico, donde se encuentran tornos, fresadoras, cortadoras láser, etc., y que pueden fabricar el prototipo empleando las técnicas CAD/CAM, aunque no necesariamente son los procesos de manufactura empleados para su producción en

serie, y que son utilizados para la verificación de la forma o de algún detalle que se desee conocer del producto.

Otra técnica es la *estereolitografía*, cuya base es el modelado de un sistema de CAD. El procedimiento de estereolitografía es una innovación tecnológica (introducida en 1988) que permite construir prototipos tridimensionales directamente de la información de un sistema CAD, en poco tiempo y de manera automática. A esta técnica se le conoce también con el nombre de *prototipos rápidos*. La estereolitografía combina la tecnología de computación, de rayo láser, de barrido óptico y fotoquímica, al aprovechar los foto-polímeros que cambian de estado líquido a sólido al ser expuestos a luz ultravioleta. El rayo láser dibuja un corte transversal delgado del objeto sobre la superficie del contenedor con foto-polímero líquido, endureciendo dicha sustancia selectivamente. Luego, un elevador baja la pieza que se está formando, cubriendo nuevamente la superficie superior preparándola para el siguiente corte transversal. El proceso se repite hasta que la pieza tridimensional está terminada. La parte terminada se retira del contenedor y se inicia un proceso de curación fina después del cual se puede lijar y pintar.

En algunos casos, la pieza y los materiales reúnen todos los requisitos de producción y se transforma en el producto definitivo de fabricación. Una ventaja de este proceso es que se pueden realizar prototipos sin importar que tan complejos sean, sin embargo, esta tecnología resulta actualmente muy costosa.

Finalmente, en este capítulo se vio en qué consiste el modelado geométrico, así como su clasificación. Dentro de esta clasificación, se estudió más a fondo el modelado de superficie, tratando los tipos y los diseños de superficies que existen.

De la misma manera, se vio el método de análisis finito, en donde se mencionan los tipos de elementos que se utilizan, la metodología para llevar a cabo este tipo de



análisis y los distintos análisis que nos pueden ayudar a resolver el problema que estamos estudiando.

También se vio las técnicas para la elaboración de prototipos, en donde se mencionó cual es su función dentro el proceso de diseño y las formas en que se puede construir uno.

En el siguiente capítulo entraremos en el diseño y estudio de la carrocería para un vehículo monoplace todo terreno, para lo cual, se utilizarán todas las técnicas vistas en los capítulos anteriores, con la finalidad de realizarle los análisis que nos permitan estudiarla y obtener resultados confiables.

Diseño de carrocerías para un vehículo todo terreno, utilizando las técnicas CAD y CAE

5.1 Desarrollo de la investigación

Identificación de la necesidad

Dentro del proyecto Mini-Baja se ha visto la necesidad de obtener un vehículo tubular monoplaza del tipo todo terreno, que sea ligero, veloz, ergonómico, resistente, seguro, económico y fácil de fabricar, con la finalidad de que sea competitivo dentro de los eventos SAE Mini-Baja. Se busca satisfacer estas necesidades a través del estudio por sistemas del vehículo Mini-Baja, con el objetivo de profundizar más en su diseño. Dentro de este trabajo de tesis, el sistema a estudiar es la carrocería, bajo el tema: **Diseño de carrocerías para un vehículo monoplaza todo terreno utilizando las técnicas CAD/CAE.**

Fundamentalmente el problema que se va a tratar, consiste en la aplicación de las técnicas CAD/CAE para realizar un diseño óptimo, es decir, mejorar varios parámetros de diseño al mismo tiempo, tales como: el peso, la rigidez, las dimensiones, la geometría, los materiales, el costo, entre otros. Lo deseable sería, que cuando el diseño de un producto está terminado, éste sea un diseño óptimo, sin embargo, muchas veces no es así, debido a que el diseño tiene que corregirse después de que el prototipo ha sido aprobado y se ha detectado que presenta algún tipo de falla. Para sistemas mecánicos complejos, es muy útil llevar a cabo el análisis de estos sistemas mediante el Análisis de Elemento Finito, utilizando un software especial, que es una herramienta de CAE.

Se han detectado principalmente dos grandes campos de aplicación del Análisis por Elemento Finito, que son: como herramienta para el diseño mecánico y como

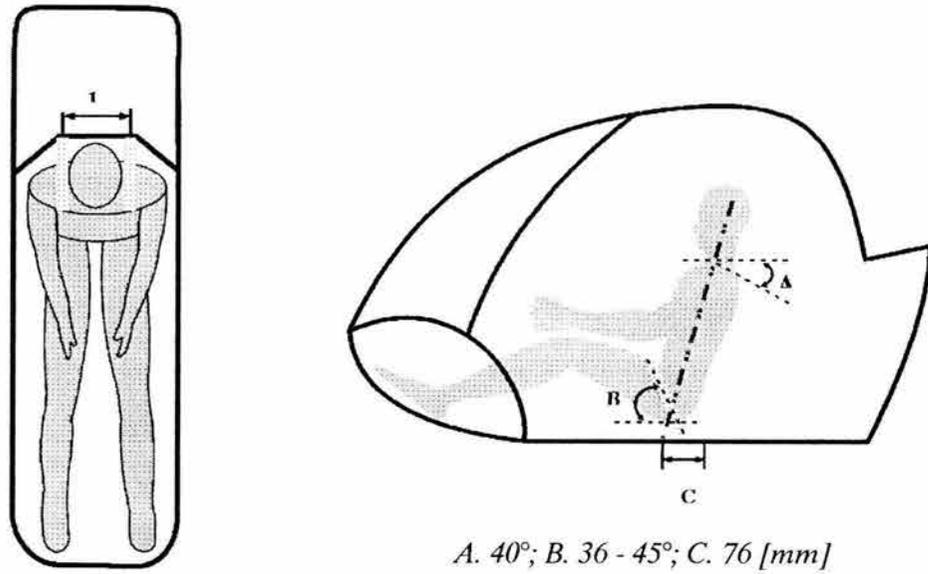
herramienta para el análisis de sistemas mecánicos existentes que se requieren estudiar o mejorar. En este trabajo de tesis, el enfoque está dirigido a la primera aplicación. Por otra parte, al hacer referencia de que un diseño debe ser óptimo, se enfatiza que será un diseño mecánicamente aceptable, debido a que el término optimización puede ser tan extenso hasta profundizar en los temas de producción, costos, venta, entre varios más. Áreas que incurrirían en una investigación más profunda, que serían temas de tesis cada uno de ellos.

Definición del problema

Como segundo paso se deberá enlistar parámetros, características, normas, etc., que contribuyan a la definición del problema. Para esto se cuenta con los siguientes elementos:

1. Un reglamento proporcionado por SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices), el cual contiene algunos de los siguientes puntos:

- En indispensable instalar una pared contrafuego entre la cabina y el compartimiento del motor y el tanque de combustible. Esta pared contrafuego deberá ser de metal de 0.508 [mm] (0.020 [in]) de espesor, como mínimo.
- A todo lo largo de la cabina del piloto, deberá instalarse un piso para protegerlo contra cualquier irregularidad del camino. El metal expandido (malla) no esta permitido por el reglamento.
- La salida del vehículo, deberá estar diseñada para facilitar al piloto el escape en caso de emergencia; además, deberá contar con una buena posición del asiento, así como, la posición ergonómica de los cinturones.



1. 152 – 203 [mm]

Fig. 5.1 Posición ergonómica de los cinturones de seguridad

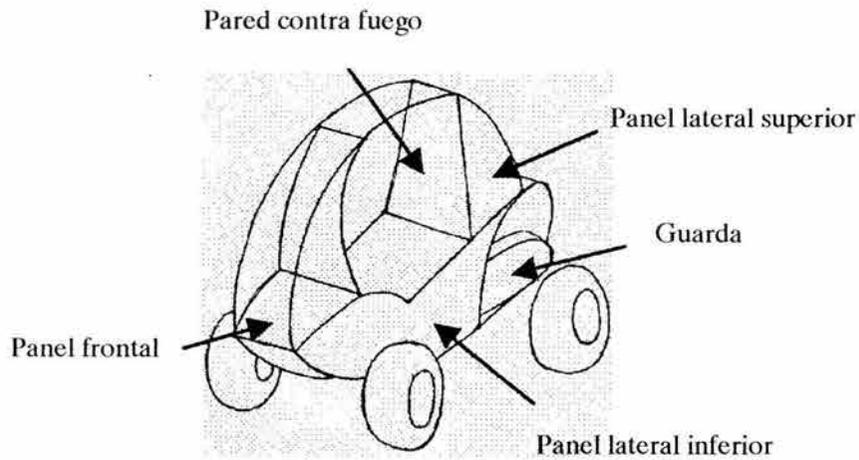


Fig.5.2. Piezas de la carrocería

2. Especificaciones de diseño según reglamento SAE Mini-Baja West

- El vehículo debe ser de tipo recreativo, monoplaza, con cuatro ruedas como requisito mínimo.

- Deberá contar con un motor de marca Briggs and Stratton modelo 190400 de 4 tiempos y 10 [hp] de potencia a 3600 [rpm], enfriado por aire y regulado a 4000 [rpm], como velocidad máxima.
- Todas las piezas que giren a la velocidad del eje de la transmisión o más rápido, tales como bandas, cadenas, poleas, engranes, deben ser protegidas. Estas protecciones deben estar construidas de acero 1010 de al menos 1.524 [mm] de espesor.
- El vehículo debe ser maniobrable sobre todo terreno irregular incluyendo rocas, arena, lodo, etc.
- Debe ser adecuado para acomodar un adulto con una estura promedio de 190.5 [cm] de altura, y con una masa de 113.4 [Kg].
- Debe brindar plena seguridad al piloto contra posibles accidentes y que sea resistente al mal trato del camino.
- Debe ser de fácil fabricación, utilizando piezas comerciales, así como utilizar el mínimo número de procesos, en el caso de fabricar algunas piezas.
- Deberá ser cómodo para el piloto dentro de la cabina, lo cual se logrará utilizando medidas ergonómicas.
- Deberá contar con la característica de un fácil desensamble de mecanismos que puedan requerir mantenimiento o reparación, utilizando métodos de unión no permanentes, así como espacio suficiente para maniobrar.

Recopilación de información

La información obtenida para desarrollar el trabajo, se ha recopilado del reglamento base, proporcionado por SAE INTERNATIONAL, además, se consultaron revistas de diseño automotriz, libros acerca de carrocerías de vehículos, tesis anteriores del proyecto SAE Mini-Baja, información experimental de vehículos mini-baja realizados durante los últimos cinco años, así como también, se ha hecho uso de la red mundial de información (WEB), entre otras.

Conceptualización y síntesis

Para esta etapa de conceptualización, se muestran las diferentes piezas, que en síntesis conforman la carrocería del vehículo mini-baja, y cuyo conjunto satisfacen la necesidad del producto final, dándole una buena estética y protección al piloto. (fig 5.3).

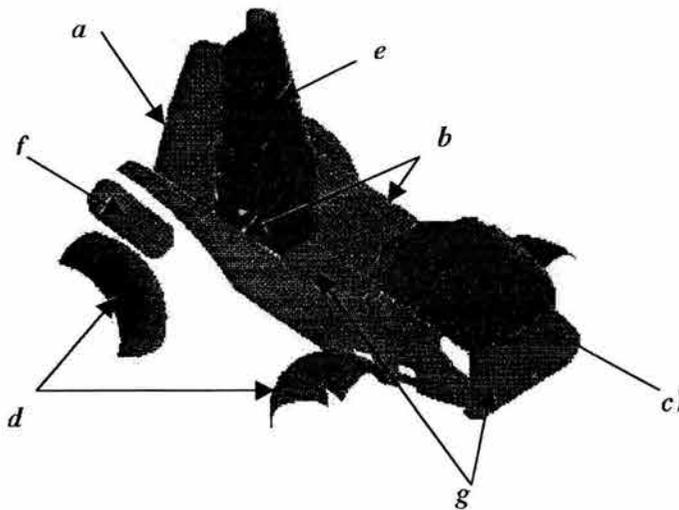


Fig. 5.3. Piezas que conforman la carrocería del vehículo mini-baja. a) Panel lateral superior, b) Panel lateral inferior, c) Panel frontal, d) Salpicaderas, e) Pared de fuego, f) Cubierta del CVT, g) Piso

También se muestran los métodos de ensamble y de sujeción, con los cuales los paneles de la carrocería serán fijados al chasis. Con respecto al factor ergonómico que tendrá el piloto dentro del vehículo, se tratarán los aspectos relacionados a los controles con los que cuenta el vehículo, para ver su óptima ubicación, y que el piloto no tenga problemas al momento de operarlos.

Como se había mencionado anteriormente, en este trabajo de tesis sólo se analizará el sistema de la carrocería, ya que su estudio nos permitirá analizar más a fondo su comportamiento frente a situaciones adversas tanto estáticas como dinámicas. Para esto, a continuación se proponen diferentes conceptos de las posibles geometrías que tendría un vehículo mini-baja como la posible solución al problema planteado.

Propuestas de configuración geométrica de la carrocería para un vehículo mini-baja

El sistema de carrocería, en síntesis, está compuesto de una serie de piezas (paneles) las cuales van colocadas sobre el chasis sujetadas firmemente. La forma geométrica y la estética, son factores fundamentales en la propuesta inicial; para lograr esto, como primer paso se procede a evaluar con ayuda de una matriz de decisiones las características de los diferentes tipos de carrocerías existentes (expuestos en el capítulo 1) con la finalidad de obtener la carrocería adecuada y con las mejores ventajas para el uso en un vehículo todo terreno. Posteriormente, se realizará una segunda matriz de decisiones, en la cual se evaluarán más a fondo factores como la geometría, la construcción, el peso, la rigidez, la estética, la seguridad, etc., que puedan ayudar en la optimización del diseño.

Características a evaluar <i>(Factor de peso X % de efectividad)</i>	Carrocería y chasis separados	Carrocería autoportante	Carrocería con plataforma de chasis
Resistencia	$0.3 \times 80\% = 24$	$0.3 \times 70\% = 21$	$0.3 \times 80\% = 24$
Peso	$0.2 \times 50\% = 10$	$0.2 \times 70\% = 14$	$0.2 \times 80\% = 16$
Facilidad de fabricación	$0.15 \times 70\% = 10.5$	$0.15 \times 60 = 9$	$0.15 \times 80 = 12$
Facilidad de ensamble	$0.15 \times 50\% = 7.5$	$0.15 \times 70\% = 10.5$	$0.15 \times 70\% = 10.5$
Costo	$0.1 \times 60\% = 6$	$0.1 \times 70\% = 7$	$0.1 \times 80\% = 8$
Configuración para un vehículo todo terreno	$0.1 \times 70\% = 7$	$0.1 \times 50\% = 5$	$0.1 \times 80\% = 8$
Total (%)	65%	66.5%	78.5%

Tabla 5.1. Matriz de decisiones de diferentes tipos de carrocerías

Como puede observarse, de acuerdo a la matriz de decisiones anterior, la carrocería con plataforma de chasis nos proporciona mejores resultados en comparación con las demás carrocerías; este resultado se obtuvo de la suma del producto de un factor de peso por un porcentaje de efectividad del sistema, proceso o características, los cuales están sustentados por una serie de datos estadísticos de experimentos realizados durante

más de 5 años, por artículos del tema, así como por un criterio del diseñador de acuerdo a su experiencia en este campo.

Enseguida se deberá trabajar sobre algunos bocetos de los vehículos que puedan aproximarnos a la posible solución del problema. A continuación, se presentan las posibles propuestas del vehículo mini-baja.

Primera propuesta: se puede observar un vehículo con una carrocería, constituida de pocas y pequeñas piezas, muy ligera y con buena estética. Como innovación, se le integran acrílicos al frente y a los lados, para protección del piloto. Por otra parte se ve una buena distribución de espacios dentro de la cabina, que ayudarán al piloto a conducir bien el vehículo. (fig. 5.4).

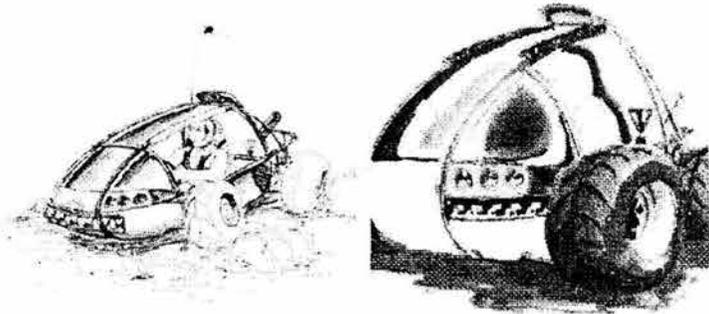


Fig. 5.4. Primera propuesta

Segunda propuesta: se muestra un vehículo con una carrocería formada de piezas más grandes y complejas, de carácter deportivo, más robusta y con una apariencia muy atractiva. Cuenta con una cabina que está completamente cerrada, con acrílicos integrados alrededor de la parte superior de la misma, dándole mayor seguridad al piloto contra objetos en el camino. Como innovación, el compartimento del motor en la parte trasera del vehículo, está completamente cubierta con la finalidad de proteger todos los componentes del motor y de la transmisión contra lodo, rocas, etc. También se puede ver que la comodidad del piloto es buena dentro de la cabina. (fig. 5.5)

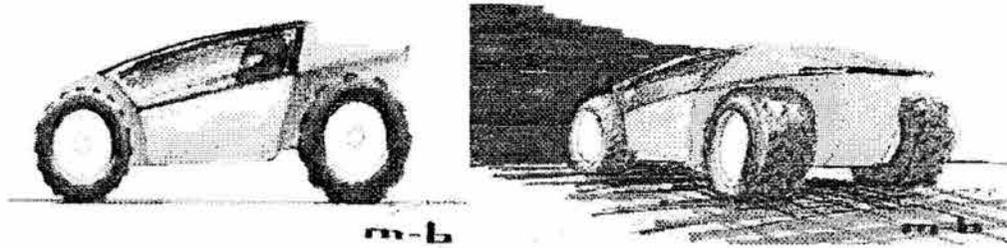


Fig. 5.5. Segunda propuesta

Tercera propuesta: en esta propuesta se puede observar una carrocería compuesta de piezas complejas, con un buen aspecto exterior, ligera y al mismo tiempo, resistente. En este dibujo podemos ver una carrocería más del tipo todo terreno, no sin dejar algún rasgos que la hacen un tanto deportiva. Se puede observar un amplio espacio conformando la cabina, lo que permitirá al piloto tener una buena comodidad al momento de conducir el vehículo. (fig. 5.6)

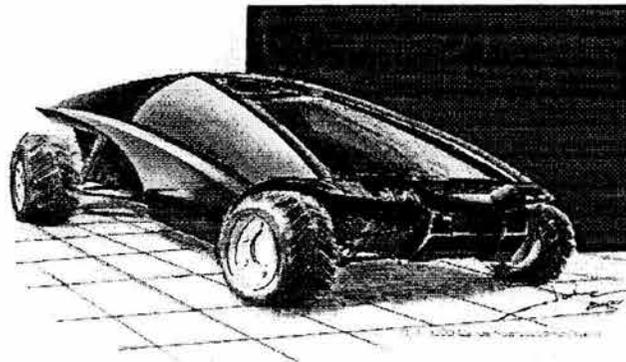


Fig. 5.6. Tercera propuesta.

Cuarta propuesta: aquí se puede observar una carrocería ligera, resistente, con una sencilla geometría. Como innovación, se le integran salpicaderas independientes en las cuatro ruedas, para resguardar, tanto piloto como a los demás sistemas del vehículo, de rocas, lodo, etc. En este dibujo, como en los demás, se observa una amplia cabina, para que el piloto pueda realizar sus movimientos sin restricciones, en el instante de conducir el vehículo. (fig. 5.7)

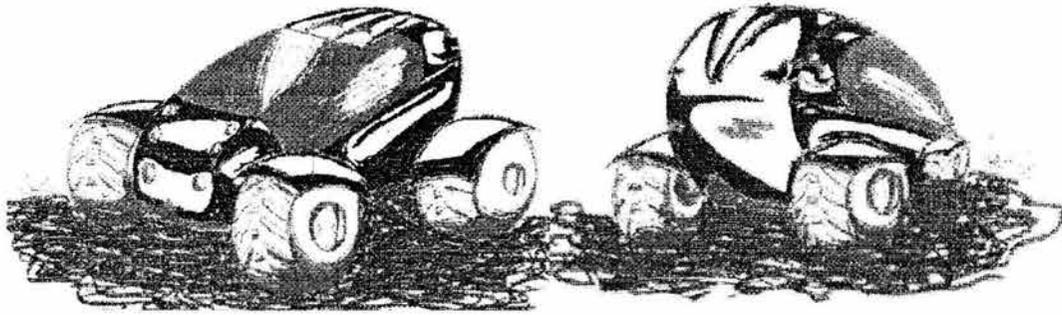


Fig. 5.7. Cuarta propuesta.

Se han generado cuatro posibles alternativas, utilizando el concepto de carrocería con plataforma de chasis. A continuación, éstas se evaluarán por medio de un análisis más detallado para determinar su posible optimización y solución, al problema planteado inicialmente.

Análisis y optimización

Esta es la etapa en donde se llevan a cabo una serie de cálculos analíticos, análisis mediante matrices de decisión y modelado con ayuda de elemento finito; todo esto con el fin de optimizar los diseños propuestos. Será una etapa de proceso de iteración, ya que si no hay resultados satisfactorios, tendremos que regresar a estudiar otras posibles geometrías, materiales, dimensiones, etc., y realizar nuevamente el análisis hasta lograr los requerimientos fijados. De esta manera, es como el proceso de diseño se va construyendo.

Después de haber obtenido una serie de propuestas, las cuales parecieran cumplir con la mayoría de los requerimientos que se han citado, el siguiente paso es la selección del material, realizar los costos por cada material y modelar la carrocería con una herramienta CAD. Posteriormente, se procede a realizar un análisis de fuerzas con la ayuda de cálculos básicos, los cuales nos proporcionarán datos importantes para que posteriormente sean introducidos en el análisis de elemento finito. Después se analizará

de la aleaciones de ingeniería; la familia de los cerámicos de ingeniería; la familia de los cerámicos porosos; la fibra de carbono, la fibra de kevlar y la fibra de vidrio, dentro de los compuestos de ingeniería.

