



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

**Diseño y Construcción del Módulo
Frontal en BMW, Alemania**

TITULACIÓN POR TRABAJO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

ANDREW WILLIAM AYALA MORRIS

Avalado por:

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, México, D.F.

2009

To my family, for expecting nothing less of me; to my best friend, for believing nothing less of me; to my University, for making nothing less of me

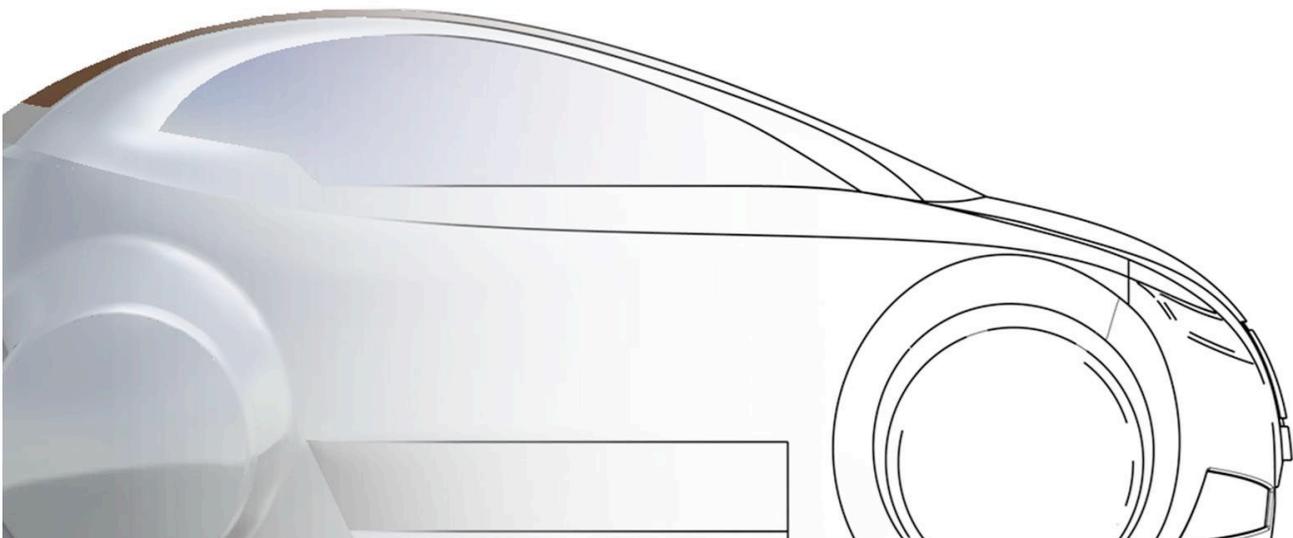
Índice

| | |
|---|------------|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| ANTECEDENTES | 7 |
| OBJETIVOS | 23 |
| DESARROLLO | 27 |
| INGENIERÍA SIMULTÁNEA (IS) | 29 |
| OUTSOURCING | 39 |
| APLANAMIENTO DE LA JERARQUÍA | 51 |
| PDM & PROTOTIPO DIGITAL | 57 |
| HIDROFORMADO | 65 |
| CASO TÉCNICO: ARCO DE SOPORTE DE LA RUEDA | 79 |
| CONCLUSIONES | 89 |
| REFERENCIAS | 95 |
| ANEXO | 101 |



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

INTRODUCCIÓN



Introducción

El advenimiento de la era digital ha marcado el comienzo de un mundo en el cual el diseño y las computadoras están irremediablemente entrelazadas. La tecnología avanza más rápido de lo que nos percatamos; las ganancias se maximizan, los costos y tiempos de producción se reducen y la libertad creativa explota, sin embargo, la tecnología es inútil si no se toma en cuenta el factor humano detrás de ella.

La creciente complejidad del automóvil como producto requiere de un enfoque cada vez más multidisciplinario en su desarrollo, y la competitividad en la industria automotriz ha resaltado las ventajas de la simultaneidad de procesos por encima del desarrollo secuencial. Una pieza que se diseña en Alemania se puede modificar simultáneamente en la India, y finalmente ser enviada para producción en Sudáfrica. Éste bien podría ser el escenario de la cadena de producción de la siguiente generación de la serie 3 de BMW. Basándose en las experiencias adquiridas en esta empresa, los capítulos de *Ingeniería Simultánea*, *Outsourcing* y *Aplanamiento de la Jerarquía* se disponen a discutir ciertos aspectos clave de la administración de procesos y recursos humanos presentes en la industria automotriz, pero no exclusivos a ella.

Desde su debut como rústicos sistemas de diseño bidimensional al comienzo de la década de los sesentas, las herramientas CAD han evolucionado hasta convertirse en un lienzo virtual para el ingeniero. Paquetería de diseño como *UGS NX* de Siemens, y *CATIA* de Dassault Systemes han extendido el alcance del diseño de producto con la ayuda del modelado paramétrico, proporcionando un lenguaje universal a la expresión creativa del ingeniero. Dichas herramientas permiten no sólo llevar a cabo simulaciones para piezas individuales, sino también un análisis espacial del producto entero en conjunto con las especificaciones de cada componente, lo cual se discute en el capítulo *PDM & Prototipo Digital*.

Que la computadora ha alterado el transcurso del diseño en la ingeniería para siempre es indiscutible; no obstante, esto no altera el hecho que el impulso creativo detrás de él es, y siempre ha sido, nuestra propia imaginación. A pesar de que no existen límites para lo que se puede imaginar, existen varios límites prácticos para lo que se puede diseñar y fabricar. Es por esto que es necesario que el ingeniero no sólo tenga presentes los recursos a su alcance para diseñar, modelar y transmitir sus ideas, sino también que esté familiarizado con los procesos de manufactura y conformado existentes. Orientada al caso técnico que la sucede, se documenta la investigación del proceso de hidroformado en el capítulo del mismo nombre.

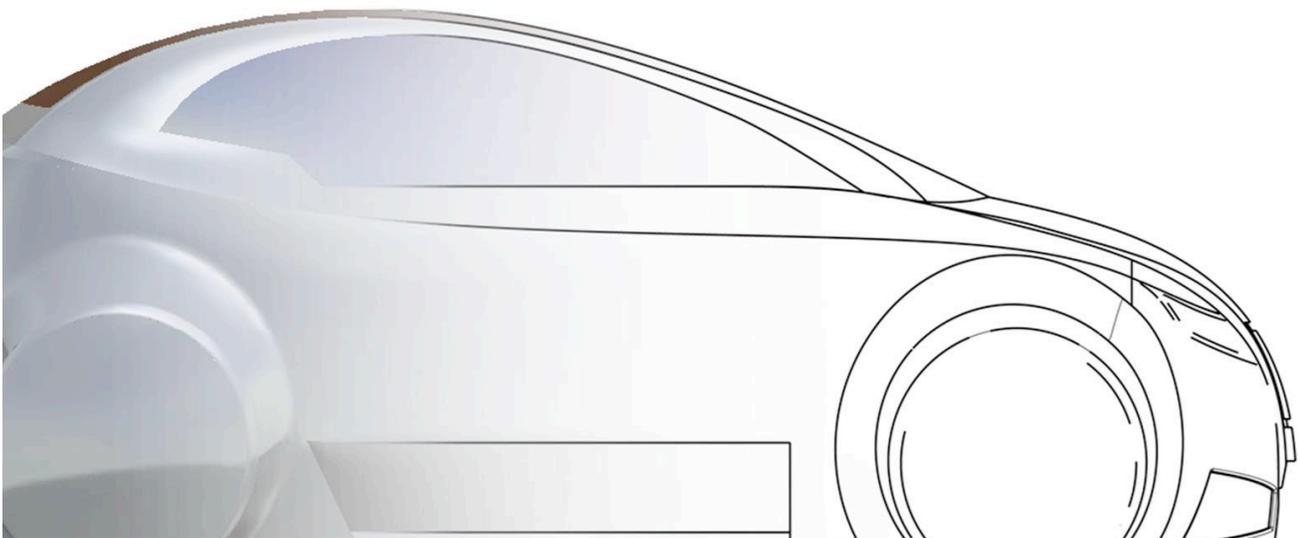
Los antecedentes de este reporte comentan las circunstancias bajo las cuales surgió la estancia laboral y a su vez, dan una breve introducción al Grupo BMW, donde se realizó dicha estancia. También se presenta el proceso de diseño automotriz de forma global para situar al lector en el contexto correcto. En el desarrollo del reporte se documentan los conocimientos adquiridos a lo largo de las actividades realizadas para el diseño del módulo frontal del chasis. Se comenta la metodología de diseño y la dinámica de trabajo que hubo en el equipo y subsecuentemente se resume la investigación que se realizó en el tema de hidroformado, la cual fue necesaria para el desarrollo de una nueva propuesta para el arco de soporte de la rueda, documentado como caso técnico. Por motivos de confidencialidad, todas las representaciones CAD son emblemáticas a menos que se indique lo contrario.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ANTECEDENTES



Antecedentes

Movilidad estudiantil en Alemania

La oportunidad de realizar la estancia laboral en el grupo BMW surgió durante un intercambio estudiantil con la Universidad de Stuttgart en Alemania. La *Universität Stuttgart* fue fundada en 1829 siguiendo el modelo de universidades como Karlsruhe, Berlín y Paris, y aunque esta institución siempre se ha enfocado más a carreras técnicas, hoy en día es una de las casas de estudio más fuertes en humanidades de todo el país. El hogar de marcas como Porsche, Daimler y Bosch, Stuttgart es un foco de ingeniería alemana, en particular la rama automotriz. Como muchas otras, las carreras de ingeniería en Alemania tienen como requisito para titulación, la realización de un semestre de prácticas profesionales, lo cual facilita enormemente el vínculo a la industria.

La empresa

Bayerische Motoren Werke (BMW) es un consorcio automotriz alemán fundado en 1916, dedicado actualmente a la producción de motocicletas y autos de gran lujo y rendimiento.

Inicialmente una armadora de motores de avión, la desmilitarización de Alemania impuesta por el Tratado de Versalles obligó a que la compañía desplazara producción al sector de motocicletas en 1923, y al sector automotriz en 1928. Durante el rearmamento alemán de la década de los treinta, BMW reanudó la producción de motores de avión para la fuerza aérea, colaborando con Heinkel y Messerschmitt en el desarrollo de aviones como el Heinkel He 162 Salamander y prototipos del Messerschmitt 262, grandes avances tecnológicos. Hoy en día, BMW es uno de los gigantes de la industria automotriz con plantas de producción en Alemania, Austria, Estados Unidos y Sudáfrica. La producción de sus subsidiarias, MINI y Rolls-Royce Motor Cars, se encuentra exclusivamente en el Reino Unido.

La gama de modelos en producción actual de BMW es la siguiente:

- **Serie 1***



La serie 1 es la línea sub-compacta de BMW y se encuentra en las presentaciones *hatchback* de 3 y 5 puertas, *coupe* y *cabrio*. La serie 1 se introdujo al mercado en el 2004 como respuesta al hueco en el mercado generado por el crecimiento de la serie 3, pero esencialmente parte de la misma plataforma. Ocupa un gran número de piezas de sinergia** y comparte varios elementos estructurales y electrónicos con su hermano mayor. Es el único auto con tracción trasera y distribución de peso en los ejes 50:50 en toda su clase.

- **Serie 3***



* imagen cortesía de www.bmw.com

** Se conoce como *pieza de sinergia* a toda pieza conformada a partir de una ligera modificación y ajuste del herramental ya existente, con el fin de reducir costos.

La serie 3 es la línea compacta de la marca. Actualmente en su quinta generación, la línea se lanzó por primera vez en 1975. La serie actual lleva la nomenclatura E9X, y se encuentra en las presentaciones *sport sedán*, *station wagon (Touring)*, *coupé* y *cabrio*. Esta línea es la más vendida a nivel mundial.

- **Serie 5***



La serie 5 pertenece a la clase media de BMW y se encuentra en las presentaciones *sedán* y *station wagon (Touring)*, y desde este año, la Gran Turismo, una cruce entre *sedán*, *station wagon* y *SUV*.

- **Serie 6***



La serie 6 es una línea que se reintrodujo después de 15 años de ausencia de la gama. Clasificado como un *grand touring luxury sport coupé*, la serie 6 se caracteriza por su lujo y potencia, contando con motores de gasolina de tres o cinco litros, y diesel de 3.5 litros.

- **Serie 7***



La serie 7 es el sedán de clase ejecutiva, y el modelo pionero para muchas de las innovaciones de la marca, como lo fue el sistema *iDrive*, o bien, el motor eléctrico a base de hidrógeno. La serie 7 es la única línea de auto para la cual existe la opción de blindaje en tres diferentes niveles.