De la misma manera, utilizando la gráfica de Resistencia-Densidad (fig. 5.9.), se puede determinar que los materiales óptimos para el índice $\sigma^{1/2}/\rho$ son: los aceros, las aleaciones de titanio las aleaciones de molibdeno, las aleaciones de magnesio y las aleaciones de aluminio, dentro de las aleaciones de ingeniería; la fibra de carbono, la fibra de kevlar y la fibra de vidrio, dentro de los compuestos de ingeniería.

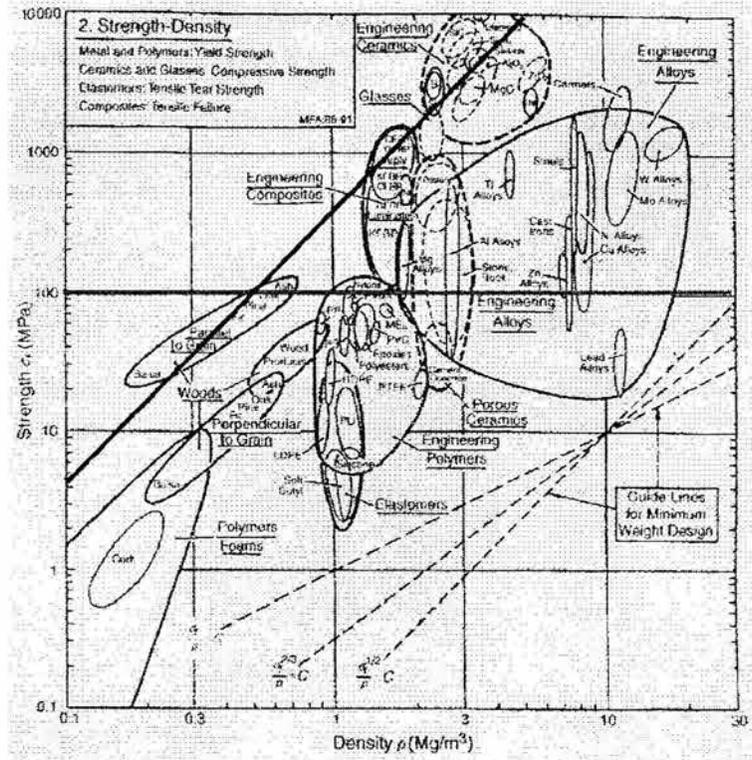


Fig. 5.9. Gráfica de Ashby: Resistencia - Densidad

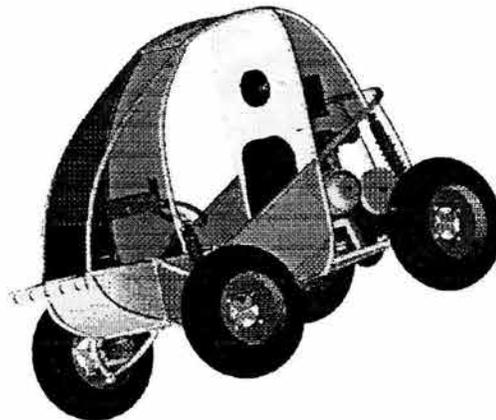
Comparando las regiones de búsqueda de ambas gráficas, se observa que los materiales adecuados por su comercialización son: los aceros, las aleaciones de aluminio y la fibra de vidrio.

Modelado geométrico de la carrocería

El modelado geométrico es la base de todo proceso de diseño, ya que a través de éste, se inicia el proceso de análisis y optimización. Modelar la carrocería con ayuda del diseño asistido por computadora (CAD) utilizando modelos de superficie, nos permite realizar geometrías sencillas y adecuadas para que posteriormente se analicen con el

método de elemento finito (FEM) así, siendo muy simple su construcción, se logra ahorrar tiempo de procesamiento dentro del análisis, además de que nos permite obtener propiedades importantes del modelo como la masa, momentos de inercia, centro de gravedad, etc., sin tener que realizar modelos muy complejos. Otras ventajas que se tienen con la ayuda del CAD son, la disminución de los tiempos de modelado, es más productivo ya que se pueden generar las vistas y las modificaciones que se requieran, por lo que, se considera como una herramienta flexible dentro del proceso de diseño.

En la figura 5.10, se muestra un modelo en superficie de la primera propuesta, en la cual podemos observar que los paneles laterales (superiores e inferiores) no cuentan con una geometría complicada, por lo que resultará fácil su construcción y ensamble. También vemos unos parabrisas que se colocarán al frente y en la parte lateral de la cabina, que de igual manera no tienen una geometría compleja, por lo que podrán ser cortados y doblados sin dificultades, y evitarán que entre lodo y rocas dentro de la cabina; sin embargo, la desventaja que tienen estos parabrisas dentro de la competencia, es que no se cuenta con un sistema que pueda limpiarlos cuando sea necesario, ya que el lodo se irá acumulando en él, impidiendo la visibilidad del piloto.



*Fig. 5.10. Primera propuesta.
Modelo de superficie en superficie de
la carrocería*

Dentro de sus características se tiene:

<i>Pieza</i>	<i>Material</i>	<i>Espesor</i>	<i>Volumen</i>	<i>Masa</i>
Paneles	Acero ASTM A-36	0.0.8 [mm]	852.16 [cm ³]	6.7 [Kg]
Pared de fuego	Acero ASTM A-36	0.508 [mm]	290..57 [cm ³]	2.28 [Kg]
Cubierta del CVT	Acero C1010	1.524 [mm]	367.8 [cm ³]	2.89 [Kg]
Piso	Acero ASTM A-36	1.27 [mm]	794.51 [cm ³]	6.24 [Kg]

Tabla 5.3. Características de la carrocería de la primera propuesta

En la figura 5.11 se ilustra el modelo de la segunda propuesta con carácter más deportivo. Podemos ver que se trata de una carrocería con geometrías más complejas (entradas de aire y otras geometrías); además está constituida de más piezas, incorporando los paneles traseros (superior e inferior), los paneles laterales traseros y un panel frontal. Debido al número de piezas de la que está constituida, esta carrocería llevará más tiempo fabricarla. La incorporación del panel frontal es para sustituir a los parabrisas, teniendo la misma función que éstos. Todos los paneles traseros tendrán como función, evitar que lodo y rocas intervengan con el funcionamiento del motor y del sistema de transmisión.



Fig. 5.11. Modelo en superficie de la segunda propuesta de la carrocería

Dentro de sus características se tiene:

<i>Pieza</i>	<i>Material</i>	<i>Espesor</i>	<i>Volumen</i>	<i>Masa</i>
Paneles	Fibra de vidrio	0.08 [mm]	2068.8 [cm ³]	5.33 [Kg]
Pared de fuego	Acero ASTM A-36	0.508 [mm]	278.79 [cm ³]	2.19 [Kg]
Cubierta del CVT	Acero C1010	1.524 [mm]	367.8 [cm ³]	2.89 [Kg]
Piso	Acero ASTM A-36	1.27 [mm]	746.76 [cm ³]	5.87 [Kg]

Tabla 5.4. Características de la carrocería de la segunda propuesta

En la figura 5.12, se muestra el modelo correspondiente a la tercera propuesta, en donde se puede apreciar que es una carrocería compuesta de pocos paneles, formados por geometrías sencillas, fáciles de construir y de ensamblar. En este modelo también se le han agregado parabrisas en la parte frontal y lateral de la cabina. Además, se le han colocado un par de salpicaderas en las ruedas delanteras, para evitar que el lodo se introduzca en la cabina y para que los parabrisas se mantengan lo más limpios posibles.

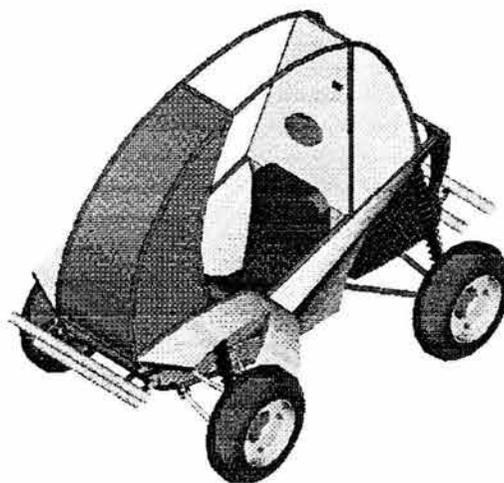


Fig. 5.12. Tercera propuesta. Modelo en superficie de la carrocería

Dentro de sus características se tiene:

<i>Pieza</i>	<i>Material</i>	<i>Espesor</i>	<i>Volumen</i>	<i>Masa</i>
Paneles	Acero ASTM A-36	0.0.8 [mm]	1546.56 [cm ³]	12.14 [Kg]
Pared de fuego	Acero ASTM A-36	0.508 [mm]	288.54 [cm ³]	2.26 [Kg]
Cubierta del CVT	Acero C1010	1.524 [mm]	367.8 [cm ³]	2.89 [Kg]
Piso	Acero ASTM A-36	1.27 [mm]	755.65 [cm ³]	5.93 [Kg]

Tabla 5.5. Características de la carrocería de la tercera propuesta

En la figura 5.13, se presenta el vehículo con la carrocería de la cuarta propuesta, la cual presenta geometrías planas, muy sencillas de fabricar y de montar. Presenta un panel frontal, en sustitución de los parabrisas. También se observa que a este modelo se le integran salpicaderas independientes en las cuatro ruedas, con el objetivo de que las ruedas no arrojen lodo y rocas al motor, al sistema de transmisión y a la cabina.

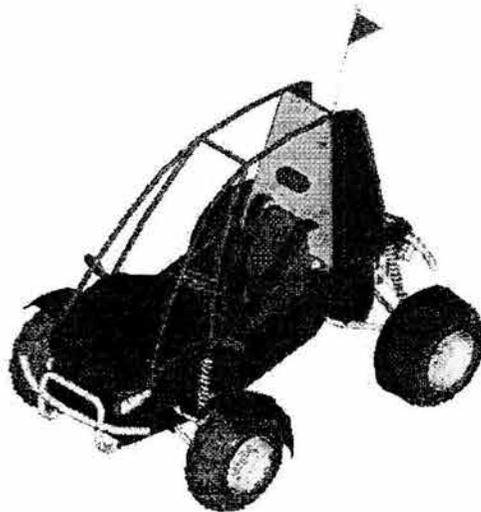


Fig. 5.13. Modelado en superficie de la cuarta propuesta de la carrocería

Dentro de sus características se tiene:

<i>Pieza</i>	<i>Material</i>	<i>Espesor</i>	<i>Volumen</i>	<i>Masa</i>
Paneles	Aluminio 1100 H14	0.08 [mm]	1438.56 [cm ³]	3.9 [Kg]
Pared de fuego	Acero ASTM A-36	0.508 [mm]	278.76 [cm ³]	2.19 [Kg]
Cubierta del CVT	Acero C1010	1.524 [mm]	367.8 [cm ³]	2.89 [Kg]
Piso	Acero ASTM A-36	1.27 [mm]	746.76 [cm ³]	5.87 [Kg]
Salpicaderas	Fibra de vidrio	0.8 [mm]	422.4 [cm ³]	1.09 [Kg]

Tabla 5.6. Características de la carrocería de la cuarta propuesta

Enseguida, se procederá a realizar otros tipos de análisis como resistencia mecánica, peso, costo, ensamble, acabado superficial, entre otros, para continuar con la optimización de las propuestas planteadas y seleccionar la más adecuada.

Resistencia mecánica de la carrocería

Para llevar a cabo un análisis del comportamiento de la carrocería, es necesario saber bajo que condiciones de carga, fuerzas externas, velocidades, etc., opera el vehículo, de tal modo que se pueda determinar con el análisis de elemento finito que piezas de la carrocería son las más críticas, y a las cuales se le deberá poner más atención. Estas condiciones de operación se dividen en dos, unas que son generales, como se muestran en la tabla 5.7, y otras particulares.

Condiciones particulares de operación

Éstas se refieren a condiciones en diferentes situaciones, como puede ser un caso de análisis estático o dinámico. A continuación se presentan los casos de estudio que se considera analizar.

Condiciones generales de operación	
<i>Potencia del motor</i>	5.75 [W] (8 [hp])
<i>RPM del motor</i>	3600 [rpm]
<i>Peso vehicular</i>	200 [Kg]
<i>Peso del piloto</i>	70 [Kg]
<i>Velocidad máxima</i>	60 [Km/h]
<i>Velocidad en pendiente a 45°</i>	10 [Km/h]
<i>Material de la estructura tubular</i>	Acero 1018
<i>Característica de tubería</i>	Diámetro exterior 25.4 [mm] Espesor de 2.1 [mm]

Tabla. 5.7. Condiciones generales de operación

Los siguientes análisis se consideran como estáticos, debido a la falta de parámetros, en este caso el tiempo, que no son incluidos para poder realizar debidamente el análisis dinámico por la complejidad del impacto, el cual debe ser instrumentado con equipo de alta tecnología, con el cual no se cuenta.

Caso 1. Impacto de un objeto contra un panel lateral

Condiciones:

Masa del objeto = 0.64 [Kg]

Distancia a la que el objeto fue lanzado = 2.5 [m]

Velocidad del impacto = 6.925 [m/s]

Considerando un objeto de masa igual a 0.64 [Kg], la distancia a la cual el objeto se encuentra inicialmente es 2.5 [m], y el tiempo que tarda en recorrer esa distancia es igual a 0.36 [s].

Para determinar la fuerza F con la que el objeto golpea el panel lateral del vehículo, se puede escribir la ecuación de impulso y momentum lineales en la dirección x , siendo el objeto el cuerpo libre; así:

$$m_r V_r + (-F)\Delta t = m_2 V_2 = 0 \quad \dots (1)$$

donde:

m_r = masa inicial del objeto

V_r = velocidad inicial promedio del objeto

m_2 = masa final del objeto

V_2 = velocidad final del objeto

F = fuerza promedio que ejerce el panel lateral sobre el objeto

Δt = período de impulso

Si se considera que el intervalo durante el cual se lleva a reposo el objeto es de 0.05 [s]. Sustituyendo valores en (1):

$$0.64(6.925) - F(0.05) = 0$$

resolviendo para la fuerza F :

$$F = 88.64 [N]$$

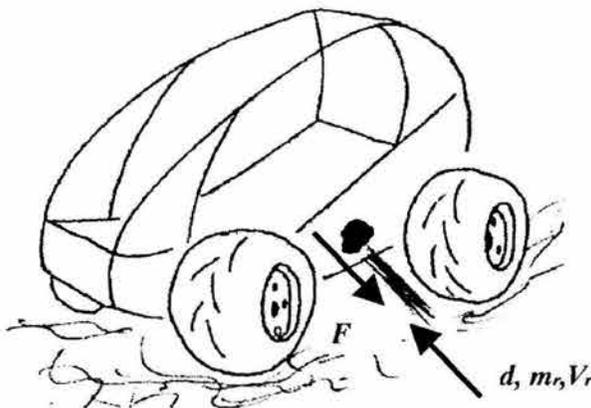


Fig. 5.14. Representación esquemática del impacto de un objeto contra el vehículo

Caso 2. Impacto frontal contra un objeto

Condiciones:

Masa del vehículo (incluyendo la masa del piloto) = 280 [Kg]

Velocidad de impacto del vehículo = 45 [Km/s]

Considerando que la masa total del vehículo, incluyendo al piloto, es de aproximadamente 280 [Kg] y que la velocidad promedio que desarrolla el vehículo es de 45 [Km/h].

Para determinar la F con la que el vehículo golpea en su parte inferior, con un objeto, se puede escribir la ecuación de impulso y momentum lineales en la dirección x , siendo el vehículo el cuerpo libre; así:

$$m_v V_v + (-F)\Delta t = m_2 V_2 = 0 \quad \dots (1)$$

donde:

m_v = masa inicial del vehículo

V_v = velocidad inicial del vehículo

m_2 = masa final del vehículo

V_2 = velocidad final del vehículo

F = fuerza promedio que ejerce el objeto sobre el piso del vehículo

Δt = período de impulso

Considerando que el intervalo durante el cual se lleva a reposo el vehículo es de 0.05 [s] y que 45 [Km/h] = 12.5 [m/s], sustituyendo valores en (1):

$$280(12.5) - F(0.05) = 0$$

resolviendo para la fuerza F :

$$F = 70 \text{ [KN]}$$

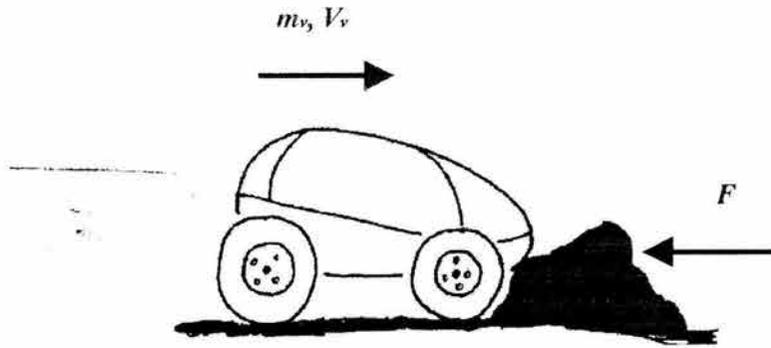


Fig. 5.15. Representación esquemática del impacto contra un objeto

Caso 3. Impacto en la parte inferior del vehículo después de haber saltado

Condiciones:

Masa del vehículo (incluyendo la masa del piloto) = 280 [kg]

Longitud de la pendiente = 5 [m]

Ángulo de la pendiente = 11.5°

Considerando que la masa total del vehículo, incluyendo al piloto, es de aproximadamente 280 [Kg] y que la velocidad promedio que desarrolla el vehículo es de 20 [Km/h].

Considerando la suma de la energía cinética del vehículo cuando se desplaza a una velocidad de 20 [Km/h], más la energía potencial cuando este cae una distancia de 1 m, se tiene que:

$$E_{C1} + E_{P1} = E_{C2} + E_{P2} \quad \dots (1)$$

donde:

$$E_{C1} = \frac{1}{2} mV_{x1}^2 + \frac{1}{2} mV_{y1}^2 \quad \dots (2)$$

$$E_{P1} = mgy_1 \quad \dots (3)$$

$$E_{C2} = \frac{1}{2} mV_{x2}^2 + \frac{1}{2} mV_{y2}^2 \quad \dots (4)$$

$$E_{C2} = \frac{1}{2}mV_{x2}^2 + \frac{1}{2}mV_{y2}^2 \quad \dots (4)$$

$$E_{P2} = mgy_2 \quad \dots (5)$$

sustituyendo (2), (3), (4) y (5) en (1):

$$\frac{1}{2}mV_{x1}^2 + \frac{1}{2}mV_{y1}^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mV_{x2}^2 + \frac{1}{2}mV_{y2}^2 + mgy_2 \quad \dots (6)$$

si se considera que:

$$V_{x1} = 20[Km/h] = 5.555[m/s]$$

$$V_{y1} = V_{x2} = 0$$

$$y_2 = 0$$

sustituyendo en (6), queda:

$$\frac{1}{2}mV_{x1}^2 + mgy_1 - \frac{1}{2}mV_{y2}^2 = 0 \quad \dots (7)$$

resolviendo (7) para V_{y2} :

$$V_{y2} = \sqrt{V_{x1}^2 + 2gy_1}$$

sustituyendo valores en (8), queda:

$$V_f = \sqrt{(5.555)^2 + 2(9.81)(1)}$$

$$V_f = 7.104 [m/s]$$

Para determinar la F con la que el vehículo golpea en su parte inferior, con un objeto, se puede escribir la ecuación de impulso y momentum lineales en la dirección y , siendo el vehículo el cuerpo libre; así:

$$F\Delta t = m_v(V_2 - V_1) = m_v(V_f - V_1) = 0 \quad \dots (9)$$

donde:

m_v = masa del vehículo

V_f = velocidad de impacto del vehículo

V_1 = velocidad inicial del vehículo

F = fuerza promedio que ejerce el objeto sobre el vehículo

Δt = período de impulso

Considerando que el intervalo durante el cual se lleva a reposo el vehículo es de 0.5 [s], sustituyendo valores en (9):

$$F(0.5) = 280(7.104)$$

resolviendo para la fuerza F :

$$F = 3978.24 \text{ [N]}$$

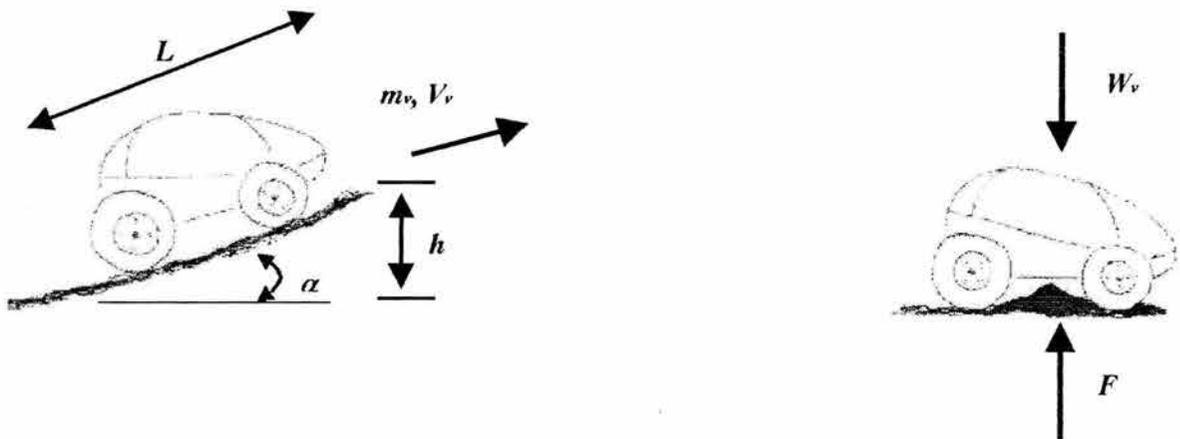


Fig. 5.16. Representación esquemática del impacto del vehículo después de haber saltado

Caso 4. Análisis de impacto en la protección del CVT (Polea de Torque Variable)

Condiciones:

Velocidad de la polea = 4000 [rpm]

Diámetro de la polea = 9.26 [pulg]

Masa de la polea = 3 [Kg]

Si se considera que la polea tiene una masa igual a 3 [Kg], que gira a 4000 [rpm] y que tiene un diámetro de 9.26 [pulg].

Para determinar la velocidad lineal de la polea:

$$V_p = \omega_p r_p \dots (1)$$

donde:

V_p = velocidad lineal de la polea

ω_p = velocidad angular de la polea

r_p = radio de la polea

si: 9.26 [pulg] = 0.234 [m]

4000 [rpm] = 418 [rad/s]

sustituyendo valores en (1):

$$V_p = 48.99 [m/s]$$

Para determinar la F con la que la polea golpea a su protección, se puede escribir la ecuación de impulso y momentum lineales en la dirección x , siendo la polea el cuerpo libre; así:

$$m_p V_p + (-F)\Delta t = m_2 V_2 = 0$$

donde:

m_p = masa inicial de la polea

v_p = velocidad inicial de la polea

m_2 = masa final de la polea

V_2 = velocidad final de la polea

F = fuerza promedio que ejerce la protección sobre la polea

Δt = período de impulso

Considerando que el intervalo durante el cual se lleva a reposo la polea es de 0.05 [s].

$$3(48.99) - F(0.05) = 0$$

resolviendo para la fuerza F :

$$F = 2.93 \text{ [KN]}$$

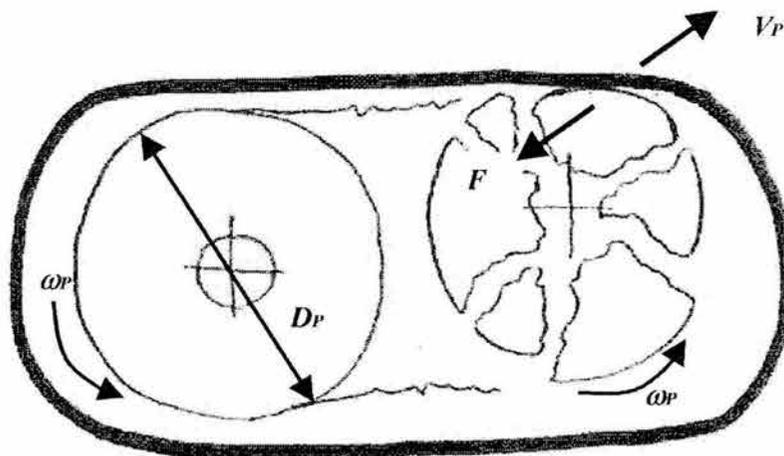


Fig. 5.17. Representación esquemática del impacto de la polea del CVT

Enseguida de fijar las condiciones de trabajo y la situación a que se enfrenta el vehículo, se procede a realizar el análisis de cada paso, con cálculos básicos se determinan las fuerzas con la finalidad de realizar una comparación del análisis analítico con el

análisis de elemento finito y, así poder observar las ventajas que ofrece la técnica de éste último.

Hoy en día existen computadoras que simplifican los cálculos y programas que realizan la simulación del modelo, es por ello, que se plantea el problema de una forma que nos proporcione datos que nos servirán en el análisis por elemento finito. De los beneficios que ofrece la implementación de tecnologías de este tipo, la más obvia es la ganancia de productividad (mejora de tiempo y entrega, reflejándose en dinero) obteniéndose un producto totalmente satisfactorio. Para ello determinaremos el comportamiento de la carrocería siguiendo las siguientes etapas:

La primera, llamada etapa de proceso, consiste en la creación de un modelo de superficie de la carrocería, ya sea en 2D o 3D (fig. 5.19) construida con una herramienta CAD externa o propia del software de elemento finito. En esta etapa, se realiza el mallado de las superficies para poder realizar los análisis; además deberá detallarse la geometría, es decir, las identidades que la conforman (líneas, curvas). Esto con la finalidad de evitar rupturas en las identidades, las cuales provocarían errores durante el análisis.

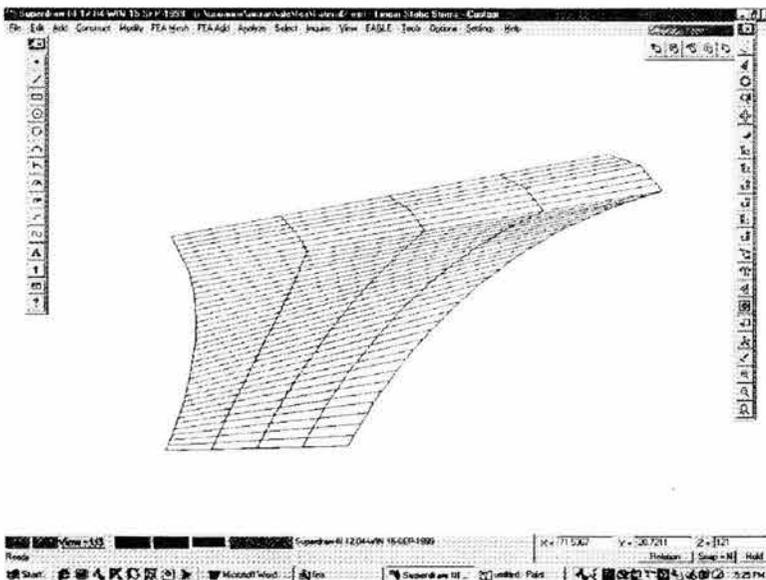


Fig. 5.18. Modelo de superficie mallada

La segunda etapa es esencial, debido a que en ella, se le dota al modelo de propiedades geométricas, físicas y se le aplican las condiciones de trabajo. Enseguida, se procede a identificar el tipo de elemento en que se dividió la geometría. Posteriormente, se procede a colocar las restricciones de acuerdo a la situación en que trabajará la carrocería, así mismo, deberá aplicarse la fuerzas y propiedades físicas como lo son, el tipo de material, las dimensiones geométricas de los elementos, así como, elegir el tipo de análisis a realizar, que puede ser un análisis estático o dinámico.

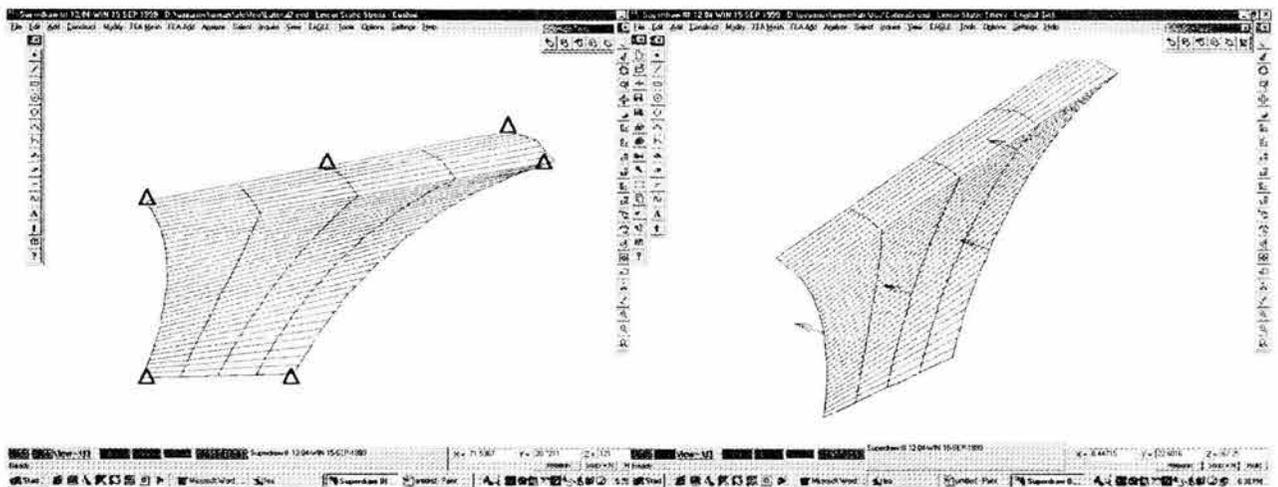


Fig. 5.19. Aplicación de restricciones y fuerzas

En la última etapa, se encuentra el post-proceso o análisis de resultados, como por ejemplo, desplazamientos, momentos, esfuerzos, entre otros, con los cuales podemos verificar que no se excedan los valores de desplazamiento y esfuerzos permitidos.

Éstos se visualizan gráficamente a través de diferentes bandas de colores que acompañan al modelo analizado, para poder observar los elementos de la carrocería que son los más críticos y a los cuales, se le deberá poner más atención. Si se presentará el caso de que algún elemento llegará a excederse de lo establecido, se tendría que reforzar

la carrocería, cambiar el material o cambiar la geometría, para garantizar la resistencia de la misma.

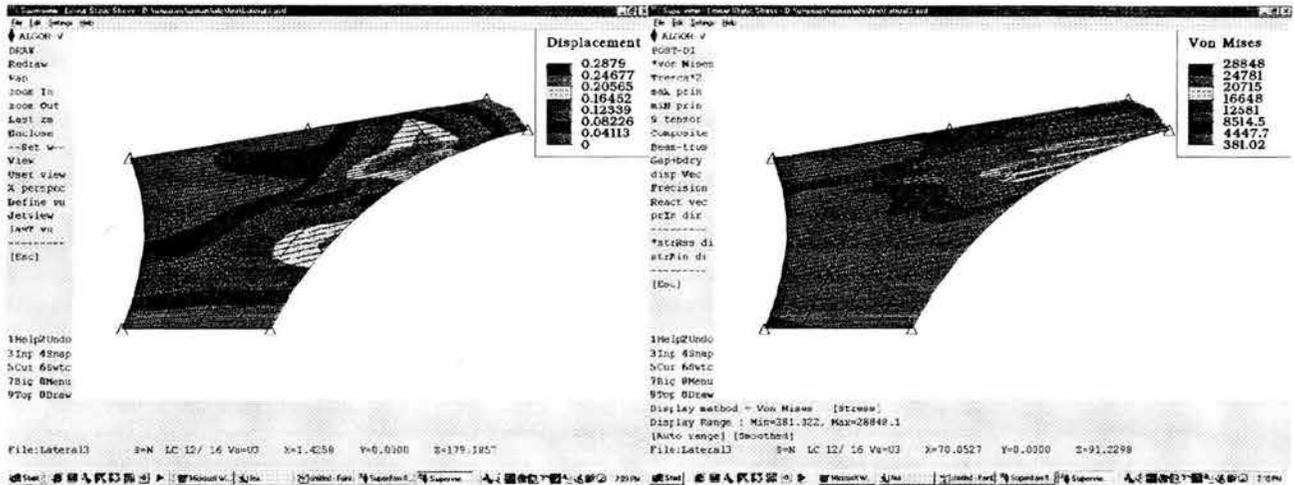


Fig. 5.20. Análisis y resultados

Por el contrario, si los resultados estuvieran por debajo de los establecido, se procedería a optimizar el material y los espacios innecesarios.

Enseguida, se desarrollan los cuatro casos de estudio aplicando la herramienta FEA:

- El primer caso es un análisis de impacto de un objeto contra el vehículo.
- En el segundo análisis se realiza un estudio de impacto frontal del vehículo contra un objeto.
- Para el tercer el análisis se estudia el impacto que sufre el vehículo después de haber dado un salto.
- En el cuarto y último caso, se realiza un análisis de impacto en la protección del CVT. En cada caso las fuerzas y restricciones son indicadas.

Primer caso. Impacto de un objeto contra un panel lateral

Condiciones de trabajo:

- Masa del objeto: 0.64 [Kg]
- Distancia promedio a la que el objeto fue lanzado: 2.5 [m]
- Velocidad promedio del impacto: 6.93 [m/s]
- Tipo de material utilizado en el análisis: acero ASTM A-36
- Restricciones considerando que no hay desplazamientos ni rotaciones en los puntos de sujeción: 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- Aplicación de fuerzas en los puntos: A, B, C y D (carga puntual).

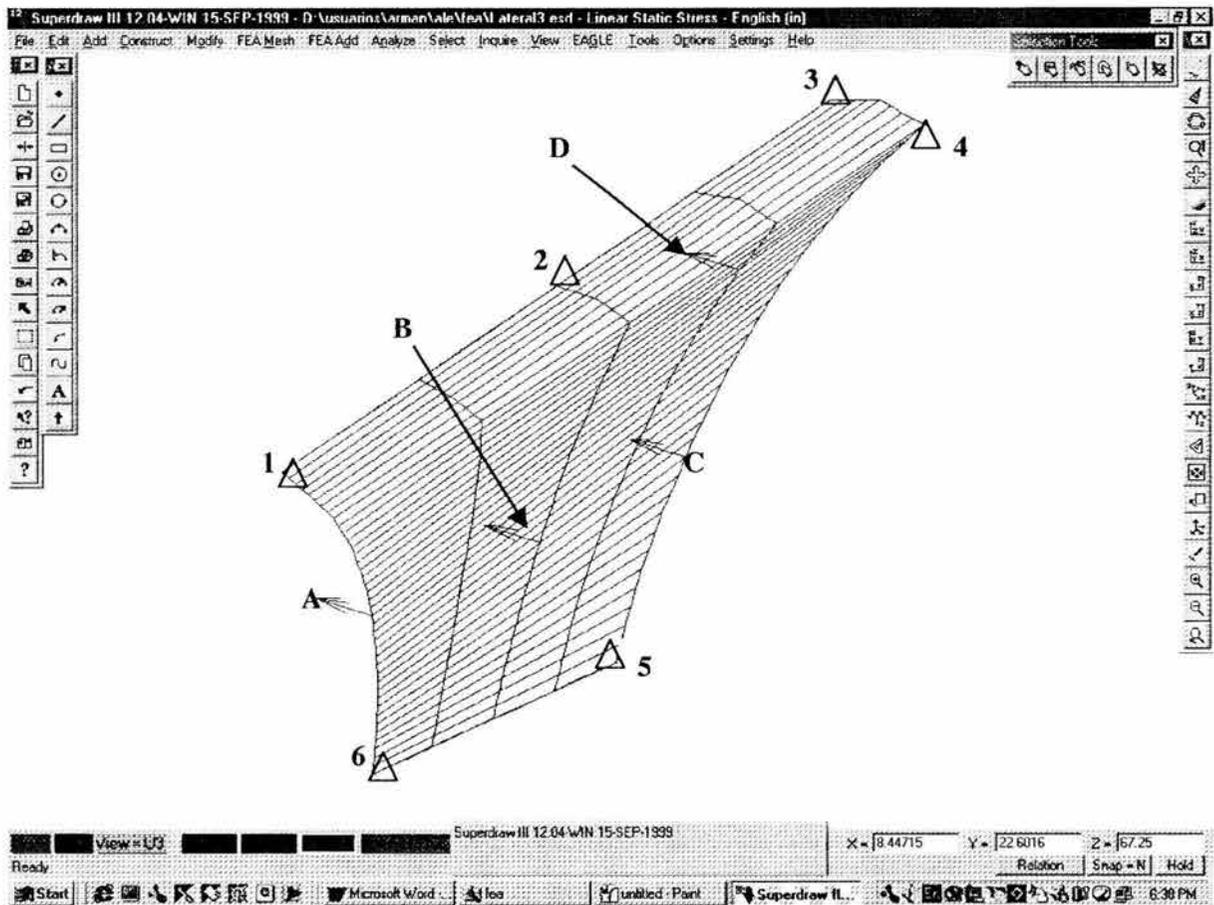


Fig. 5.21. Distribución de fuerzas y restricciones para el análisis de un panel lateral

Los resultados arrojados por el análisis son los siguientes:

<i>Tipo de análisis</i>	Esfuerzo Lineal		
<i>Tipo de elemento</i>	Placa Lineal		
<i>Número de nodos</i>	205		
<i>Número de ecuaciones</i>	1194		
Desplazamientos máximos			
	<i>Acero</i>	<i>Fibra de vidrio</i>	<i>Aluminio</i>
<i>Punto A: F = 88.64 [N]</i>	0.21 [mm]	0.61 [mm]	0.63 [mm]
<i>Punto B: F = 88.64 [N]</i>	0.05 [mm]	0.18 [mm]	0.21 [mm]
<i>Punto C: F = 88.64 [N]</i>	0.13 [mm]	0.38 [mm]	0.47 [mm]
<i>Punto D: F = 88.64 [N]</i>	0.01 [mm]	0.05 [mm]	0.08 [mm]
Análisis con Von Mises			
	<i>Acero</i>	<i>Fibra de vidrio</i>	<i>Aluminio</i>
<i>Punto A: F = 88.64 [N]</i>	213.72 [MPa]	218.87 [MPa]	280.01 [MPa]
<i>Punto B: F = 88.64 [N]</i>	70.11 [MPa]	65.78 [MPa]	104.42 [MPa]
<i>Punto C: F = 88.64 [N]</i>	162.98 [MPa]	169.14 [MPa]	222.79 [MPa]
<i>Punto D: F = 88.64 [N]</i>	31.52 [MPa]	34.61 [MPa]	45.82 [MPa]

Tabla 5.8. Resultados de los análisis de FEA del primer caso de análisis

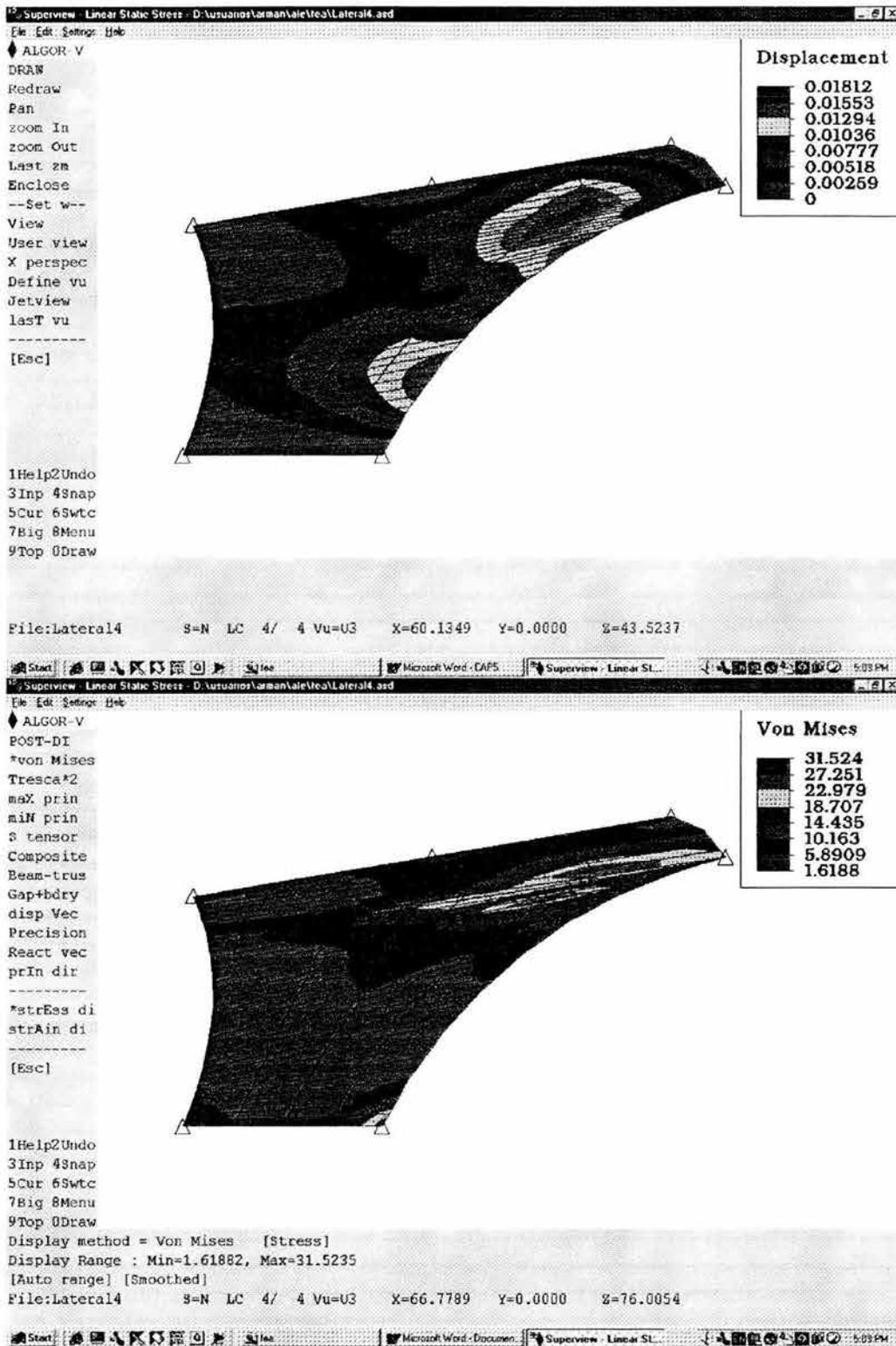


Fig. 5.22. Representación en código de barras de colores del desplazamiento (arriba), y del esfuerzo de acuerdo al criterio de Von Mises (abajo)

Segundo caso. Impacto frontal contra un objeto

Condiciones de trabajo:

- Masa del vehículo (incluyendo la masa del piloto): 280 [Kg]
- Velocidad del vehículo: 45 [Km/h]
- Tipo de material utilizado en el análisis: acero ASTM A-36
- Restricciones considerando que no hay desplazamientos ni rotaciones en los puntos de sujeción: alrededor de toda la pieza.
- Aplicación de fuerzas en los puntos: A y C (carga puntual); B y D (carga distribuida).