- **X3, X5 & X6***



El modelo más pequeño de la línea de camionetas de BMW, la X3 pertenece a la clase conocida como SUV (*Sports Utility Vehicle*) y está montada sobre una plataforma de serie 3 adaptada. Salió al mercado en 2004.

La X5 es una SUV mediana de lujo que hizo su debut en el año 2000. Presenta una gama de motores más potentes que la X3, y fue el primer modelo de BMW en introducir una tercera fila opcional de asientos

La X6 es una camioneta de la nueva categoría conocida como *Sports Activity Coupé* (SAC), la cual combina características de camioneta y coupé en un diseño distinto a ambos. Partiendo del lujo del diseño interior de la serie 6, la línea X6 es un vehículo para cuatro personas a pesar de sus dimensiones, e integra una consola central de serie 3 coupé a los asientos traseros. A pesar de su aceptación en el resto del mundo, el diseño y el tamaño del vehículo están dirigidos principalmente al mercado norteamericano.

La nueva X1, una camioneta con la plataforma de la serie 1, está programada para salir al mercado en el 2010.

- **Z4***



El deportivo de la familia, el sucesor del Z3 es un *roadster coupé* para dos pasajeros. Este modelo se enfoca predominantemente en la experiencia deportiva de manejo, ofreciendo una amplia gama de motores y la opción de un techo duro convertible.

Para finales del 2007, la compañía tenía más de 100 mil empleados, produjo 1.6 millones de unidades, registró ingresos de más de 56 mil millones de euros y ganancias netas de más de 3 mil millones de euros.

El proceso de diseño automotriz de forma global

El automóvil ha trascendido su papel como medio de transporte, para convertirse en parte de la cultura material moderna, un bien con valor emocional, en parte de nuestra familia y nuestra identidad personal.

Durante las últimas dos décadas, el mundo ha presenciado un incremento drástico en conciencia ambiental. El medio ambiente ha adquirido una gran importancia en el sector productivo y ha ido reformando el proceso de diseño en busca del reciclaje de derivados industriales y la reducción del impacto ambiental

negativo. La producción automotriz hoy en día se desenvuelve en un entorno de restricciones ambientales, dentro de las cuales están emisión de gases, emisión de ruido, reciclabilidad y empleo de materiales nocivos como Pb, Cd, Hg y Cr VI.

A pesar de su gran importancia, la ecología no es el único factor determinante para la producción de automóviles; la complejidad de este proceso se ve reflejada en su vínculo con la tecnología, la economía y la situación política que lo envuelven, al igual que la etnia y el sexo de sus usuarios. La historia del automóvil



Figura 1. BMW H2R Art Car del artista Olafur Eliasson

está marcada por innovaciones e inventos tecnológicos adaptados a través de los sectores de manufactura y servicios de la economía moderna. La industria automotriz ha tenido un papel clave en el avance de la frontera productiva, organizacional e industrial.

El proceso de diseño abarca la intersección de la práctica y los ideales; estética y funcionalidad; arte y ciencia; la manipulación espacial de materiales y la personificación de ideales artísticos. El diseño automotriz ayuda a entender el proceso creativo en campos tan contrapuestos como expresión artística y manufactura avanzada.

El verdadero arte detrás del diseño automotriz yace en la conciliación entre la unicidad de un vehículo y la inconfundible pertenencia a la imagen de marca del fabricante. Esto se puede apreciar en elementos característicos como la parrilla de Lancia o BMW, que se encuentran presentes de manera prácticamente inalterada en toda la línea de cada compañía. El legado de imagen de una marca se ve determinado por el mensaje que transmite su lenguaje de forma, por ejemplo, una cierta estructura superficial o un diseño de salpicaderas.



Figura 2. Imagen de marca en la parrilla de BMW

El desarrollo conceptual de un vehículo es un proceso arduo de evaluación y reevaluación, el cual recurre constantemente al ensayo y error para adaptarse y satisfacer ciertos requerimientos. A un concepto inicial se le imponen muy pocas restricciones; después de algunas iteraciones de diseño y seleccionado un concepto final llega el momento en el que los trazos estéticos tienen que entrar en sintonía con aspectos técnicos como motor y transmisión. En este punto comienza el trabajo en conjunto entre diseñadores e ingenieros.

¿Cuál es el trayecto de un concepto automotriz hoy en día?

ETAPA 1: Concepción y bocetaje

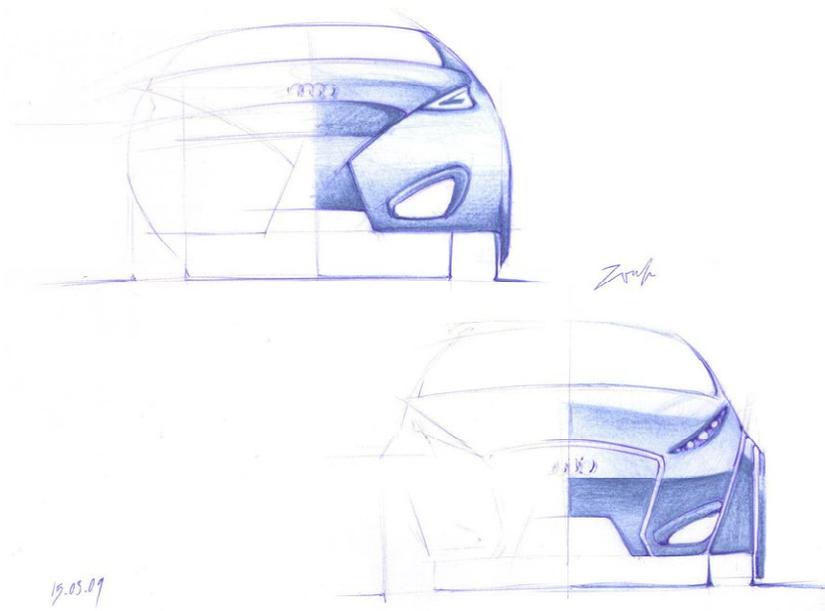


Figura 3. Bocetos desarrollados en la etapa conceptual del proyecto GlobalDrive

La primera etapa del proceso de diseño es la creación de bocetos conceptuales iniciales o *sketches*. El bocetaje como método rápido para la visualización de ideas permite que un equipo de diseño evalúe un colectivo de conceptos en un proceso de selección rumbo a una propuesta final. La división de equipos usualmente se hace entre interior y exterior vehicular. Los bocetos se ven sujetos a un proceso evolutivo el cual va desarrollando vistas más detalladas, y construyen así una primera base para el paquete del producto.