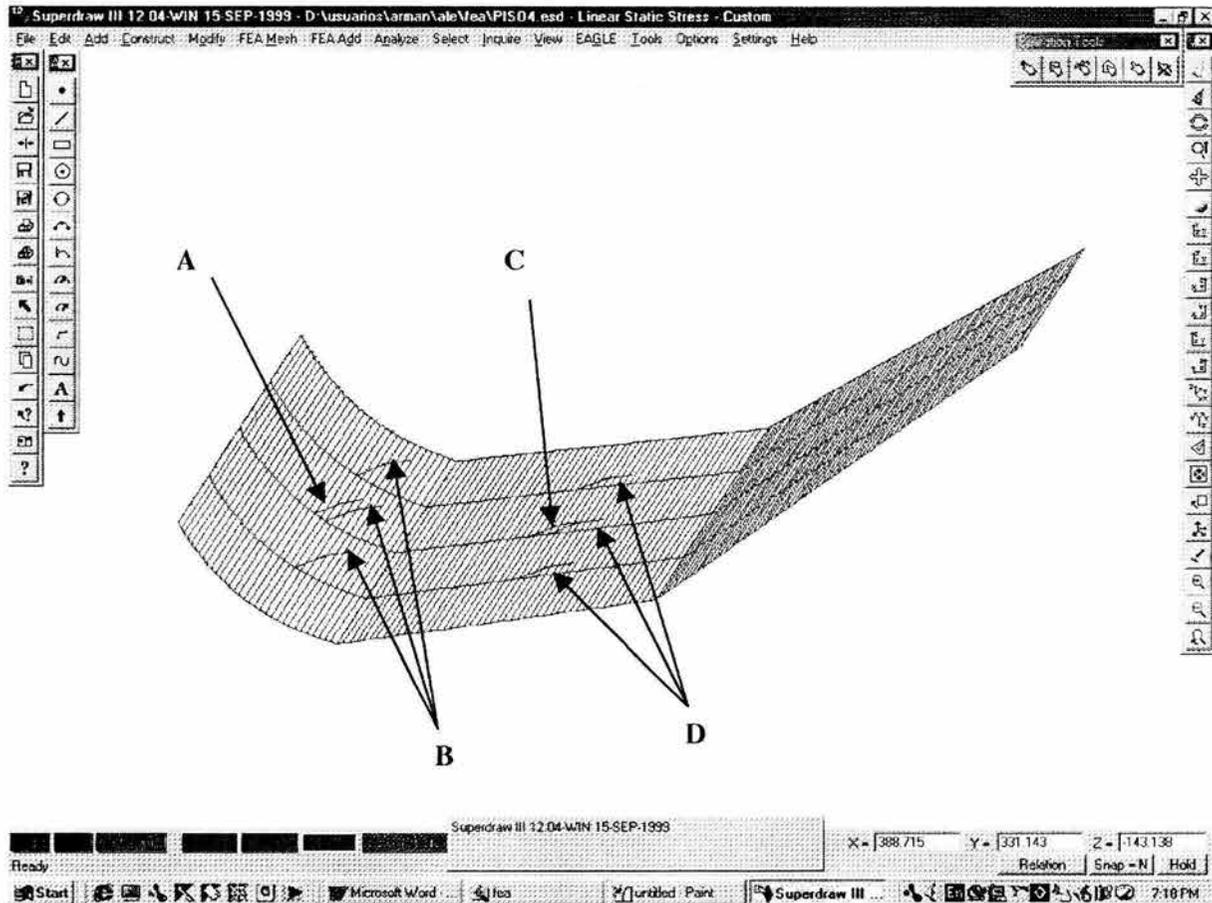


Fig. 5.23. Distribución de fuerzas y restricciones para el análisis del piso

Los resultados arrojados por el análisis son los siguientes:

<i>Tipo de análisis</i>	Esfuerzo Lineal
<i>Tipo de elemento</i>	Placa Lineal
<i>Número de nodos</i>	725
<i>Número de ecuaciones</i>	2568
Desplazamientos máximos	
<i>Punto A: $F = 7000 [N]$</i>	3.7314 [mm]
<i>Punto B: $F = 2333.33 [N]$</i>	1.534 [mm]
<i>Punto C: $F = 7000 [N]$</i>	24.963 [mm]
<i>Punto D: $F = 2333.33 [N]$</i>	15.663 [mm]
Análisis con Von Mises	
<i>Punto A: $F = 7000 [N]$</i>	1090.4 [MPa]
<i>Punto B: $F = 2333.33 [N]$</i>	407.99 [MPa]
<i>Punto C: $F = 7000 [N]$</i>	619.35 [MPa]
<i>Punto D: $F = 2333.33 [N]$</i>	341.03 [MPa]

Tabla 5.9. Resultados de los análisis de FEA del segundo caso de análisis

5 • DISEÑO DE CARROCERÍAS PARA UN VEHÍCULO TODO TERRENO, UTILIZANDO LAS TÉCNICAS CAD Y CAE

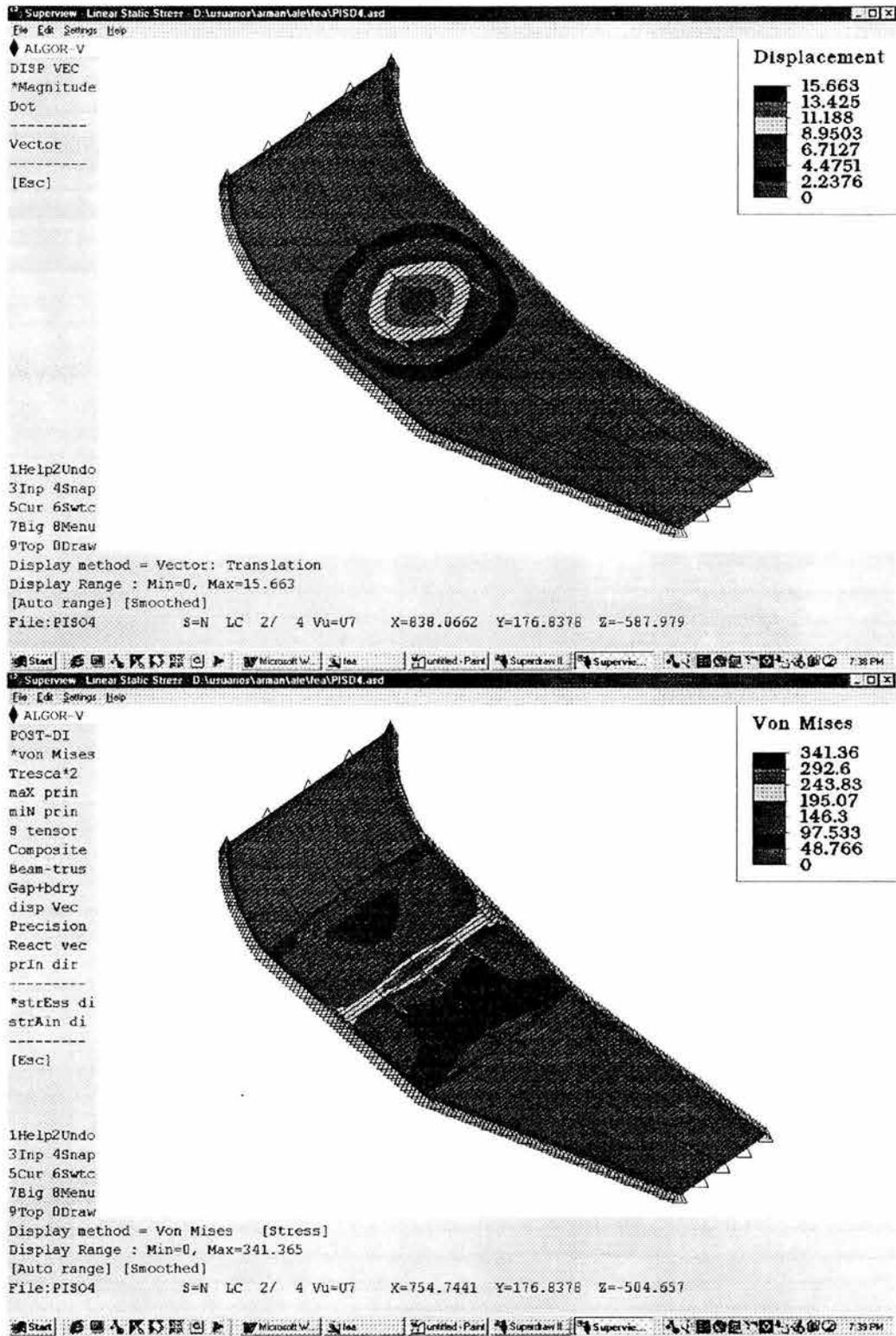


Fig. 5.24. Representación en código de barras de colores del desplazamiento (arriba), y del esfuerzo de acuerdo al criterio de Von Mises (abajo)

Tercer caso. Impacto en la parte inferior del vehículo después de haber saltado

Condiciones de trabajo:

- Masa del vehículo (incluyendo la masa del piloto): 280 [kg]
- Velocidad del vehículo: 20 [Km/h]
- Longitud de la pendiente: 5 [m]
- Ángulo de la pendiente: 11.5°
- Tipo de material utilizado en el análisis: acero ASTM A-36
- Restricciones considerando que no hay desplazamientos ni rotaciones en los puntos de sujeción: alrededor de toda la pieza.
- Aplicación de fuerzas en los puntos: A y B (carga puntual); C y D. (carga distribuida).

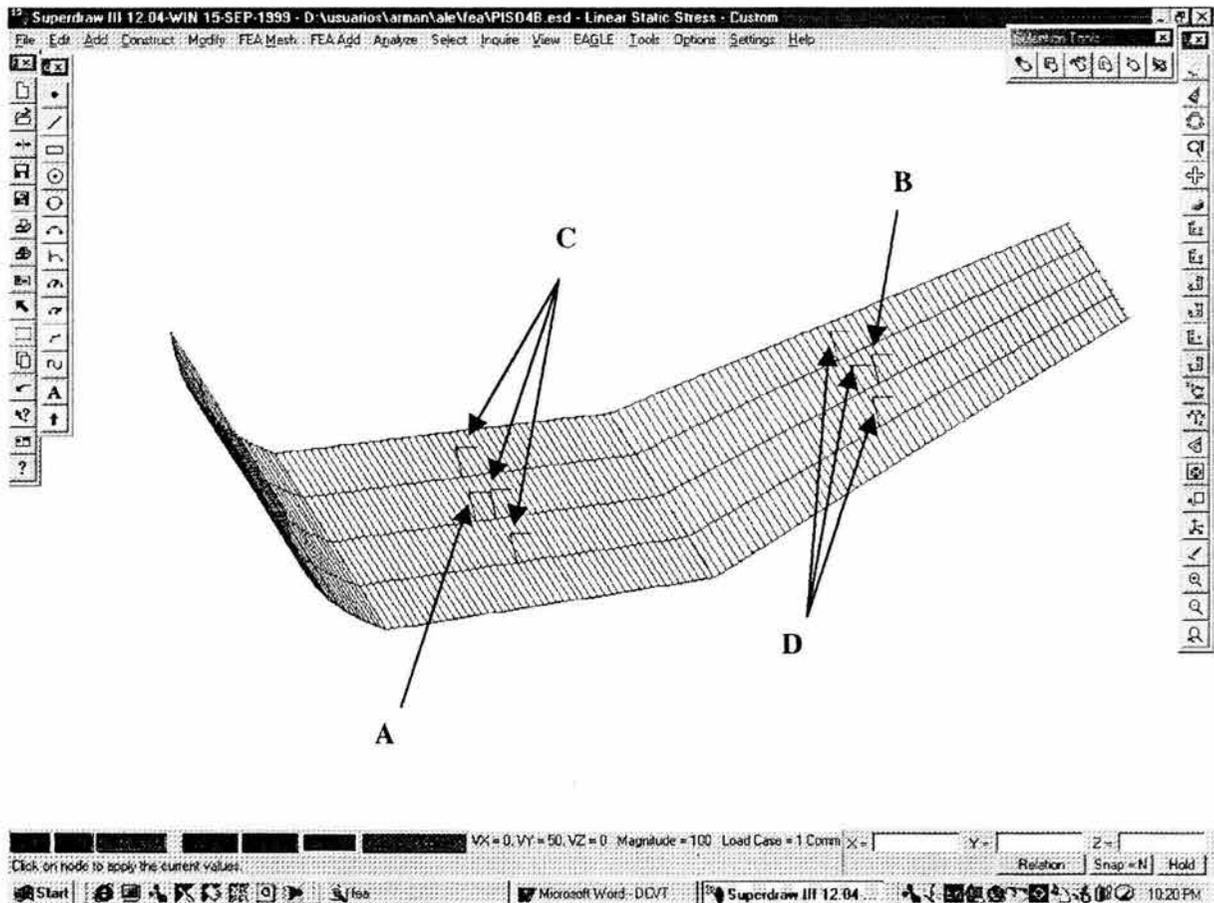


Fig. 5.25. Distribución de fuerzas y restricciones para el análisis del piso

Los resultados arrojados por el análisis son los siguientes:

<i>Tipo de análisis</i>	Esfuerzo Lineal
<i>Tipo de elemento</i>	Placa Lineal
<i>Número de nodos</i>	725
<i>Número de ecuaciones</i>	2574
Desplazamientos máximos	
<i>Punto A: F = 4000 [N]</i>	59.316 [mm]
<i>Punto B: F = 1333.33 [N]</i>	36.227 [mm]
<i>Punto C: F = 4000 [N]</i>	53.635 [mm]
<i>Punto D: F = 1333.33 [N]</i>	32.764 [mm]
Análisis con Von Mises	
<i>Punto A: F = 4000 [N]</i>	1440.6 [MPa]
<i>Punto B: F = 1333.33 [N]</i>	787.52 [MPa]
<i>Punto C: F = 4000 [N]</i>	1778.9 [MPa]
<i>Punto D: F = 1333.33 [N]</i>	949.11 [MPa]

Tabla 5.10. Resultados de los análisis de FEA del tercer caso de análisis



Fig. 5.26. Representación en código de barras de colores del desplazamiento (arriba), y del esfuerzo de acuerdo al criterio de Von Mises (abajo)

Cuarto caso. Análisis de impacto en la protección del CVT

Condiciones de trabajo:

- Velocidad a la que gira la polea: 4000 [rpm]
- Diámetro de la polea: 9.26 [pulg]
- Masa de la polea: 3 [Kg]
- Tipo de material utilizado en el análisis: acero C1010
- Restricciones considerando que no hay desplazamientos ni rotaciones en los puntos de sujeción: 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- Aplicación de fuerzas en los puntos: A y C (carga puntual); B y D (carga distribuida)

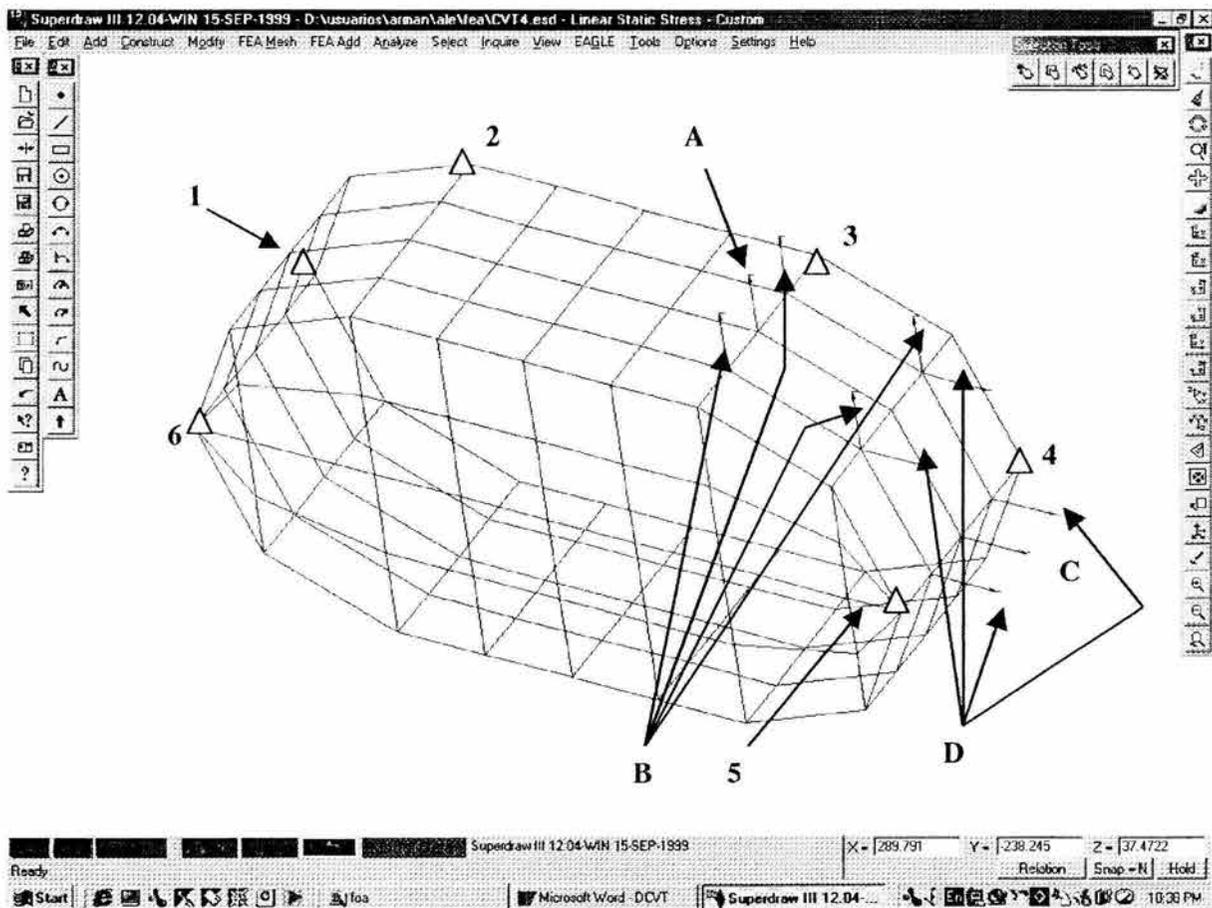


Fig. 5.27. Distribución de fuerzas y restricciones para el análisis de la protección del CVT

Los resultados arrojados por el análisis son los siguientes:

<i>Tipo de análisis</i>	Esfuerzo Lineal
<i>Tipo de elemento</i>	Placa Lineal
<i>Número de nodos</i>	101
<i>Número de ecuaciones</i>	570
Desplazamientos máximos	
<i>Punto A: $F = 2930 [N]$</i>	0.291 [mm]
<i>Punto B: $F = 732.5 [N]$</i>	0.082 [mm]
<i>Punto C: $F = 2930 [N]$</i>	0.082 [mm]
<i>Punto D: $F = 732.5 [N]$</i>	0.022 [mm]
Análisis con Von Mises	
<i>Punto A: $F = 2930 [N]$</i>	81.418 [MPa]
<i>Punto B: $F = 732.5 [N]$</i>	32.703 [MPa]
<i>Punto C: $F = 2930 [N]$</i>	39.912 [MPa]
<i>Punto D: $F = 732.5 [N]$</i>	16.718 [MPa]

Tabla 5.11. Resultados de los análisis de FEA del cuarto caso de análisis

5 • DISEÑO DE CARROCERÍAS PARA UN VEHÍCULO TODO TERRENO, UTILIZANDO LAS TÉCNICAS CAD Y CAE

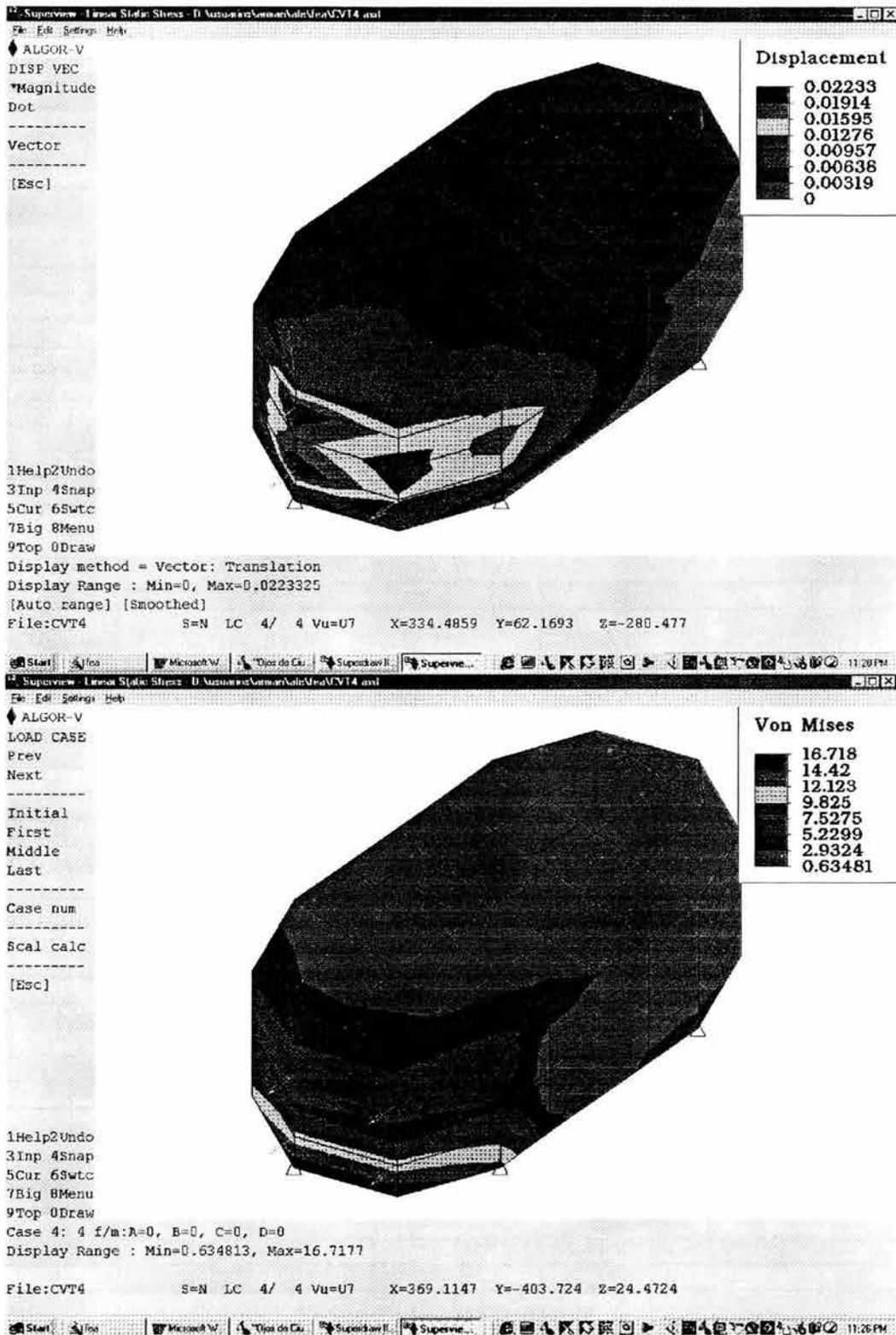


Fig. 5.28. Representación en código de barras de colores del desplazamiento (arriba), y del esfuerzo de acuerdo al criterio de Von Mises (abajo)

Los resultados obtenidos en los diferentes casos son aproximados, ya que en un análisis de impacto, influyen muchos factores que requieren de su instrumentación para obtener resultados más exactos, aunque con estos resultados se proporciona una idea de cómo se comporta el modelo ante una situación adversa; pero la finalidad de llevarlos a cabo es la de reducir los daños, optimizar el material y producir diseños de vehículos más seguros.

Con los resultados de esfuerzos y desplazamientos obtenidos por el FEM, se ha logrado formular una serie de parámetros que nos proporcionan fiabilidad en el diseño de la carrocería. Aunque ésta característica es bastante fácil de definir, hay que ser cuidadoso al hacerlo, ya que en un producto lo que cuenta es el 1% de errores que causan un problema y no el 99% de lo que se ha hecho bien. En cuanto a la confiabilidad, también hay un control adecuado sobre la proporción del deterioro durante su vida útil. Los tres factores más comunes del deterioro son la corrosión, la fatiga y el uso del producto, que habrá de tomarse en cuenta para su éxito.

Por otro lado, los resultados obtenidos a través de la aplicación de las técnicas CAD y CAE, son presentadas en la tabla 5.12, en donde podemos observar sus características y propiedades, que se han obtenido a través de un análisis de optimización físico.

Así, en el mercado mundial hay una variedad de materiales con mejores características que pueden dar mayores prestaciones, sin embargo, el bajo costo, la facilidad de adquisición y de fabricación, son factores importantes que se deben tomar en cuenta para la producción.

Aunque la complejidad que presentan algunos materiales para trabajarse o para disponer de ellos se ve como un impedimento, no por ello se dejará a un lado el interés de

aplicarlos en futuras carrocerías de vehículos mini-baja, ya que uno de los objetivos principales dentro de la ingeniería es la innovación del uso de materiales ligeros para mejorar el comportamiento estático y dinámico de los vehículos.

Propuesta	Acero	Aluminio	Fibra
<i>Masa</i>	Malo	Medio	Bueno
<i>Costo</i>	Bueno	Medio	Malo
<i>Resistencia Mecánica</i>	Bueno	Medio	Bueno
<i>Fabricación</i>	Bueno	Bueno	Malo
<i>Seguridad</i>	Bueno	Medio	Bueno
<i>Acabado Superficial</i>	Bueno	Bueno	Bueno
<i>Resistencia a la corrosión</i>	Malo	Bueno	Bueno
<i>Ensamble</i>	Medio	Bueno	Bueno

Tabla 5.12. Características de los materiales a utilizarse

Los métodos de sujeción que se utilizan para sujetar la carrocería al chasis, son por medio de remaches o por medio de velcro. Los remaches que se utilizan para sujetar los paneles, son remaches “pop” de aluminio del tipo clavo de aluminio de 1/8 [pulg] de diámetro. Los remaches se utilizan en los paneles que estarán siempre fijos y que son los más pesados; principalmente se utilizan en paneles fabricados de materiales metálicos. Por el contrario, el velcro se utiliza en los paneles que son más ligeros y que tendrán la función de ser desmontables, lo cual facilitará su ensamble. Para fijar el velcro a los paneles, se utiliza un adhesivo de contacto de baja viscosidad.

Por otra parte, para llevar a cabo el factor ergonómico del vehículo, se recurre a datos estadísticos, los cuales están basados en una población masculina, que va de los 18 a los 40 años, en el área metropolitana de la Cd. de México. El vehículo debe estar

diseñado para alojar a una persona cuyo promedio de estatura sea de 1.68 [m], que es el promedio de las personas que habitan en la zona metropolitana de la Cd. de México.

Con el promedio de estatura, se pueden determinar las dimensiones esenciales máximas para considerar la cabina del vehículo, como lo son: el ángulo de visión en el horizonte, la distancia entre codos, el alcance máximo frontal, etc. Así mismo, también se pueden ver los tipos y rangos de movimientos que realiza el piloto, cuando éste interactúa con el vehículo.

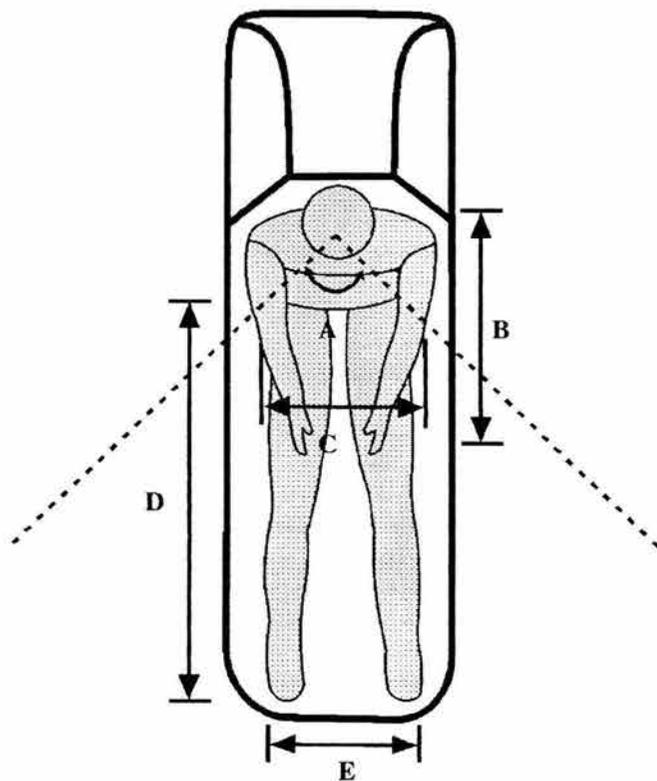


Fig. 5.29. Dimensiones esenciales máximas a considerar para diseñar la cabina de piloto

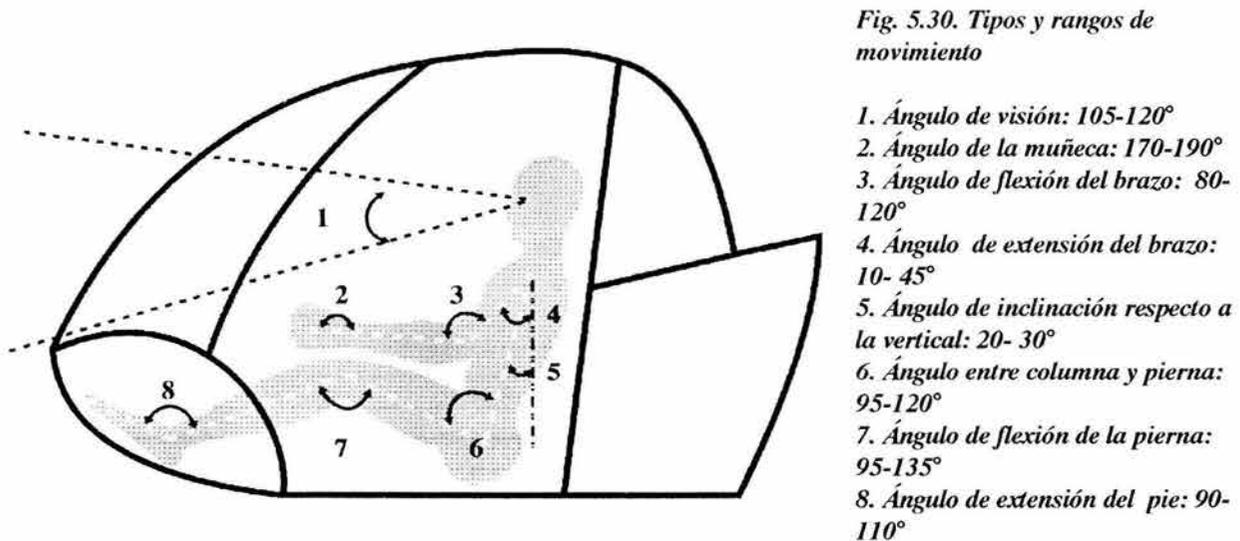
- A. Ángulo de visión del horizonte: 80-100°*
- B. Alcance máximo frontal: 50.8 [cm]*
- C. Distancia entre codos: 50-55[cm]*
- D. Alcance máximo frontal pie-glúteo: 96.52 [cm]*
- E. Distancia entre pies: 25.4-33.0 [cm]*

En este vehículo, principalmente se cuenta con tres tipos de instrumentos de control: interruptor de posiciones o pulsador manual, volante y pedales.

- *Interruptor de posiciones:* en este caso se trata de dos posiciones y se utiliza para apagar el motor, tanto en situaciones normales, como en caso de emergencia. El vehículo cuenta con dos interruptores; uno situado dentro de la cabina del piloto,

para que éste pueda operarlo, y otro situado en el panel lateral superior derecho, el cual será operado por los jueces del evento o por personal del equipo. También puede colocarse un botón pulsador manual, en lugar del interruptor de posiciones. La ubicación del interruptor dentro de la cabina, se basa en las medidas antropométricas como lo son el alcance funcional frontal del usuario.

- *Volante:* como es sabido, el volante se utiliza para darle dirección al vehículo; el diámetro del mismo y el diámetro de empuñadura, están basados en la rapidez para hacerlo girar y la fuerza que debe aplicarse. Por lo anterior, el diámetro del volante es de 27.94 [cm], y el diámetro de empuñadura es de 2.8 [mm]. Su ubicación está basada en los alcances funcionales frontales del usuario
- *Pedal:* en este vehículo, se utilizan un par de pedales los cuales controlan el freno y el acelerador. El tamaño del pedal está basado en el largo funcional y en el ancho del pie, medido con zapato, por lo que los pedales pueden tener las siguientes dimensiones: un ancho de 5 [cm] y un largo de 7 [cm] como mínimo. Su ubicación está basada en el alcance frontal pie-glúteo del usuario.



Por otra parte, es de suma importancia el color en este tipo de vehículo para poder distinguirlo del entorno físico en el que se desempeñan. Se pueden realizar numerosas combinaciones de colores que lo hagan distinguir dentro de la competencia. También es

importante la correcta selección del color, sobre todo para que sea agradable al público en general. Se pueden realizar combinaciones con todos los colores del espectro, destacando los colores amarillo y el rojo.

La carrocería, como se ha observado en los diferentes bosquejos de las propuestas iniciales, juega un papel importante en el vehículo mini-baja. No sólo consiste en la parte exterior del vehículo, sino que también es la presentación del mismo ante los clientes. Una carrocería bien diseñada deberá proteger al piloto y a los demás sistemas (sistema de transmisión, de dirección, etc) de cualquier objeto que pudiera introducirse dentro del vehículo. Tiene como función absorber parte de la energía presente en los impactos, y en caso de llegarse a romper, deberá hacerlo de tal forma que los fragmentos no dañen al piloto.

Su diseño deberá considerar la imagen que se le quiera presentar al cliente; los acabados superficiales deben ser de primera calidad y con colores llamativos, que despierten interés en el público comprador. El peso es un factor muy importante que debe tomarse en cuenta debido a la cantidad de piezas que conforman el sistema. Se debe realizar una adecuada selección del material para la fabricación, por lo que tendrá que ser de bajo peso, resistente a los impactos y a la corrosión, y que tenga un bajo precio. Otro factor que se debe tomar en cuenta es la facilidad en su fabricación y ensamble, lo que nos facilitará en el intercambio de piezas y en el mantenimiento, cuando se requiera. Debido a que el vehículo mini-baja estará expuesto a un terreno difícil, las paneles de la carrocería deberán estar firmemente sujetos, para que no se lleguen a soltar o a caer, ante las continuas vibraciones del vehículo o con los impactos con objetos en el camino.

Fabricación del prototipo mini-baja

Enseguida se explica el proceso de fabricación, así como, las pruebas físicas que se le realizaron a las carrocerías del prototipo.

Una vez realizado el diseño de las propuestas, con ayuda de las herramientas CAD y CAE, donde la selección del material, cálculos y una serie de análisis de elemento finito fueron aplicados, y donde los resultados obtenidos han sido satisfactorios, se procederá a fabricar el prototipo para realizar una serie de evaluaciones físicas, con las cuales se pretende obtener resultados que contribuyan a mejorar el estudio realizado.

Dentro de las pruebas que se realizan, están:

Pruebas de durabilidad, que consisten en detectar fracturas en los paneles de la carrocería y comprobar si el método de sujeción es el adecuado. Para esto se realizan pruebas de resistencia en una pista todo terreno, durante 4 horas de duración (para observar mejores resultados, es aconsejable probar en diferentes pistas, mensualmente durante un año). Observar el comportamiento de la carrocería en impactos contra objetos, que resulten en las pruebas de resistencia.

Para esto se ha tenido la oportunidad de fabricar el prototipo mini-baja, al cual se le han realizado evaluaciones en Estados Unidos y México. En el tema de evaluación se describen los resultados concretos de estas competencias.

Por otra parte, la fabricación de la carrocería se llevó a cabo como se describe a continuación:

- Para iniciar la construcción de la carrocería, primeramente se procede a obtener los planos de fabricación de cada uno de los paneles.
- Posteriormente, se realizan los paneles en un de material auxiliar (papel o cartulina) a escala 1:1; los paneles se montan sobre el chasis, con la finalidad de verificar su ubicación y su ensamble; de lo contrario, se realizan los ajustes necesarios.

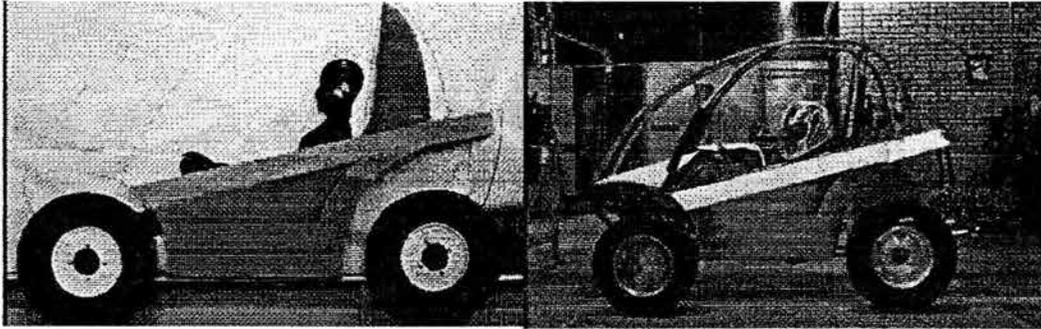


Fig. 5.31. Montaje de los paneles auxiliares para verificar su ubicación v su ensamble

- Posteriormente, se fabrican las piezas del material que se halla seleccionado.
 1. Fabricación de paneles de acero y aluminio: primero, éstos se cortan con ayuda de una cizalla y después se realizan los dobleces con una dobladora y/o una roladora manuales. Para el proceso de pintado, los paneles primero se lavan y desengrasan; segundo, se aplican las capas de priming; tercero, se procede a aplicar la pintura del color seleccionado; y por último, se aplica el esmalte, que le dará brillo.

Cabe mencionar que se ha utilizado lámina de acero niquelada, la cual cuenta con un acabado superficial muy bueno, ya que éste es liso y tipo espejo, con lo cual se ha evitado el proceso de pintado.

2. Fabricación de paneles de fibra de vidrio: primero se realiza el molde sobre el cual se aplicará la fibra; este molde puede ser de madera o de yeso. Posteriormente, sobre este molde, se aplica una capa de fibra de vidrio, seguida de una capa resina preacelerada; así hasta formar dos capas delgadas de este compuesto. Una vez que ha secado completamente, la pieza se desmolda; si es necesario se lija y se aplica pasta para resanar, para

que la superficie quede completamente lisa. Después de lo anterior, la pieza está lista para pintarse. En este proceso, primeramente los paneles se lavan y desengrasan; segundo, se aplican las capas de priming; tercero, se procede a aplicar la pintura de color seleccionado; y por último, se aplica el esmalte, que le dará brillo.

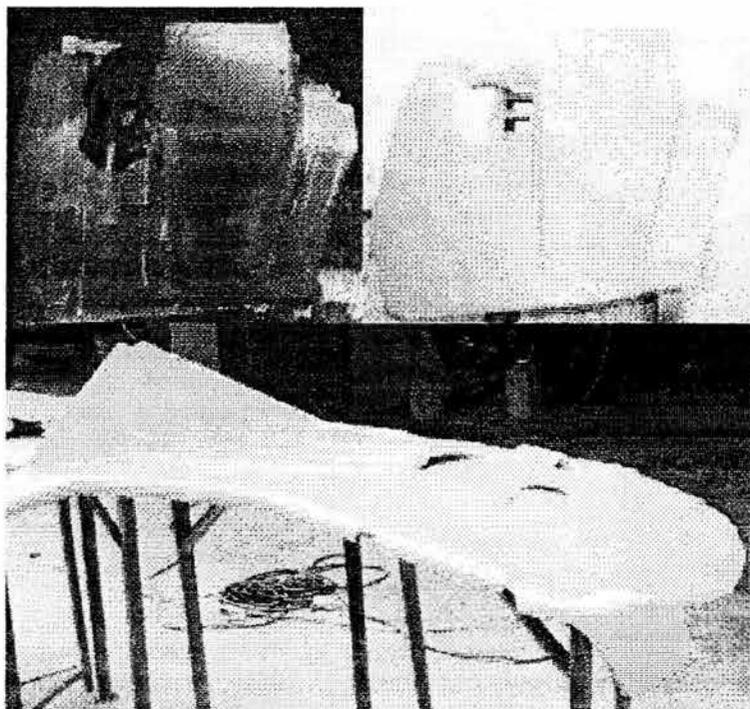


Fig. 5.32. Piezas fabricadas de fibra de vidrio

- Terminando el proceso de fabricación de los paneles, se pasa al proceso de ensamble, en donde la carrocería se monta sobre el chasis, sujetándola de acuerdo al método de sujeción más conveniente que se haya seleccionado.

Costos de la carrocería

Para complementar el diseño del producto, se deben analizar los costos implicados en el proceso de fabricación, el material, la mano de obra y los costos que indirectamente están relacionados, considerando que se trata de un prototipo.

Se procede a realizar el reporte de costos de dichos materiales (tomando en cuenta la comercialización y características de estos materiales en nuestro país), para lo cual se consideran los materiales con que se fabricarán todas las piezas que la forman y la mano de obra. Estas piezas pueden venir de dos fuentes: unas que son compradas, al ser piezas comerciales, y otras que son fabricadas bajo un diseño propio; para ambos casos se debe obtener el costo de producción. Con estos datos se realiza el reporte y se obtiene el costo total de la carrocería, que a continuación se presenta:

<i>Propuesta</i>	<i>Material</i>	<i>Costo material</i>	<i>Costo fabricación</i>	<i>Costo total (Costo material + Costo fabricación)</i>
1	Acero ASTM A-36	\$283.63	\$896.26	\$1179.26
	Acero 1010			
2	Fibra de vidrio	\$531.67	\$1462.89	\$1994.56
	Acero ASTM A-36			
3	Acero 1010	\$330.60	\$1207.48	\$1538.08
	Acero ASTM A-36			
4	Aluminio 1100 H14	\$303.30	\$1321.35	\$1624.65
	Fibra de vidrio			
	Acero ASTM A-36			
	Acero 1010			

Tabla 5.13. Reporte de costos de las propuestas de carrocerías

Dentro de los costos de material, se tiene el costo de los materiales con los que fueron realizadas cada una de las piezas que forman la carrocería, los materiales que se ocuparan para llevar a cabo el ensamble, como remaches, adhesivos, etc., la pintura y demás materiales misceláneos.

Dentro de los costos de fabricación, se tienen los costos de los procesos de manufactura, como pueden ser los procesos de corte y conformado, el proceso de pintado, que incluye los acabados superficiales, y el proceso de ensamble de cada una de las piezas.

Evaluación

Una vez que se ha visto el proceso de fabricación y teniendo la oportunidad de llevar a cabo la fabricación del prototipo, lo siguiente es realizarle una serie de pruebas que enseguida serán evaluadas. Dentro de la evaluación, hay que realizar observaciones sobre el diseño, ver si éste satisface las necesidades, si es confiable, si es de fácil mantenimiento, si será competitivo, etc.

Mecánica y funcionalmente, la carrocería resistió como era de esperarse, al ser probada en pistas muy accidentadas, como lo fue en el Lago Milford, Kansas, E.U. Por su geometría y material seleccionado para su fabricación, se obtuvieron excelentes resultados, llamando la atención de los demás competidores, jueces y público en general, a tal grado de poder realizar la comercialización del vehículo.

Otra de las evaluaciones, se llevó a cabo en Querétaro, México, en un par de ocasiones, en donde se compite en una pista difícil, sin embargo, la carrocería ha logrado resistir lo accidentado del camino. Fue en esta pista, en donde se tuvo la oportunidad de observar más a detalle el funcionamiento de la carrocería, ya que estuvo sometida a diferentes percances que permitieron comprobar su resistencia.

Uno de esos percances, fue el impacto frontal con una roca a 35 [Km/h] aproximadamente, en la cual la parte inferior del vehículo absorbió el impacto, a través de un desplazamiento de 40 [mm], que sufrió la lámina que forma el piso del vehículo.

El resultado obtenido en el análisis, se hizo para un caso extremo, como el sucedido en la realidad, por lo que se puede decir que la ayuda de la técnica FEA, para el análisis de la carrocería, ha sido acertada, y de esta manera, se ha logrado que el diseño de la carrocería sea el correcto, permitiendo que el piloto no tenga lesiones severas.