ETAPA 2: Modelado

Al incorporar al lado ingenieril, el concepto elegido se ve invariablemente sujeto a cambios y modificaciones que lo aterrizan a la realidad del espacio de construcción y procesos de conformado existentes. El modelado tridimensional del concepto es clave en esta etapa para comprender las proporciones del concepto respecto a sus restricciones espaciales.

- *Modelado en arcilla*

El modelado en arcilla es uno de los métodos más antiguos y tradicionales empleados en el diseño de automóviles. A pesar de que el mundo del diseño es de opiniones divididas acerca de las ventajas y desventajas de la arcilla respecto al entorno virtual, sin embargo la opinión general es que la arcilla sigue siendo uno de los mejores métodos para transportar diseños en desarrollo a la tercera dimensión.



Figura 4. Ejemplo del modelado en arcilla

Los modeladores de GM utilizan bocetos, *renders* y contornos de cinta como referencia para crear un medio modelo a escala 1:4, el cual se completa empleando un espejo. La simetría es de suma importancia para la estética de un automóvil, y el balanceo simétrico de un modelo es una actividad muy tardada.

La arcilla se ha usado desde los comienzos del diseño automotriz y enfatiza los lazos que unen el estilizado tridimensional de un auto y la escultura. El labrado vehicular en arcilla requiere de uno ojo experto y una percepción aguda de forma y proporción.

El primer paso en la creación de un modelo es determinar su escala. Con la ayuda de una vista de perfil se calculan las dimensiones del vehículo a dicha escala y a continuación se elabora un núcleo (usualmente espuma de poliuretano) como base de construcción para el modelo, que a su vez, reduce la cantidad de arcilla necesaria.

De aquí existen dos métodos para aplicar la arcilla:

Método Manual

Emplea el 'método de 10 líneas' para transportar puntos de referencia de los bocetos al modelo y se va agregando arcilla para dar forma y proporción. Se puede mantener un estricto apego a los bocetos, o bien, ajustar la forma de manera intuitiva, proporcionando una libertad rara vez encontrada en programas CAD.

Método Automatizado

El modelo virtual se envía directamente a una máquina de fresado de control numérico, la cual va desbastando la forma del vehículo en un periodo muy corto. Los últimos detalles, ligeros ajustes y retoques se hacen a mano.

Una vez terminado el vehículo, es posible que éste permanezca como concepto experimental destinado a ser reciclado, sin embargo también existe la posibilidad que se pinte y detalle o se use como plantilla para modelos de exhibición.

Los avances tecnológicos a nivel computadoras personales han permitido trabajar en el diseño y construcción desde una computadora de escritorio común y corriente. No obstante, sigue siendo bastante común que despachos de diseño empleen cañones y paredes interactivas para la visualización del desarrollo vehicular.

Ergonomía y Antropometría

Ergonomía: estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina.

Antropometría: Tratado de las proporciones y medidas del cuerpo humano.

- *Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia*

En términos sencillos, la ergonomía es la ingeniería de factores humanos, es decir, la ciencia del diseño aplicado a la forma y a la interacción humana. En el campo automotriz, la ergonomía abarca desde palancas y botones hasta asientos dando prioridad a los elementos de seguridad, seguido por elementos de control, confort, y accesorios.

La creciente presencia de la informática dentro del auto particular ha traído nueva importancia a la ergonomía como consideración en el diseño de interfaces con sistemas informáticos y de entretenimiento.

No existen medidas estándar para las dimensiones del ser humano, las cuales pueden variar dramáticamente de individuo a individuo, como lo muestra la figura 6. Peso, altura, tamaño de mano y alcance son sólo algunos factores que pueden variar enormemente según edad, sexo o etnia entre otros factores.

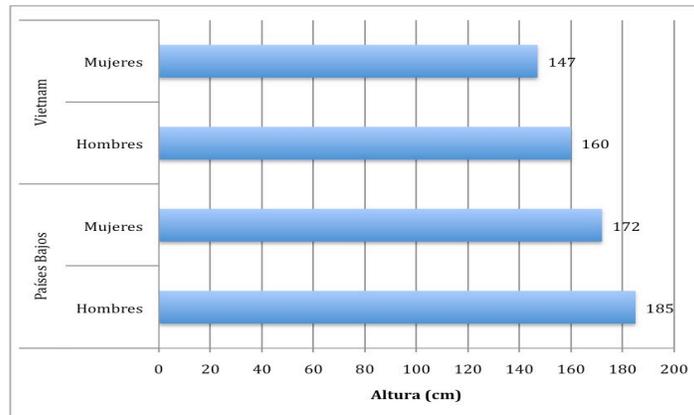
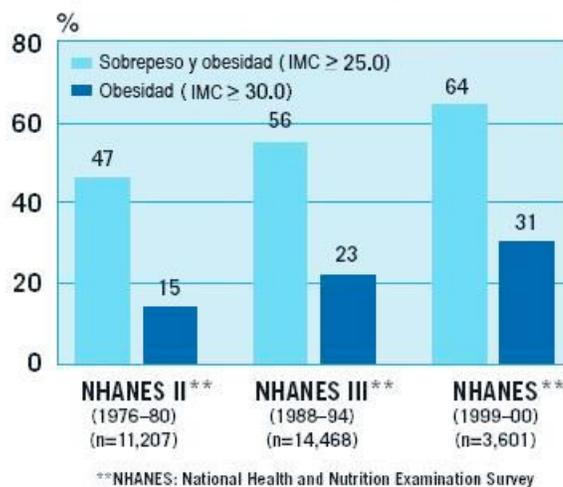


Figura 6. Ejemplo de variación de altura promedio entre dos casos extremos [2]

En el pasado, la forma y proporción del ser humano era típica para una cierta región geográfica. El presente trae un factor a la luz que día con día marca más la forma del ser humano: su estilo de vida. El mestizaje, la migración y los hábitos alimenticios son todos factores que han ido afectando el crecimiento y desarrollo del individuo en todas sus facetas. Un ejemplo de esto es el creciente problema de obesidad en el occidente, el cual no solo afecta forma y tamaño, sino también implica consideraciones en el alcance y el rango de movimiento del usuario. El incremento en sobrepeso y obesidad en la población estadounidense en los últimos treinta años se puede ver en la siguiente figura.

Preponderancia ajustada a edades del sobrepeso y obesidad en adultos (20-74 años) en los Estados Unidos



Fuente: Centros para Control y Prevención de Enfermedades (CDCP)

Figura 7. Ejemplo de la evolución del índice de obesidad en los Estados Unidos [3]

Otro factor determinante para el diseño contemporáneo es la creciente esperanza de vida, particularmente en los países desarrollados. Mayor esperanza de vida y mejor cuidado médico conlleva a que las personas realicen actividades por más años y en etapas

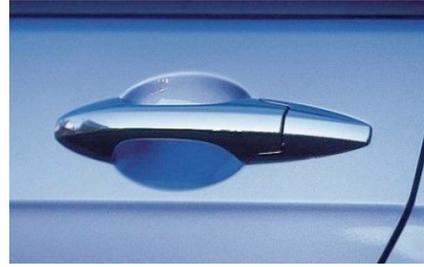


Figura 8. Manija de un Opel Vectra

más avanzadas de sus vidas. El inevitable deterioro de movilidad y destreza de este sector de la población es un parámetro que debe tomarse en cuenta en el diseño ergonómico de interiores y exteriores. Usuarios de edades avanzadas pueden presentar dificultades con ciertos controles, aperturas y otras características del automóvil, y sin embargo seguir esperando aprovechar el vehículo al máximo. Un ejemplo de diseño ergonómico para todas las edades es la manija de la puerta, visto en la figura 8 para un Opel Vectra. Formas de manija optimizadas y una iluminación mejorada en el tablero sirven a la finalidad de hacer un auto más manejable para todos, incluyendo conductores mayores.

El tamaño y forma de un vehículo están íntimamente ligados al tamaño y forma de sus usuarios, su número y su configuración, por lo que el diseño funcional de un vehículo se desarrolla alrededor de modelos representativos de la figura humana. Anteriormente basados en estudios antropométricos de Henry Dreyfuss en los sesentas, figura 9, hoy en día modelos virtuales como aquellos del software de análisis ergonómico RAMSIS, figura 10.

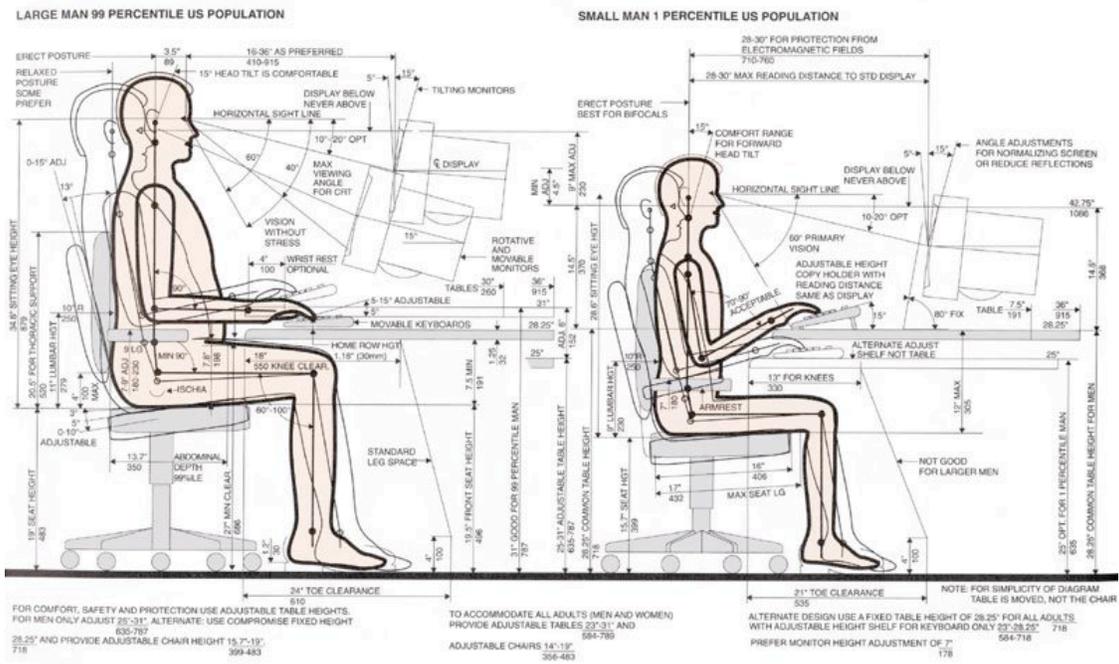


Figura 9. Estudio antropométrico realizado por Henry Dreyfuss [4]