Otro de los percances lo sufrieron los paneles laterales, los cuales recibieron pequeños impactos y rayaduras, debido a lo complicado del camino y a la espesa vegetación que había en determinados sectores de la pista, sin que ninguna de los paneles desprendiera del chasis y sin afectar el funcionamiento del vehículo, y lo que es más importante, sin dañar la integridad del piloto.

Con esto, nuevamente se logra obtener un buen diseño, ya que la carrocería recibiría los impactos, protegiendo al piloto de éstos.

A pesar de no haber alcanzado resultados competitivos como se esperaba, se obtuvieron resultados experimentales de la carrocería del vehículo mini-baja, logrando así realizar parte de la evaluación, ya que para poder hacer totalmente una evaluación, se tendría que someter aún más a pruebas de durabilidad a largo plazo, para observar la fallas por fatiga y por ruptura de cada una de las piezas, con la finalidad de valorar su vida útil.

Otra evaluación se llevó a cabo en el evento realizado dentro de la SEFI Olimpiada 2000 y 2002, la cual consistió en una prueba de maniobrabilidad, en la que el vehículo recorrió un circuito de 300 [m] por más de 4 horas, soportando la destreza de más de 50 pilotos sin experiencia en la conducción de esta clase de vehículos, es decir, recibiendo un trato rudo, como por ejemplo, grandes impactos contra árboles y rocas; las partes de la carrocería que sufrieron más daños fueron la parte frontal y la parte inferior.

Con este evento se obtuvieron más elementos para determinar la vida útil de la carrocería, al no detectar rupturas ni desprendimiento de ninguna de las piezas que forman el conjunto de la carrocería.

De la misma manera, este evento fue una gran oportunidad para realizar un estudio de mercado, en donde fue evaluada la aceptación de esta clase de vehículo para recreación, lográndose una gran aceptación dentro de una parte de la comunidad universitaria, en su mayoría del sexo masculino, ya que éstos tuvieron la oportunidad de por primera vez conducir el vehículo, mostrando el interés de volverlo a hacer en futuros eventos y hasta de poder adquirir uno de ellos. Con esto se puede decir que la comunidad quedó satisfecha con el funcionamiento del vehículo, al catalogarlo como un vehículo seguro, fácil de conducir y ergonómico, con lo cual se cumple con otro de los objetivos propuestos en su diseño.

Por otra parte, se puede concluir que la vida útil de la carrocería es de 1.5 a 2 años, dependiendo del uso y del mantenimiento que se le dé. Para poder determinar una vida útil bajo falla por fatiga, se propone realizar estudios que vayan más a fondo, considerando tanto vibraciones como falla por fatiga e impacto, temas que son muy extensos para este trabajo de tesis.

Es importante mencionar que las pruebas realizadas en estos eventos, tienen como propósito evaluar los diseños, por lo que para su uso comercial, es recomendable un trato moderado del vehículo para mantener su vida útil.

En la siguiente tabla, se resumen los factores más importantes de las diferentes propuestas que fueron analizadas en este capítulo; con ayuda de esta información, se podrá obtener un mejor criterio para decidir cual de ellas presenta el mejor estudio de optimización. Utilizando una calificación del 1 al 10, y considerando que el 10 es la calificación más alta, se evalúan los siguientes factores:

Factores	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
<i>Distribución de esfuerzos</i>	9	8	9	7
<i>Resistencia a la flexión</i>	9	8	9	8
<i>Peso</i>	7	9	6	9
<i>Fabricación</i>	8	6	7	8
<i>Ensamble</i>	8	9	8	8
<i>Seguridad</i>	8	9	8	7
<i>Costo de fabricación</i>	8	6	8	8
<i>Ergonomía</i>	8	9	9	9
<i>Funcionalidad</i>	7	9	7	8
<i>Estética</i>	7	10	8	8
Total	79	83	79	80

Tabla 5.14. Factores más importantes de las propuestas analizadas

Como puede observarse, la propuesta 2 arrojó la calificación más alta, queriendo decir con esto que dicha propuesta es la que cumple con la mayor parte de los requerimientos establecidos por el reglamento y por el diseño propuesto, alcanzándose una optimización física en la geometría, en la resistencia mecánica, en el proceso de fabricación y en el factor ergonómico.

De esta manera, se prueba que la utilización de las técnicas CAD y CAE son una excelente herramienta de optimización. Así es como del diseño realizado en papel, que es donde se plasman las ideas iniciales, y después de haber pasado a través de una serie de pasos de diseño, cálculos y fabricación, se llega al producto final.

CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones, cabe mencionar, que el estudio de optimización físico, tanto geométrico como de resistencia mecánica, proceso de fabricación y del factor ergonómico, de la carrocería del vehículo mini-baja, utilizando las herramientas CAD/CAE, ha servido de gran apoyo para la obtención de resultados funcionales y concretos, ya que ha permitido:

- Ahorro en el tiempo de diseño
- Economizar material y espacios, reduciendo costos tanto en el material como en el proceso de fabricación
- Flexibilidad para obtener resultados de FEA en tiempo real, permitiendo interactuar con el modelo, en donde se modela el objeto y se modifica en un instante.
- Se logró trabajar con diversas variantes de fuerzas, dentro del análisis de elemento finito, obteniéndose varias situaciones a las que está expuesta la carrocería.
- En lo que se refiere a la metodología que se siguió para desarrollar este trabajo de tesis, fue muy simple y concreta, logrando los objetivos planteados.

Además, para enriquecer el estudio de este trabajo de tesis, se recomiendan las siguientes puntos para mejorar los resultados obtenidos en el análisis de la carrocería:

1. Usar materiales ligeros y resistentes como la fibra de vidrio, para fabricar los paneles que están expuestos a grandes impactos, y materiales ligeros, para los paneles que no sufran impactos severos.
2. Toda la carrocería deberá tener un peso máximo de 6 [Kg].
3. Evitar saltar con el vehículo a una distancia de 1 [m].
4. La vida útil de la carrocería es de aproximadamente de 2 años.

5. Respetar las medidas antropométricas del usuario, para obtener espacios óptimos dentro de la cabina.

Con respecto a los cálculos y análisis, se recurre a todas las herramientas matemáticas, conocimientos teóricos y software de computación. Tal fue el caso en la etapa de selección de la geometría y de materiales, en donde las matemáticas y la teoría fueron las herramientas requeridas para realizar una selección confiable y acertada.

El empleo de las herramientas de cómputo, hoy en día son muy utilizadas por los ingenieros, para realizar trabajos más detallados, precisos y de una manera más rápida. La explicación del proceso de dibujo en la herramienta CAD, permite al alumno tener una idea más clara y una guía acerca de cómo se debe llevar a cabo y qué debe considerar, para realizar un buen diseño.

Por otra parte, la utilización de la herramienta de elemento finito, es muy práctica y poderosa, con la que actualmente cuentan los ingenieros. Al aprender esta herramienta, se adquiere una gran capacidad de análisis de distintos tipos de diseño, con lo que se puede obtener una predicción más real de cómo se comportará el diseño, ante distintas circunstancias. Sin embargo, esta herramienta sólo nos da una aproximación de los análisis, por lo que hay que tener un amplio conocimiento de la teoría y de los fenómenos que se están analizado, para interpretar correctamente los resultados.

Desde el punto de vista ergonómico, se tomaron como base las características especificadas en el reglamento, y se optimizaron conforme a las características antropométricas del usuario, logrando una adecuada ubicación y distribución de los controles, con los que cuenta el vehículo. Con respecto a los colores del vehículo, éstos se han escogido de acuerdo al entorno físico en el que se va a desempeñar, es decir, el color del vehículo debe contrastar con el entorno, para que pueda ser identificado fácilmente. Los colores que se han utilizado principalmente en los vehículos, son el azul,

el verde, el rojo y el amarillo, por ser los colores que el ojo humano distingue más rápidamente.

Estas son algunas conclusiones, recomendaciones y sugerencias a seguir, sin embargo, lo más importante que se puede concluir es que a través del proyecto SAE Mini-Baja UNAM, se han realizado una serie de pruebas que se han transmitido en experiencia. Así mismo la formación profesional que he obtenido, ha sido muy satisfactoria, debido a que:

- He formado parte de equipos multidisciplinarios de trabajo, con la finalidad de enriquecer mis conocimientos
- He Llevado a la práctica los conocimientos adquiridos durante mi formación en las aulas
- He acrecentado mi habilidad para desarrollar problemas reales
- He desarrollado mi capacidad en la toma de decisiones
- He teneido la oportunidad de delegar responsabilidades
- He teneido la oportunidad de representar a la Universidad, y a México, en competencias internacionales.

Todas estas actividades tienen como finalidad, el complementar nuestra preparación como ingenieros en todos los ámbitos posibles, para que una vez que terminamos los estudios universitarios, tengamos más herramientas que podremos utilizar en nuestra vida profesional.

APÉNDICE A

Ergonomía

Son abundantes las definiciones y el alcance de éstas con respecto al campo de actuación de la ergonomía, por lo que se puede agrupar las distintas definiciones del concepto de ergonomía de la siguiente forma:

- a. La ergonomía como tradición acumulativa del conocimiento organizado de la interacciones de las personas con su ambiente de trabajo.
- b. La ergonomía como conjunto de experiencias, datos empíricos, y de laboratorio; muchas definiciones se sitúan bajo esta epígrafe. Desde esta concepción la ergonomía es un conjunto de actividades planificadas y preparadas para la concepción y el diseño de los nuevos puestos de trabajo, y para el rediseño de los existentes.
- c. La ergonomía, como una tecnología, es una aproximación fruto del intento de aplicar la gestión científica al trabajo y al ocio.
- d. La ergonomía como plan de instrucción, haciendo hincapié en los procesos mentales de las personas.
- e. La ergonomía como herramienta en la resolución de problemas, sobre todo en el ámbito de los errores humanos y de toma de decisión.
- f. Por ultimo, aparece una nueva visión de la ergonomía donde se enfatiza el carácter singular de su metodología que posibilita un estudio unitario y flexible de los problemas, tanto laborales como extralaborales, de interacción entre el usuario y el producto/servicio.

A modo de resumen, se puede decir que la ergonomía trata de alcanzar el mayor equilibrio posible entre las necesidades/posibilidades del usuario y las prestaciones/requerimientos de los productores y servicios.

Sistemas manuales

Estos sistemas constan de herramientas manuales y otras ayudas que se suman al operador humano que controla la operación, utilizando su propia energía física como fuente energética. El operador transmite a, y recibe de sus herramientas una gran cantidad de información, actúa generalmente a su propia velocidad y puede explotar en seguida su habilidad para actuar como un sistema de 'alta variedad'.

Sistemas mecánicos

Estos sistemas (también llamados sistemas semiautomáticos) se componen de partes físicas bien integradas, como son los diferentes tipos de herramientas mecánicas, generalmente diseñadas para realizar sus funciones con ligeras variaciones. La energía suele ser proporcionada por la máquina y la función del operador es esencialmente la de control, en general, a través del uso de aparatos o mecanismos modificadores.

Sistemas automáticos

Cuando un sistema está completamente automatizado, realiza todas las funciones operacionales, incluyendo el sentido, el proceso de elaboración de la información, y la toma de decisiones y de acciones. Un sistema tal, necesita estar completamente programado para poder tomar medidas en caso de que se presenten contingencias que sean sentidas. La mayoría de los sistemas automáticos son del tipo cerrado. Aunque los sistemas automatizados totalmente fiables no parecen posibles, al menos en nuestro

tiempo, es probable que ciertas funciones humanas primarias en tales sistemas sean las de orientación, programación y mantenimiento.

Estas distinciones entre sistemas manuales, mecánicos y automáticos, en realidad no están claramente diferenciadas. De hecho, dentro de cualquier sistema dado, los diferentes componentes (que pueden ser considerados como subsistemas) pueden variar en el grado de sus características manuales frente a las automáticas.

<i>Clase de sistema y modo de operación</i>	<i>Componentes</i>	<i>Ensamblajes entre componentes</i>	<i>Ejemplos</i>
1. Sistema manual, operador directo, flexible.	Herramientas o ayudas manuales	Un operador humano	Cocinero mas utensilios, artesano más herramientas, cantante mas amplificador
3. Sistema automático, predeterminado, programado o adaptable.	Sistemas mecánicos movidos energéticamente	Cables, pipas, conductos, palancas, etc., formando un circuito de control	Planta de procesado, teléfono, computadora

Tabla A.1. Algunos sistemas de máquinas clasificados según el modo de operación y la naturaleza física de sus componentes y ensambles.

Tipos de sistemas

Un sistema cerrado es permanente, realizando algún proceso que requiere control continuo y exige un continuo *feedback* para una operación adecuada. El *feedback* provee información sobre cualquier enmienda a hacer en el proceso de control continuo.

Un sistema abierto es el que, cuando está activado, ya no necesita más control, al menos no puede ser intervenido. En este tipo de sistema, una vez que el sistema ha sido puesto en funcionamiento, ya no se puede ejercer algún tipo de control. Aunque en tales sistemas el feedback no puede ejercer un control continuo, si puede, llegado el caso, servir para mejorar operaciones posteriores. En la mayoría de los sistemas abiertos, existe casi inevitablemente algún feedback interno al alcance del operador, incluso cuando es mantenido fuera del mismo.

Tipos de compatibilidad

Compatibilidad espacial: Para este tipo de compatibilidad, que también se denomina geométrica, se ha demostrado experimentalmente que cuando existe una correspondencia homotética entre indicadores y controles disminuye el número de errores y el tiempo de respuesta. Diferentes experimentos ya han demostrado que las personas poseen esquemas especiales muy concretos.

Compatibilidad de movimiento: Al accionar un control para “responder” a la información emitida por un indicador, el usuario debe realizar un movimiento sobre dicho control. Se ha demostrado que ese movimiento, para que la respuesta sea correcta, debe ser compatible con la información del display, con el propio usuario y con el funcionamiento del sistema.

Por otra parte, los movimientos de los indicadores y controles también influyen en la compatibilidad:

- El indicador debe girar en el mismo sentido que el mando.
- Los valores de la escala deben aumentar de izquierda a derecha, o de abajo hacia arriba, o en el sentido de las agujas del reloj.

Compatibilidad cultural: Las personas poseen referencias culturales que ponen en funcionamiento ante determinados estímulos. La compatibilidad conceptual no sólo se restringe a los colores, ya que el movimiento en el sentido horario, o la lectura de izquierda-derecha, también son un problema de compatibilidad cultural.

Se debe tener especial cuidado en el diseño de productos transculturales, ya que el diseño que se tome como modelo de funcionamiento sólo de nuestros esquemas culturales, puede ser fuente de errores cuando este objeto se implemente en otras culturas.

Compatibilidad temporal: Los sistemas están compuestos por elementos que mantienen unas referencias temporales críticas, el no respetar la secuencia, las cadencias o las tolerancias horarias puede llevar a invalidar el sistema o ser fuente de error, avería o accidente.

Sistemas de unión

Remaches pop

Muchas veces el término “pop” es aplicado para todos los remaches ciegos, pero corresponde a uno de éstos en particular (patentado por George Tucker Eyelet Co. Ltd.) Consiste en un remache hueco ensamblado a un clavo o mandril. Una vez introducido en las perforaciones de las piezas por unir, unas mordazas jalan el mandril introduciendo su cabeza en el vástago del remache. Éste se expande y las piezas quedan unidas al reventarse el mandril. Existen pinzas manuales y herramientas neumáticas especializadas para colocarlos.

Cuando se trata de remaches del tipo *breakstem*, la cabeza permanece dentro del remache como un tapón. Si son del tipo *breakhead* la cabeza sale y el remache queda abierto.

El remache sellado Imex tiene el clavo completamente encerrado, su cabeza es de cúpula. Esta particularidad, aunada a una gran expansión durante el remachado, lo hacen completamente hermético al agua y a una presión de hasta 500 [lb/pulg²]. Tiene muy buena resistencia a la vibración y a la fuerza cortante. Por su gran fuerza de remachado no es recomendable para materiales suaves o quebradizos.

Los remaches pop pueden ser removidos para mantenimiento y reposición de las piezas que sujetan. Para ello basta introducir la broca del diámetro de la perforación original en el centro del remache. El remache pop ranurado Serres fue desarrollado especialmente para utilizarse en materiales suaves o quebradizos como aglomerados, triplay y fibra de vidrio.

Los remaches pop se fabrican en una gran combinación de materiales.

<i>Remaches pop (descripción)</i>	<i>Diámetros</i>				<i>Largos</i>			
	Desde		Hasta		Desde		Hasta	
	[mm]	[pulg]	[mm]	[pulg]	[mm]	[pulg]	[mm]	[pulg]
De aluminio estándar	2.38	3/32	4.76	3/16	5.95	15/64	16.66	21/32
De aluminio, clavo de acero	2.38	3/32	4.76	3/16	5.95	15/64	16.66	21/32
De aluminio, sellado	3.17	1/8	4.76	3/16	6.35	1/4	14.28	9/16
De aluminio, clavo de aluminio	3.17	1/8	4.76	3/16	4.36	11/64	13.49	17/32
De acero, clavo de acero	3.17	1/8	4.76	3/16	5.95	15/64	16/66	21.32

Tabla A.2. Materiales con los que se fabrican los remaches pop

Diseño de curvas

Curvas de Bezier

A partir de un conjunto de puntos $P_1 \dots P_n$ en el plano o en el espacio, se puede obtener una curva de Bezier ponderando sus coordenadas mediante unas determinadas funciones de forma $U_k(t)$. Suponiendo que se hayan introducido los puntos en el plano x - y , ($P_k = x_k y_k$), se pueden calcular otros puntos intermedios de la curva de Bezier, $x(t)$, $y(t)$ con $0 \leq t \leq 1$:

$$x(t) = \sum_{k=1}^n U_k(t) \cdot x_k \qquad y(t) = \sum_{k=1}^n U_k(t) \cdot y_k$$

o, abreviadamente:

$$P(t) = [x(t), y(t)] = \sum_{k=1}^n U_k(t) \cdot P_k$$

donde:

$$U_k(t) = \binom{n-1}{k-1} t^{k-1} (1-t)^{n-k}$$

En este caso se genera una curva polinómica de grado $n-1$. La curva de Bezier cumple además las siguientes propiedades:

1. Es una curva que parte del punto inicial P_1 cuando $t=0$ y llega al punto final P_n cuando el parámetro t vale 1. En cambio, no pasa por los puntos intermedios $P_2, P_3 \dots P_{n-1}$.
2. Aunque no interpole los puntos introducidos, la forma de la curva se parece a la de la poligonal $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$. Por ello es posible variar la forma del perfil diseñado modificando la posición de alguno de estos puntos.
3. La dirección de salida y llegada de la curva viene determinada por los puntos P_2 y P_{n-1} : la curva sale del punto P_1 en dirección $P_1 P_2$ y llega a P_n en dirección $P_{n-1} P_n$.
4. Es un método global: la modificación de un solo punto afecta a la forma de toda la curva.

En la figura A.1 puede observarse una curva de Bezier con los puntos que han sido introducidos para definirla, y un conjunto de cuatro curvas de Bezier unidas con continuidad de la pendiente.

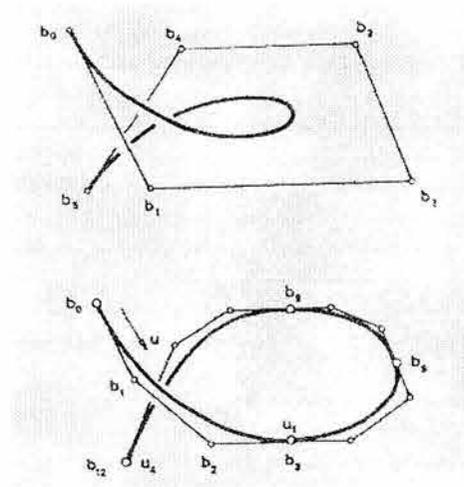


Fig. A.1. Curvas de Bezier. Arriba, la curva generada por los seis puntos $b_0 \dots b_5$. Abajo, conjunto formado por cuatro curvas de Bezier, cada una definida mediante cuatro puntos. Los puntos de conexión son b_3, b_6, b_9

Interpolación con splines cúbicos

Ahora el enfoque es distinto al empleado en las curvas de Bezier; en vez de una única función polinómica de grado $n-1$, se tiene una ecuación distinta para cada intervalo; todas ellas son polinomios cúbicos, que conectan adecuadamente entre sí.

- **Splines cúbicos locales**

En este caso, a partir del conjunto de puntos $P_1 \dots P_n$ introducidos (que se continuará suponiendo en el plano $x-y$, aunque podrían ser puntos cualesquiera en el espacio), se obtiene una curva que pasa por todos los puntos, tiene un comportamiento local al modificar la posición de algunos de ellos, y es un polinomio cúbico en cada intervalo entre dos puntos consecutivos.

El proceso completo de obtención del spline cúbico local a partir de un conjunto de puntos $P_1 \dots P_n$ es:

- a) En una primera fase, se estima el valor de la pendiente (x'_k, y'_k) . Las derivadas se calculan respecto al parámetro t en cada uno de los puntos $P_k (x'_k, y'_k)$. En el cálculo de estas pendientes se utilizan normalmente fórmulas de interpolación de las coordenadas de los puntos cercanos al P_k . Cabe distinguir dos casos: si la curva es abierta, empezando en P_1 y terminando en P_n , normalmente se utilizan fórmulas especiales de cálculo de las pendientes en estos extremos; en cambio, si la curva es cerrada, la fórmula utilizada es idéntica para todos los puntos, ya que para todo punto queda perfectamente definido cuál es su predecesor y cuál es el siguiente.
- b) En una segunda fase, se puede demostrar que la ecuación de la curva final en el intervalo entre P_k y P_{k+1} es:

$$[x(t), y(t)] = [1t^2t^3] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k & y_k \\ x_{k+1} & y_{k+1} \\ x'_k & y'_k \\ x'_{k+1} & y'_{k+1} \end{bmatrix}$$

donde el parámetro t varía entre 0 y 1: en el punto P_k tenemos $t=0$ y en P_{k+1} $t=1$. Los splines cúbicos locales están formados por polinomios cúbicos distintos en cada intervalo. Es fácil comprobar que poseen continuidad C^1 : la pendiente es continua a lo largo de toda la curva, incluso al pasar de una cúbica a otra. Además, a diferencia de las curvas de Bezier, su comportamiento es local: la modificación de un punto afecta sólo a una parte de la curva completa.