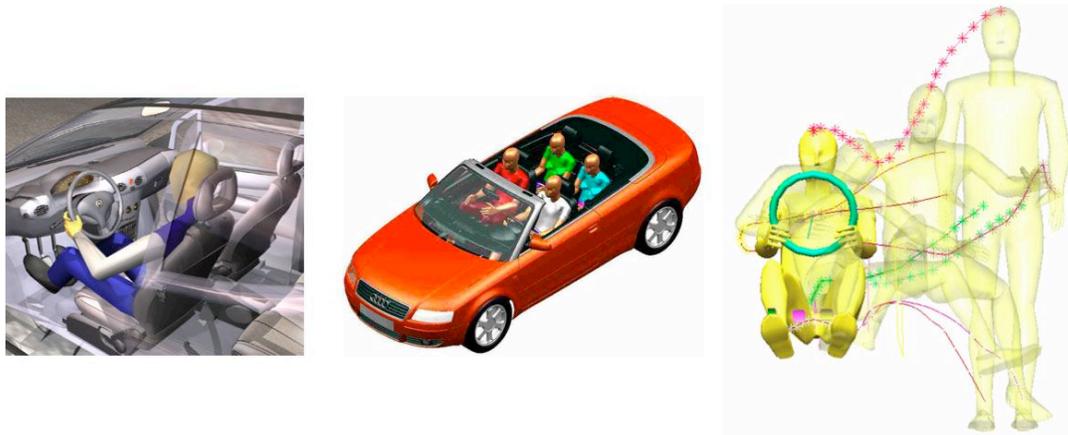
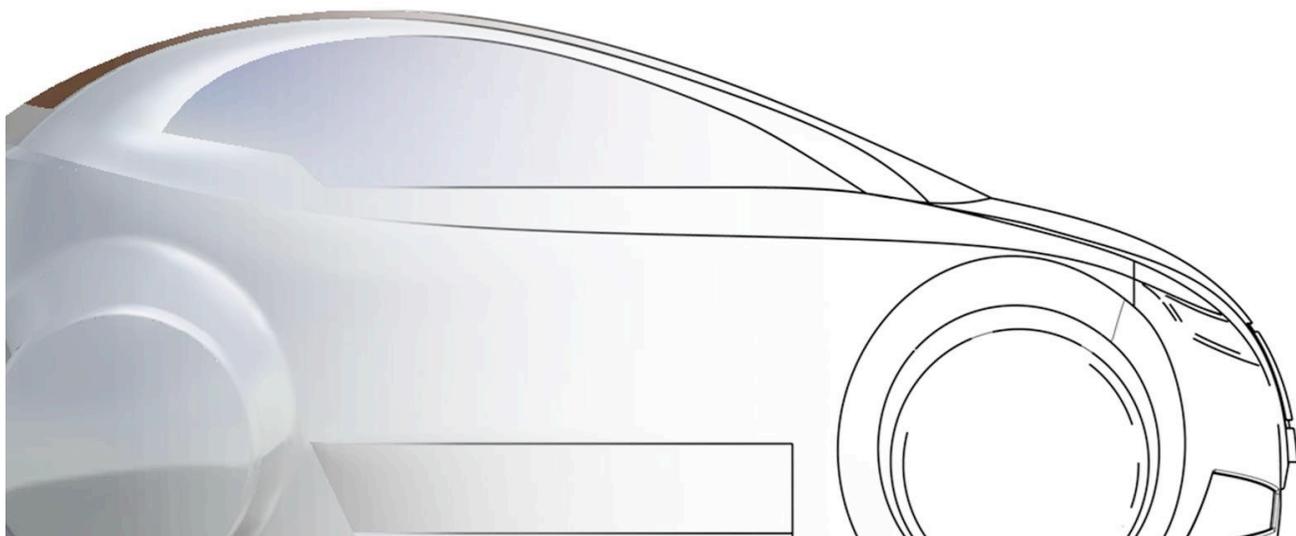


Figura 10. RAMSIS: Herramienta CAD para el análisis ergonómico de vehículos [5]



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

OBJETIVOS



Objetivos

La introducción de nuevas teorías administrativas, tecnologías y estrategias de trabajo encuentra un excelente campo de aplicación en el estado del arte de la industria automotriz; a su vez, el progreso de esta industria estimula la evolución de estos factores determinantes, los cuales posteriormente pueden encontrar aplicación en otros rubros. Para mejor entendimiento del lazo que existe entre la evolución de la industria y aquella de sus factores determinantes, a continuación se describen los objetivos principales de este trabajo:

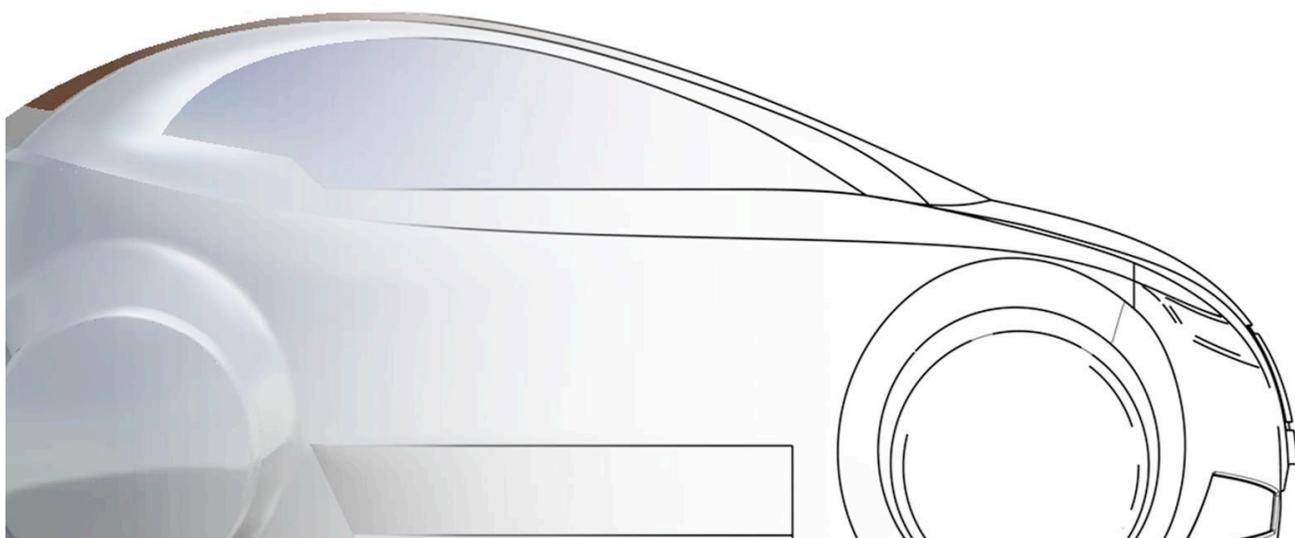
- Reportar las experiencias adquiridas en el diseño de diversas piezas del módulo frontal del chasis para el módulo frontal del chasis de la siguiente generación de serie 1 y serie 3
- Presentar los conceptos de ingeniería simultánea, outsourcing y aplanamiento de la estructura jerárquica, y los efectos que se presenciaron en la dinámica de equipo en una empresa de orden mundial
- Reportar el trabajo realizado para el diseño y modelado virtual de la pieza conocida como arco de soporte de la rueda

El cumplimiento de estos objetivos permitirá la evaluación del éxito y rentabilidad de dichas estrategias, al igual que una apreciación de algunas facetas de la dinámica de trabajo detrás de una de las empresas más exitosas del primer mundo.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