La figura A.2 muestra un ejemplo de construcción de una curva cerrada. Como última ventaja respecto a las curvas de Bezier, se puede indicar que no es preciso esperar que se hayan introducido todos los puntos para dibujar la curva; ésta puede irse dibujando de forma automática a medida que se van introduciendo nuevos puntos al sistema.

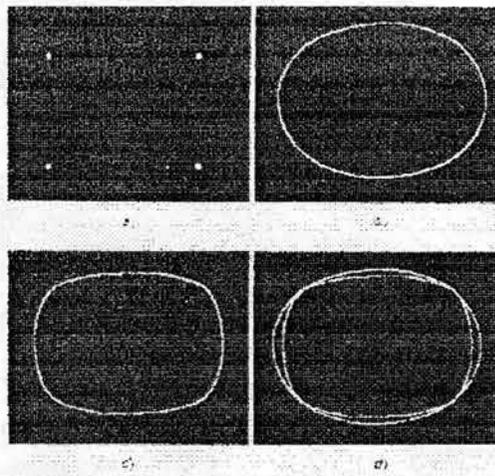


Fig. A.2. Diseño de curvas con splines cúbicos. En a) los 4 puntos ingresados por el usuario. En b) el spline cúbico global que los interpola. En c) los mismos cuatro puntos interpolados por un spline cúbico local. En d) se muestran las dos curvas superpuestas y se observa la mayor continuidad (suavidad) de la curva b)

- Splines cúbicos globales

En este caso, también se genera una curva formada por trozos de cúbicas, siguiendo los mismos pasos anteriores (estimación de las pendientes, generación posterior de la cúbica en cada intervalo). La única diferencia es que ahora las pendientes se calculan de manera que quede asegurada la continuidad C^2 (de la pendiente y de la curvatura) entre las distancias cúbicas que forman el spline completo. El proceso de cálculo de las pendientes a partir de las coordenadas de los puntos, en este caso, no es trivial y lleva a tener que resolver un sistema lineal de n ecuaciones con n incógnitas. Por otra parte, este sistema, que en el caso de curvas cerradas da una única solución, contiene dos grados de libertad en el caso del diseño de curvas abiertas. Ello permite una cierta flexibilidad al usuario por lo que respecta a la elección del comportamiento de la curva de las proximidades de los extremos P_1, P_n .

En consecuencia, se puede concluir que en los splines cúbicos globales:

- 1) Al igual que las curvas de Bezier, es preciso conocer todos los puntos $P_1 \dots P_n$ a priori, para poder resolver el sistema de ecuaciones que se plantea.
- 2) Poseen comportamiento global. La modificación de un punto afecta a la forma de toda la curva.

- 3) Se tiene continuidad de la curvatura, lo que da lugar a una curva mucho más suave que la obtenida en el caso de splines locales. En realidad, se puede demostrar matemáticamente, que es la curva de máxima suavidad que pasa por los puntos introducidos. Esta es la razón por la cual los splines cúbicos globales son ampliamente utilizados en el diseño geométrico de curvas y superficie. La figura anterior presenta la obtención de una curva cerrada a partir de cuatro puntos de paso definidos. En ella se pueden comparar los splines globales con los locales, que únicamente proporcionan continuidad de la pendiente y, por tanto, curvas menos suaves.

Generación de curvas con B-spline

En un principio, el método de construcción de curvas mediante B-splines, parece muy similar al basado en las curvas de Bezier: a partir de un conjunto de puntos $P_1 \dots P_n$ (conocidos habitualmente como vértices de control) se genera una curva por combinación lineal de los P_k mediante un conjunto de funciones base o funciones de forma $B_k(t)$:

$$x(t) = \sum_{k=1}^n x_k \cdot B_k(t) \qquad y(t) = \sum_{k=1}^n y_k \cdot B_k(t)$$

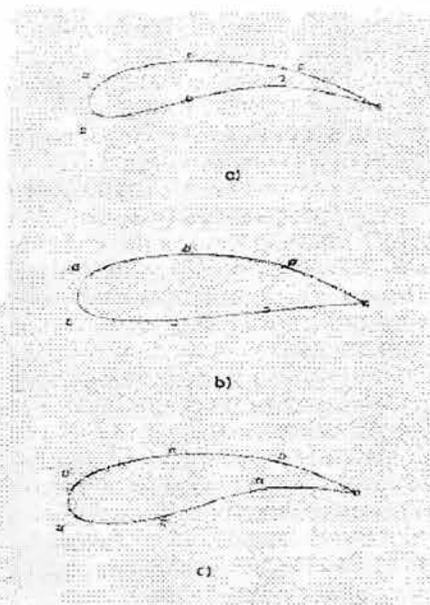
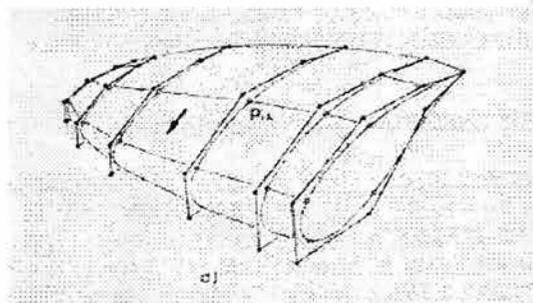
La expresión matemática de las funciones base es, sin embargo, distinta a la de las $U_k(t)$ que aparecían en las curvas de Bezier. Ahora, las $B_k(t)$ son funciones polinómicas a trozos, y por ello la curva final $[x(t), y(t)]$ será también un conjunto de polinomios unidos convenientemente. En el caso particular de que las $B_k(t)$ estén formadas por trozos de polinomios cúbicos, se obtiene los B-splines cúbicos, que son los más utilizados. En este caso:

- 1) Se puede demostrar que, con una elección adecuada de los puntos de control $P_1 \dots P_n$ se pueden generar las mismas curvas que se obtendrían con los splines cúbicos globales; en este sentido, se está ante una generalización de aquellos.

- 2) Asimismo, es posible generar las curvas de Bezier, con $n=4$; y en general, se puede demostrar que las curvas de Bezier con n puntos pueden generarse como un caso particular de los B-splines de grado $n-1$.
- 3) Finalmente, los B-splines permiten especificar en cada punto la continuidad deseada; si todos los vértices de control P_k son distintos, se obtendrá una curva con curvatura continua, al igual que los splines cúbicos globales. Si en cambio, se sitúan dos vértices de control en la misma posición, en este punto tendremos sólo continuidad de la pendiente. E incluso se podrá generar una discontinuidad en la pendiente (un vértice) en la curva, situando tres vértices de control coincidentes. Esta última propiedad es la que da lugar a la conocida flexibilidad de los B-splines en el diseño de curvas y a su amplia utilización.

La figura A.3a, b y c presenta el diseño de un perfil de ala de avión. Para generar la discontinuidad de la pendiente en el punto posterior se han hecho coincidir tres vértices de control. Asimismo se observa el efecto local de la modificación de uno de los vértices de control y lo fácil que es ajustar la forma de la parte inferior del ala. El único inconveniente de este método es tener que trabajar con puntos de control y no con puntos de paso, aunque este problema se puede subsanar con la generación automática de los vértices de control a partir de puntos de paso.

Fig. A.3. Diseño de un ala de avión con B-splines. En a) puntos entrados por el usuario y perfil obtenido. En b) y c) se muestra el efecto local producido al variar la posición de los dos puntos inferiores. En d) superficie obtenida por interpolación cardinal de varios perfiles



Fundamentos del Análisis de Elemento Finito

La mayoría de los paquetes software de FEA no requieren el conocimiento de procedimientos matemáticos, ya que éstos se realizan dentro de los programas. Los cálculos requieren de un conocimiento básico de álgebra matricial. El estudio se limita al uso de FEA en análisis de tensiones. La mayoría de los métodos de trabajo con tensiones del FEA se basan en el uso de valores de rigidez para establecer los desplazamientos de los nodos de la retícula cargada y obtener así la tensión de cada elemento.

La rigidez de un material elástico se puede dar como:

$$F = kx$$

donde: $k = \text{rigidez}$
 $F = \text{fuerza aplicada}$
 $x = \text{desplazamiento}$

Mientras que el desplazamiento varía con la fuerza aplicada, la rigidez permanece constante para un componente concreto.

Matriz de rigidez

Si se considera un elemento simple constante en una varilla fina, ligera y elástica de valor de rigidez k (fig. A.4). En el caso *A*, se supone que el *Nodo 1* está fijo y que el *Nodo 2* está libre para moverse en un desplazamiento x_2 bajo la acción de una fuerza p_2 . Entonces:

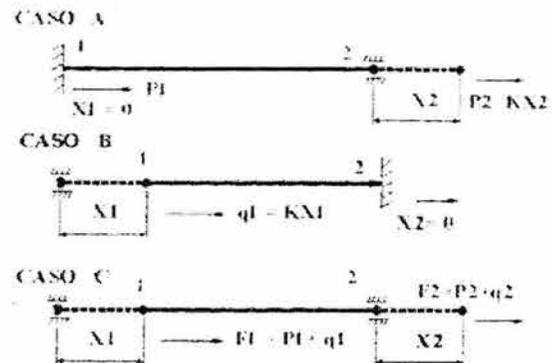


Fig. A.4. Elemento varilla delgada

$$p_2 = k x_2$$

y para el equilibrio:

$$p_1 + p_2 = 0$$

es decir:

$$p_1 = -p_2$$

En el caso *B*, se supone que el *Nodo 2* está fijo y que el *Nodo 1* está libre para moverse en un desplazamiento x_1 bajo la acción de la fuerza q_1 . Entonces:

$$q_2 = k x_2$$

y para el equilibrio:

$$q_1 + q_2 = 0$$

es decir:

$$q_2 = -q_1$$

En el caso *C*, se supone que los *Nodos 1* y *2* están libres. Así pues se pueden combinar los casos *A* y *B* con fuerzas resultantes F_1 y F_2 en los *Nodos 1* y *2* respectivamente. Combinando los casos *A* y *B* en el *Nodo 1*.

$$F_1 = p_1 + q_1 = -p_2 + q_1 = -kx_2 + kx_1 = kx_1 - kx_2$$

Combinando los casos *A* y *B* en el *Nodo 2*:

$$F_2 = p_2 + q_2 = p_2 - q_1 = kx_2 - kx_1 = -kx_1 + kx_2$$

Así, en resumen:

$$F_1 = kx_1 - kx_2$$

$$F_2 = -kx_1 + kx_2$$

Esto puede también expresarse en forma de matriz:

$$\begin{array}{c} \text{Fuerzas Nodales} \rightarrow \left(\begin{array}{c} F_1 \\ F_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cc} k & -k \\ -k & k \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \end{array} \right) \leftarrow \text{Desplazamientos Nodales} \\ \uparrow \\ \text{Matriz de rigidez} \end{array}$$

La matriz de rigidez se puede considerar como el bloque principal de construcción de todas las tensiones de trabajo en los cálculos de la retícula de elementos finitos.

Considerando que se tiene una retícula cuyos elementos son dos varillas delgadas y ligeras de iguales coeficientes de rigidez k , conectadas en serie, y sometidas a una fuerza en cada uno de los tres nodos (fig. A.5)

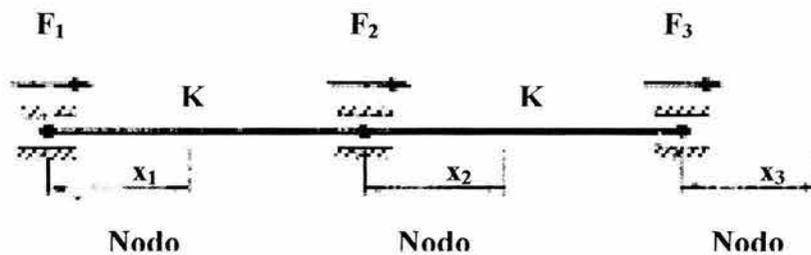


Fig. A.5.

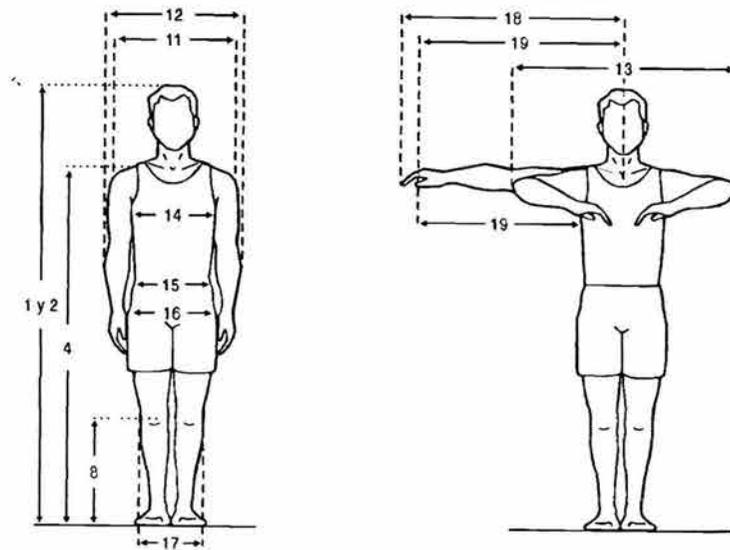
Utilizando los mismos argumentos que en el caso del elemento simple, se puede obtener la siguiente ecuación de matrices:

$$\left(\begin{array}{c} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccc} k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & -k & k \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \right)$$

APÉNDICE B

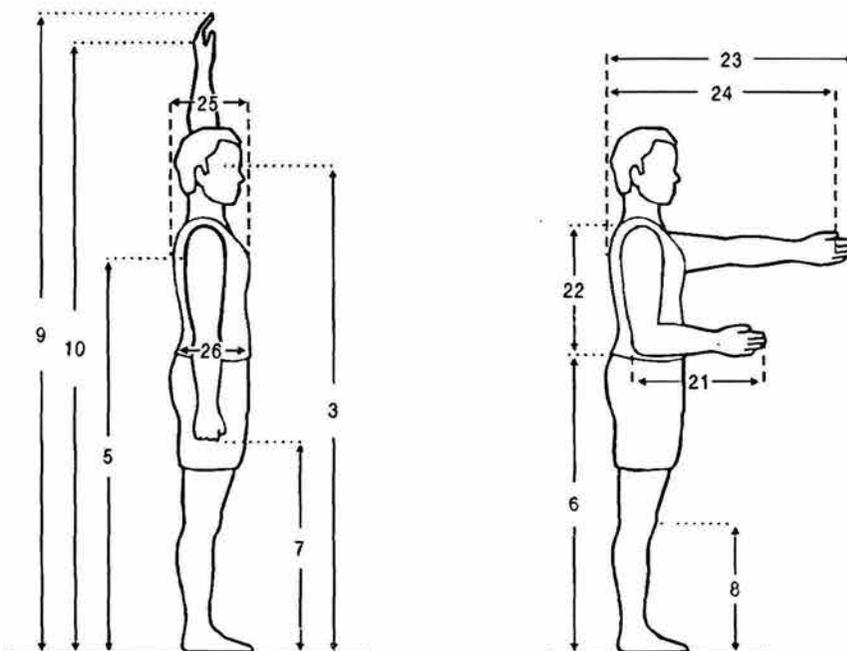
Medidas antropométricas

Posición de Pie



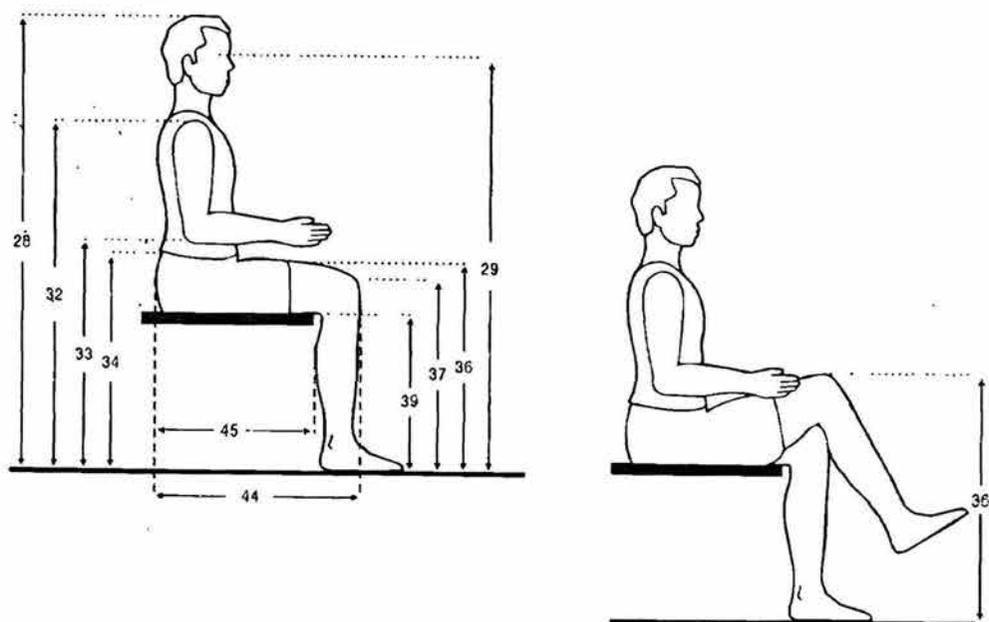
Dimensiones	(n = 974)				
	Promedio	D.E.	Percentiles		
	[mm]	[mm]	5 [mm]	50 [mm]	95 [mm]
1. Estatura con zapatos	1676.80	56.65	1588.44	1675.80	1779.59
2. Estatura sin zapatos	1647.58	56.44	1560.09	1646.23	1747.75
4. Altura del hombro	1372.69	56.34	1288.44	1369.85	1469.75
11. Ancho bideltoideo	471.59	30.59	424.18	470.09	525.65
12. Ancho codo-codo	504.73	42.44	437.44	502.54	574.13
13. Ancho máximo codo-codo	875.67	53.56	801.20	877.22	950.80
14. Ancho de tórax	324.55	28.72	281.77	322.50	373.97
15. Ancho de cintura	311.07	30.90	265.69	310.00	360.13
16. Ancho de cadera	330.61	20.76	300.47	329.98	363.35
17. Ancho de rodillas	222.88	21.31	194.70	220.64	257.57
18. Alcance máximo lateral	867.84	38.38	807.38	867.54	933.57
19. Alcance funcional lateral	1025.62	46.69	954.68	1025.14	1099.60
20. Alcance func. lat. sin cuerpo	627.42	38.58	564.38	626.33	691.75

Posición de Pie



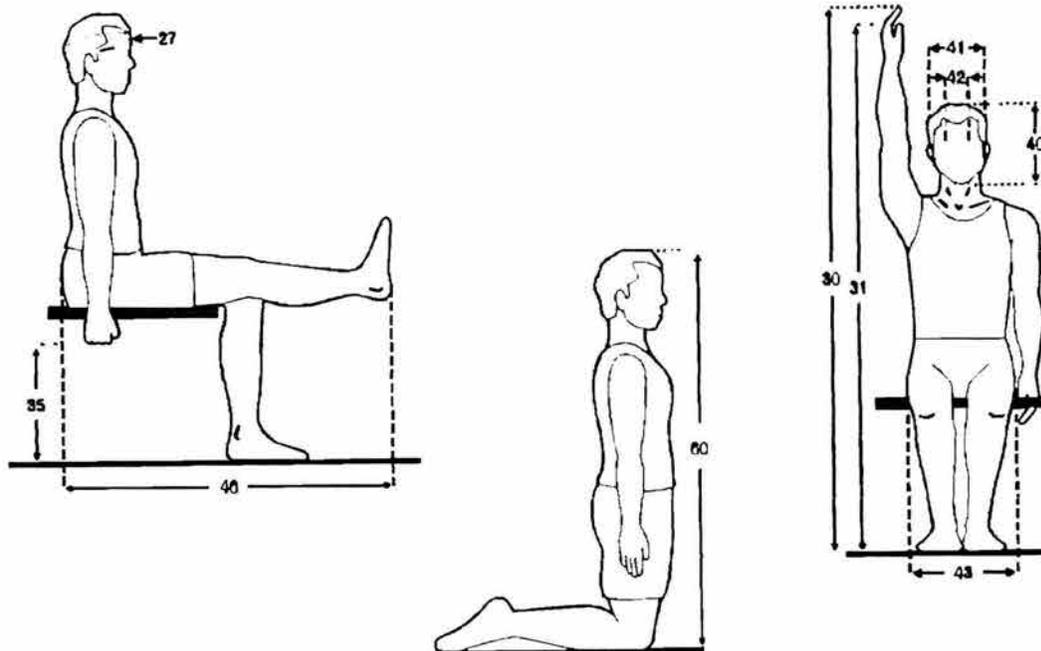
Dimensiones	(n = 974)				
	Promedio	D.E.	Percentiles		
	[mm]	[mm]	5	50	95
			[mm]	[mm]	[mm]
3. Altura de ojos	1547.50	58.73	1455.19	1546.72	1652.13
5. Altura de axila	1237.53	56.33	1149.75	1235.86	1333.59
6. Altura de codo	1031.19	49.51	960.08	1027.21	1107.32
7. Altura de nudillo	724.62	39.67	663.90	723.73	792.75
8. Altura de rodillas	480.53	29.46	433.63	480.72	528.13
9. Alcance vertical máximo	2097.54	83.75	1964.88	2094.56	2244.13
10. Alcance vertical funcional	2027.54	81.09	1895.44	2027.59	2173.75
21. Distancia codo- dedo medio	454.54	23.30	420.05	454.96	491.25
22. Distancia hombro- codo	357.36	22.61	325.94	356.15	392.68
23. Alcance máximo frontal	857.37	50.51	775.25	858.20	938.13
24. Alcance funcional frontal	788.83	47.75	713.38	788.78	865.13
25. Profundidad de tórax	251.11	26.36	200.20	249.72	299.55
26. Profundidad abdominal	246.07	37.06	184.96	241.44	305.13