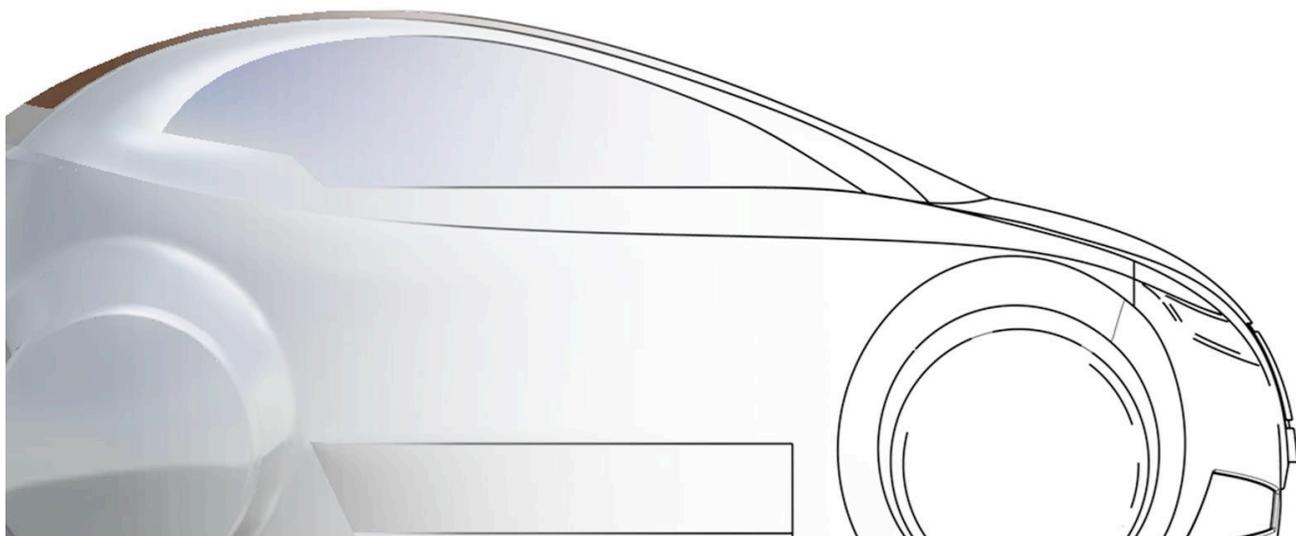




UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

INGENIERÍA SIMULTÁNEA



Ingeniería Simultánea (IS)

AT&T define a la Ingeniería Simultánea como “*la integración más rápida posible del conocimiento, recursos y experiencia de la compañía en diseño, desarrollo, marketing, fabricación y venta para crear nuevos productos exitosos que satisfagan las expectativas del cliente con alta calidad y bajo coste.*”[†]

La ingeniería simultánea (IS), es un enfoque organizativo para el desarrollo de productos mediante el cual todos los integrantes de un proyecto colaboran de manera paralela en actividades coincidentes o superpuestas a partir de la concepción de un producto, aportando así su conocimiento específico y habilidades en el momento preciso.

La ingeniería simultánea busca reducir el tiempo de salida al mercado y afinar el control de costos y recursos a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Esto implica la creación de equipos interdisciplinarios (*cross-functional teams*) formados por especialistas en diseño de producto, construcción, ingeniería en procesos, mercadotecnia y demás bajo el mando de un director de proyecto. Con frecuencia, pero no forzosamente, existe un agrupamiento de los miembros del equipo en una misma área de trabajo.

A diferencia de la organización secuencial, la IS ofrece una metodología de trabajo equitativa, sublevando así la disección y división de fuerzas individuales y estimulando la cooperación interdepartamental. De la integración del diseño de producto y la optimización del proceso de fabricación surge una calidad superior a la resultante del trabajo independiente. La ejecución consecuente de la ingeniería simultánea debe incluir la cooperación temprana de proveedores al igual que la incorporación de la voz del cliente en forma de encuestas y estadísticas de ventas.

[†] *Ecodiseño: Ingeniería del Ciclo de Vida para el Desarrollo de Productos Sostenibles*; Capuz Rizo, Salvador; Ed. Univ. Politéc. Valencia, 2002

La ingeniería simultánea surge como respuesta a la explosión competitiva del mercado internacional y a las crecientes demandas de satisfacción de los clientes. La creciente variedad y complejidad de productos en el mercado y la automatización empleada en su fabricación puede dar lugar a problemas de coordinación y comunicación. El trabajo superpuesto presente en la ingeniería simultánea eleva la competitividad de un equipo de trabajo, figura 11, sin embargo requiere nuevas maneras de pensar y trabajar, al igual que nuevas técnicas de liderazgo.

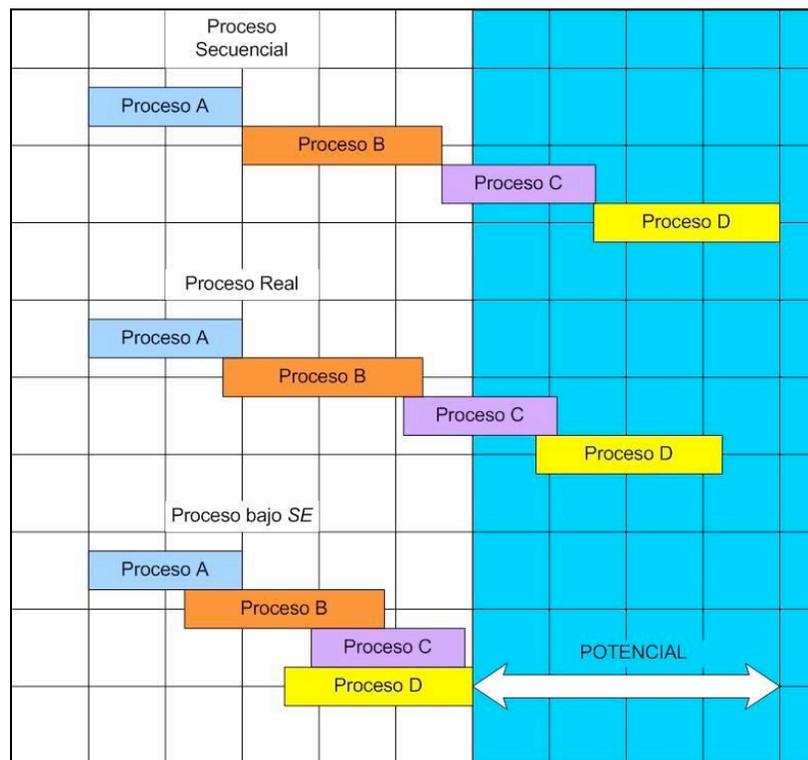


Figura 11. Potencial del trabajo superpuesto bajo IS [6]

Las experiencias asociadas a Ingeniería Simultánea en BMW hicieron posible una nueva perspectiva de cómo aprovechar al máximo el trabajo de un equipo de ingenieros. La figura 12 muestra, de manera simplificada, la estructura del grupo de trabajo EK-310 en el cual se trabajó (EK: *Entwicklung Karosserie* = Desarrollo de Chasis). Enfocado más que nada al diseño y modelado virtual, este grupo trabajaba en paralelo con el equipo de ingenieros a cargo del cálculo y simulación de esfuerzos para las piezas diseñadas.