Posición Sentado



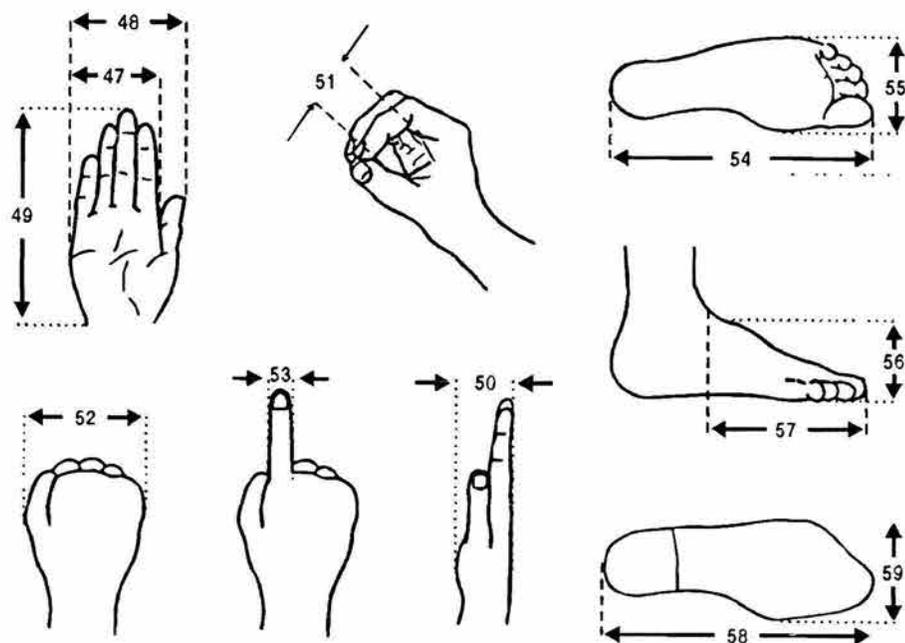
Dimensiones	(n = 974)				
	Promedio	D.E.	Percentiles		
	[mm]	[mm]	5	50	95
			[mm]	[mm]	[mm]
28. Altura sentado	1244.69	44.84	1178.85	1242.55	1323.92
29. Altura de ojos sentado	1145.39	47.69	1072.09	1144.22	1224.55
32. Altura de hombro sentado	976.23	43.14	912.38	973.92	1074.92
33. Altura de codo sentado	625.62	38.82	561.65	623.79	690.21
34. Altura de región lumbar	536.42	65.71	437.94	530.23	641.57
36. Altura del muslo	537.57	25.94	493.38	537.37	580.75
37. Altura de rodilla	505.91	27.94	460.22	505.15	550.82
38. Alt. rodillas pierna cruzada	672.19	44.79	605.65	671.68	767.68
39. Altura de poplíteo	404.23	25.88	362.88	404.08	445.59
44. Distancia glúteo - rodilla	558.99	27.51	515.88	558.11	605.04
45. Distancia glúteo - poplíteo	453.83	28.35	409.58	453.53	499.82

Posición Sentado e Hincado



Dimensiones	(n = 974)				
	Promedio	D.E.	Percentiles		
	[mm]	[mm]	5	50	95
			[mm]	[mm]	[mm]
27. Circunferencia cabeza	567.23	16.72	539.86	568.23	590.50
30. Alcance máx. vert. sentado	1693.42	76.22	1590.25	1692.38	1806.75
31. Alcance funcional vert. sent.	1626.23	65.04	1520.38	1622.86	1734.59
35. Altura del nudillo sentado	330.35	38.83	267.18	329.88	396.94
40. Altura de cabeza	235.16	12.61	214.28	235.35	255.31
41. Ancho de cabeza	154.90	7.25	143.89	154.97	166.39
42. Ancho interpupilar	53.15	7.47	42.83	52.49	64.85
43. Ancho de cadera sentado	338.22	24.98	299.72	336.47	381.83
46. Alcance frontal pie – glúteo	1003.68	54.68	927.25	1000.80	1084.57
60. Altura hincado	1230.72	43.74	1164.25	1230.31	1306.75

Pie y Mano



Dimensiones	(n = 974)				
	Promedio	D.E.	Percentiles		
	[mm]	[mm]	5	50	95
			[mm]	[mm]	[mm]
47. Ancho de mano sin pulgar	82.70	5.64	73.57	82.55	92.21
48. Ancho de mano con pulgar	97.40	6.67	86.76	97.62	108.32
49. Largo de mano	180.82	9.93	164.35	181.41	195.98
50. Altura de mano	46.32	6.55	35.48	46.02	56.81
51. Diámetro de empuñadura	35.75	4.31	28.74	35.67	43.28
52. Diámetro máximo de mano	91.59	9.66	78.33	89.79	107.92
53. Diámetro del dedo índice	21.29	1.26	19.32	21.25	23.45
54. Largo del pie sin zapato	248.68	12.14	230.30	249.51	267.55
55. Ancho del pie sin zapato	92.64	4.70	84.82	92.67	100.07
56. Altura funcional del pie	85.17	8.01	70.34	85.12	98.90
57. Largo funcional del pie	156.93	11.49	138.38	157.06	174.04
58. Largo del pie con zapato	272.45	12.61	252.18	271.06	294.53
59. Ancho del pie con zapato	97.64	6.13	89.62	97.03	110.00

Sueldos y salarios en la República Mexicana

	Pesos
<i>Área geográfica "A"</i>	45.24
<i>Área geográfica "B"</i>	43.73
<i>Área geográfica "C"</i>	42.11

- I. Área geográfica "A" integrada por: todos los municipios de los estados de Baja California y Baja California Sur; los municipios de Guadalupe, Juárez y Práxedes G. Guerrero, del Estado de Chihuahua; el Distrito Federal; el municipio de Acapulco de Juárez, del Estado de Guerrero; los municipios de Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz y Tultitlán, del Estado de México; los municipios de Agua Prieta, Cananea, Naco, Nogales, General Plutarco Elías Calles, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado y Santa Cruz, del Estado de Sonora; los municipios de Camargo, Guerrero, Gustavo Díaz Ordaz, Matamoros, Mier, Miguel Alemán, Nuevo Laredo, Reynosa, Río Bravo, San Fernando y Valle Hermoso, del Estado de Tamaulipas, y los municipios de Agua Dulce, Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Las Choapas, Ixhuatlán del Sureste, Minatitlán, Moloacán y Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, del Estado de Veracruz.
- II.- Área geográfica "B" integrada por: los municipios de Guadalajara, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, del Estado de Jalisco; los municipios de Apodaca, San Pedro Garza García, General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina, del Estado de Nuevo León;

Hermosillo, Huatabampo, Imuris, Magdalena, Navojoa, Opodepe, Oquitoa, Pitiquito, San Ignacio Río Muerto, San Miguel de Horcasitas, Santa Ana, Sáric, Suaqui Grande, Trincheras y Tubutama, del Estado de Sonora; los municipios de Aldama, Altamira, Antiguo Morelos, Ciudad Madero, Gómez Farías, González, El Mante, Nuevo Morelos, Ocampo, Tampico y Xicoténcatl del Estado de Tamaulipas, y los municipios de Coatzintla, Poza Rica de Hidalgo y Túxpam, del Estado de Veracruz.

- III.-** Área geográfica "C" integrada por: todos los municipios de los estados de Aguascalientes, Campeche, Coahuila de Zaragoza, Colima, Chiapas, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán de Ocampo, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro de Arteaga, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tlaxcala, Yucatán y Zacatecas; todos los municipios del Estado de Chihuahua excepto Guadalupe, Juárez y Práxedes G. Guerrero; todos los municipios del Estado de Guerrero excepto Acapulco de Juárez; todos los municipios del Estado de Jalisco excepto Guadalajara, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan; todos los municipios del Estado de México excepto Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz y Tultitlán; todos los municipios del Estado de Nuevo León excepto Apodaca, San Pedro Garza García, General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina; los municipios de Aconchi, Alamos, Arivechi, Arizpe, Bacadéhuachi, Bacanora, Bacerac, Bacoachi, Banámichi, Baviácora, Bavispe, Cumpas, Divisaderos, Fronteras, Granados, Huachinera, Huásabas, Huépac, Mazatán, Moctezuma, Nácori Chico, Nacozari de García, Onavas, Quiriego, Rayón, Rosario, Sahuaripa, San Felipe de Jesús, San Javier, San Pedro de la Cueva, Soyopa, Tepache, Ures, Villa Hidalgo, Villa Pesqueira y Yécora, del Estado de Sonora; los municipios de Abasolo, Burgos, Bustamante, Casas, Cruillas, Güémez, Hidalgo, Jumave, Jiménez, Llera, Mainero, Méndez, Miquihuana, Padilla, Palmillas, San

Carlos, San Nicolás, Soto la Marina, Tula, Victoria y Villagrán, del Estado de Tamaulipas, y todos los municipios del Estado de Veracruz excepto Agua Dulce, Coatzacoalcos, Coatzintla, Cosoleacaque, Las Choapas, Ixhuatlán del Sureste, Minatitlán, Moloacán, Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Poza Rica de Hidalgo y Tuxpam.

Salarios mínimos profesionales que estarán vigentes a partir del 1 de enero del 2004

(Pesos diarios)

OFICIO No.	PROFESIONES, OFICIOS Y TRABAJOS ESPECIALES	Áreas Geográficas		
		A	B	C
1	Albañilería, oficial de	65.92	63.90	61.39
2	Archivista clasificador en oficinas	63.01	60.98	58.57
3	Boticas, farmacias y droguerías, dependiente de mostrador en	57.36	55.54	53.45
4	Buldozer, operador de	69.44	67.09	64.53
5	Cajero(a) de máquina registradora	58.50	56.74	54.60
6	Cajista de imprenta, oficial	62.24	60.35	57.89
7	Cantinerero preparador de bebidas	59.85	57.89	55.70
8	Carpintero de obra negra	61.46	59.51	57.11
9	Carpintero en fabricación y reparación de muebles, oficial	64.72	62.60	60.14
10	Cepilladora, operador de	62.55	60.71	58.26
11	Cocinero(a), mayor(a) en restaurantes, fondas y demás establecimientos de preparación y venta de alimentos	66.90	64.79	62.18
12	Colchones, oficial en fabricación y reparación de	60.53	58.62	56.43
13	Colocador de mosaicos y azulejos, oficial	64.41	62.49	59.98
14	Contador, ayudante de	63.53	61.50	59.04
15	Construcción de edificios y casas habitación, yesero en	60.99	59.20	56.80
16	Construcción, herrero en	63.53	61.50	59.04
17	Cortador en talleres y fábricas de manufactura de calzado, oficial	59.23	57.42	55.23
18	Costurero(a) en confección de ropa en talleres o fábricas	58.40	56.43	54.44
19	Costurero(a) en confección de ropa en trabajo a domicilio	60.11	58.31	55.91
20	Chofer acomodador de automóviles en estacionamientos	61.46	59.51	57.11
21	Chofer de camión de carga en general	67.47	65.36	62.86
22	Chofer de camioneta de carga en general	65.35	63.27	60.71
23	Chofer operador de vehículos con grúa	62.55	60.71	58.26
24	Draga, operador de	70.16	68.03	65.26
25	Ebanista en fabricación y reparación de muebles, oficial	65.76	63.69	61.13
26	Electricista instalador y reparador de instalaciones eléctricas, oficial	64.41	62.49	59.98
27	Electricista en la reparación de automóviles y camiones, oficial	65.14	63.07	60.51
28	Electricista reparador de motores y/o generadores en talleres de servicio, oficial	62.55	60.71	58.26
29	Empleado de góndola, anaquel o sección en tiendas de	57.16	55.39	52.98



OFICIO No.	PROFESIONES, OFICIOS Y TRABAJOS ESPECIALES	Áreas Geográficas		
		A	B	C
	autoservicio			
30	Encargado de bodega y/o almacén	59.49	57.63	55.39
31	Enfermero(a) con título	74.57	72.11	69.34
32	Enfermería, auxiliar práctico de	61.46	59.51	57.11
33	Ferreterías y tlapalerías, dependiente de mostrador en	60.84	58.78	56.53
34	Fogonero de calderas de vapor	63.01	60.98	58.57
35	Gasolinero, oficial	58.40	56.43	54.44
36	Herrería, oficial de	63.53	61.50	59.04
37	Hojalatero en la reparación de automóviles y camiones, oficial	64.72	62.60	60.14
38	Hornero fundidor de metales, oficial	66.33	64.32	61.81
39	Joyero-platero, oficial	61.46	59.51	57.11
40	Joyero-platero en trabajo a domicilio, oficial	64.05	62.13	59.67
41	Laboratorios de análisis clínicos, auxiliar en	60.53	58.62	56.43
42	Linotipista, oficial	68.35	66.36	63.75
43	Lubricador de automóviles, camiones y otros vehículos de motor	58.92	57.06	54.71
44	Maestro en escuelas primarias particulares	69.70	67.56	64.79
45	Manejador de gallineros	56.43	54.76	52.62
46	Maquinaria agrícola, operador de	66.33	64.32	61.81
47	Máquinas de fundición a presión, operador de	59.85	57.89	55.70
48	Máquinas de troquelado en trabajos de metal, operador de	59.49	57.63	55.39
49	Máquinas para madera en general, oficial operador de	63.01	60.98	58.57
50	Máquinas para moldear plástico, operador de	58.40	56.43	54.44
51	Mecánico fresador, oficial	66.43	64.53	61.92
52	Mecánico operador de rectificadora	64.05	62.13	59.67
53	Mecánico en reparación de automóviles y camiones, oficial	68.35	66.36	63.75
54	Mecánico tornero, oficial	58.50	56.74	54.60
55	Mecanógrafo(a)	58.50	56.74	54.60
56	Moldero en fundición de metales	62.55	60.71	58.26
57	Montador en talleres y fábricas de calzado, oficial	59.23	57.42	55.23
58	Motorista en barcos de carga y pasajeros, ayudante de	64.72	62.60	60.14
59	Niquelado y cromado de artículos y piezas de metal, oficial de	62.24	60.35	57.89
60	Peinador(a) y manicurista	61.46	59.51	57.11
61	Perforista con pistola de aire	65.14	63.07	60.51
62	Pintor de automóviles y camiones, oficial	63.53	61.50	59.04
63	Pintor de casas, edificios y construcciones en general, oficial	63.01	60.98	58.57
64	Planchador a máquina en tintorerías, lavanderías y establecimientos similares	58.50	56.74	54.60
65	Plomero en instalaciones sanitarias, oficial	63.17	61.29	58.78
66	Prensa offset multicolor, operador de	65.92	63.90	61.39
67	Prensista, oficial	61.46	59.51	57.11
68	Radiotécnico reparador de aparatos eléctricos y electrónicos, oficial	65.76	63.69	61.13
69	Recamarero(a) en hoteles, moteles y otros establecimientos de hospedaje	57.16	55.39	52.98
70	Recepcionista en general	58.92	57.06	54.71
71	Refaccionarias de automóviles y camiones, dependiente de mostrador en	59.49	57.63	55.39

OFICIO No.	PROFESIONES, OFICIOS Y TRABAJOS ESPECIALES	Áreas Geográficas		
		A	B	C
72	Reparador de aparatos eléctricos para el hogar, oficial	62.24	60.35	57.89
73	Reportero(a) en prensa diaria impresa	135.51	131.36	125.97
74	Reportero(a) gráfico(a) en prensa diaria impresa	135.51	131.36	125.97
75	Repostero o pastelero	65.92	63.90	61.39
76	Sastrería en trabajo a domicilio, oficial de	66.33	64.32	61.81
77	Soldador con soplete o con arco eléctrico	65.14	63.07	60.51
78	Talabartero en la manufactura y reparación de artículos de piel, oficial	61.46	59.51	57.11
79	Tablajero y/o carnicero en mostrador	61.46	59.51	57.11
80	Tapicero de vestiduras de automóviles, oficial	62.55	60.71	58.26
81	Tapicero en reparación de muebles, oficial	62.55	60.71	58.26
82	Taquimecanógrafo(a) en español	61.72	59.77	57.48
83	Trabajador(a) social	74.57	72.11	69.34
84	Traxcavo neumático y/o oruga, operador de	67.21	65.10	62.44
85	Vaquero ordeñador a máquina	57.16	55.39	52.98
86	Velador	58.40	56.43	54.44
87	Vendedor de piso de aparatos de uso doméstico	60.11	58.31	55.91
88	Zapatero en talleres de reparación de calzado, oficial	59.23	57.42	55.23

Recomendaciones de tabuladores de sueldos

Colegio de Ingenieros Civiles de México

Valores mínimos recomendados de sueldo base mensual

<i>Nivel, de acuerdo al perfil</i>	<i>Valores mínimos recomendados (pesos m.n.)</i>
1	4,000.00
2	5,000.00
3	6,200.00
4	7,150.00
5	7,850.00
6	9,900.00
7	11,000.00
8	12,800.00
9	14,500.00
10	22,500.00

Colegio de Ingenieros Civiles de México

Valores mínimos recomendados de sueldo base mensual

Nivel	Escolaridad y/o Especialidad	Experiencia	Toma de decisiones	Responsabilidad	Personal bajo su mando	Efecto de riesgo	Iniciativa
1	Pasante o técnico profesional	Pasante: ninguna Técnico: superior a 1 año	Mínima	Limitada	Ninguno	Daños pequeños	No toma de decisiones
2	Pasante	Superior a 1 año	Poco importante	Limitada	Ninguno	Daños pequeños	Decisiones ocasionales de poca importancia
3	Pasante	Mínimo 2 años	Poco importante	Limitada	Grupo de técnicos o pasantes	Daños menores	Decisiones ocasionales de poca importancia
4	Licenciatura, Titulado	Mínimo 1 año	Medianamente importante	Media	Grupo de pasantes hasta nivel 3	Daños considerables	Decisiones frecuentes de cierta importancia
5	Licenciatura, Titulado	Mínimo 2 años	Medianamente importante	Media	Grupo de profesionistas hasta nivel 4	Daños considerables	Decisiones frecuentes de cierta importancia
6	Licenciatura, Titulado	Mínimo 3 años	Importante	Alta	Grupo de profesionistas hasta nivel 5	Daños considerables	Decisiones frecuentes y rápidas, de importancia
7	Licenciatura, Titulado	De 3 a 5 años	Importante	Alta	Grupo de profesionistas unidisciplinarios	Daños considerables	Decisiones frecuentes y rápidas, de importancia
8	Licenciatura, Titulado	De 4 a 6 años	Muy Importante	Alta	Grupo de profesionistas unidisciplinarios	Daños importantes	Decisiones que implican considerable iniciativa y juicio
9	Licenciatura, Titulado	De 5 a 8 años	Muy Importante	Máxima total	Grupo de profesionistas unidisciplinarios o multidisciplinarios	Daños importantes	Decisiones que implican considerable iniciativa y juicio
10	Licenciatura, Titulado, Especialidad, Maestría, Doctorado	Más de 8 años ó 3 a 5 años con especialidad, maestría o con doctorado superior a 3 años	De máxima importancia	Máxima total	Grupo de profesionistas unidisciplinarios o multidisciplinarios	Daños muy importantes	Trabajo independiente confiado a la iniciativa y juicio del profesionista y a su discreción
11	Licenciatura, Titulado, Especialidad, Maestría, Doctorado	Mayor de 10 años, más de 5 años con especialidad, maestría o con doctorado superior a 5 años	De máxima importancia	Máxima total	Grupo de profesionistas unidisciplinarios o multidisciplinarios	Daños muy importantes	Trabajo independiente confiado a la iniciativa y juicio del profesionista y a su discreción

BIBLIOGRAFÍA

- Mompín Poblet, José. *Sistemas CAD/CAM/CAE*. México. Publicaciones Marcambo. 1988.
- Caridad Obregón, Francisco Antonio; et. al. *Manual de Sistemas de Unión y Ensamblajes de Materiales*. México. Editorial Trillas. 1986.
- Hawkes, Barry. *CAD/CAM*. España. Editorial Paraninfo. 1989.
- Beer, Ferdinand; E. Rusell, Jonhston. *Mecánica de Materiales*. México. Mc Graw-Hill. 1996.
- Shigley, Joseph Edward. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México. Mc Graw-Hill. 1990.
- McCormick, Ernest J. *Ergonomía, factores humanos en Ingeniería y Diseño*. España. McGraw-Hill. 1980
- Mondelo, Pedro R., et.al. *Ergonomía I Fundamentos*. España. Ediciones UPC. 1994
- De Castro Vicente, Miguel. *Carrocería y pintura*. España. Ed. CEAC. 1991.
- Gomez Morales, Tomas, et.al. *Carrocería, elementos amovibles*. España. Paraninfo. 2000. España.
- Automotive Engineering International. “*Lightweight car body design*”. Vol. 106 No. 10. Octubre 1998. Pág. 106.
- Automotive Engineering International. “*Simulation: redefining the development process*”. Vol. 109. No. 4. Abril 2001. Pág. 63.
- Automotive Engineering International. “*Bayer, Orbseal tackle noise with new polyurethane foam*”. Vol. 109. No. 11. Junio 2001. Pág. 73.
- Automotive Engineering International. “*Automotive modular developments*”. Vol. 109. No. 7. Julio 2001. Pág. 79.
- Automotive Engineering International. “*Automakers going digital*”. Vol. 109 No. 11. Noviembre 2001. Pág. 51.

- Automotive Engineering International. “*Benetton uses CFD*”. Vol. 109 No. 12. Diciembre 2001. Pág. 64.
- Automotive Engineering International. “*Materials for lightweight tailgates*”. Vol. 110. No. 5. Mayo 2002. Pág. 113.
- Automotive Engineering International. “*Data translation smoothes Renault’s return to F1*”. Vol. 110 No. 6. Junio 2002. Pág. 65.
- www.algor.com
- www.sae.org
- www.ferrari.it
- Sánchez Guzmán, Armando. “*Tesis: Diseño de una estructura usando CAD y FEA*”. México, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002.
- Ortega Torres, Bernardo. “*Tesis: Manual del proyecto Mini Baja*”. México, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2003.