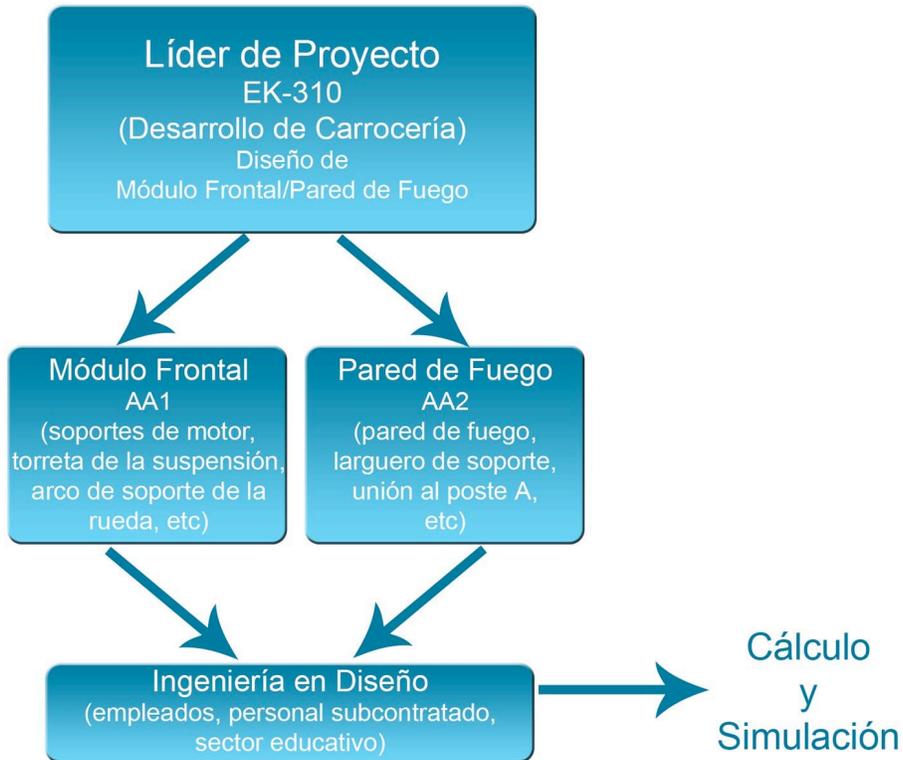


Figura 12. Estructura simplificada del grupo de trabajo EK-310

Se trabajó en equipos interdisciplinarios divididos por módulo llamados *SE-Teams*, en este caso en particular *Front-End/Firewall*, los cuales se reunían una vez por semana como mínimo. La dinámica de las juntas semanales se resume en la siguiente figura:



Figura 13. Definición dinámica del plan de trabajo semanal

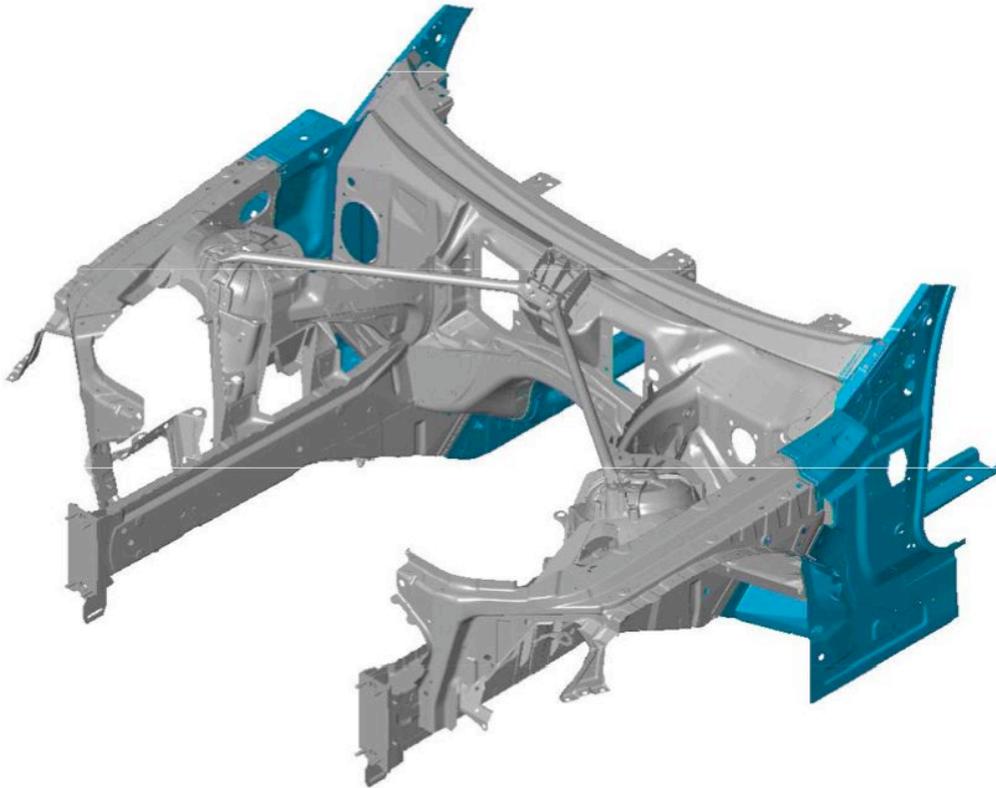


Figura 14. Módulo Front-End/Firewall de un BMW Serie 5 [7]

Las juntas semanales eran asistidas tanto por miembros del equipo de diseño y modelado, como representantes del departamento de análisis y cálculo de esfuerzos y, en algunas ocasiones, por especialistas en sellado hermético. Estos equipos tenían una estructura similar a la llamada organización de proyecto combinada. La figura 15 muestra un equipo de trabajo multidisciplinario bajo el mando de un director de proyecto, cuyos miembros provienen de distintos departamentos, incluyendo la contribución del sector educativo. El mando general lo asume la junta directiva. A lo largo del proyecto, los integrantes generalmente reciben capacitación en su área respectiva, ya sea en un software particular o bien a nivel interpersonal / administrativo como estrategias de liderazgo y manejo de conflicto. El conocimiento adquirido y los avances hechos se documentan en las diversas etapas de liberación antes del inicio de producción. Al concluir el proyecto, el equipo de trabajo se disuelve, pero no se descarta una cooperación futura de la misma naturaleza si el desempeño fue bueno.

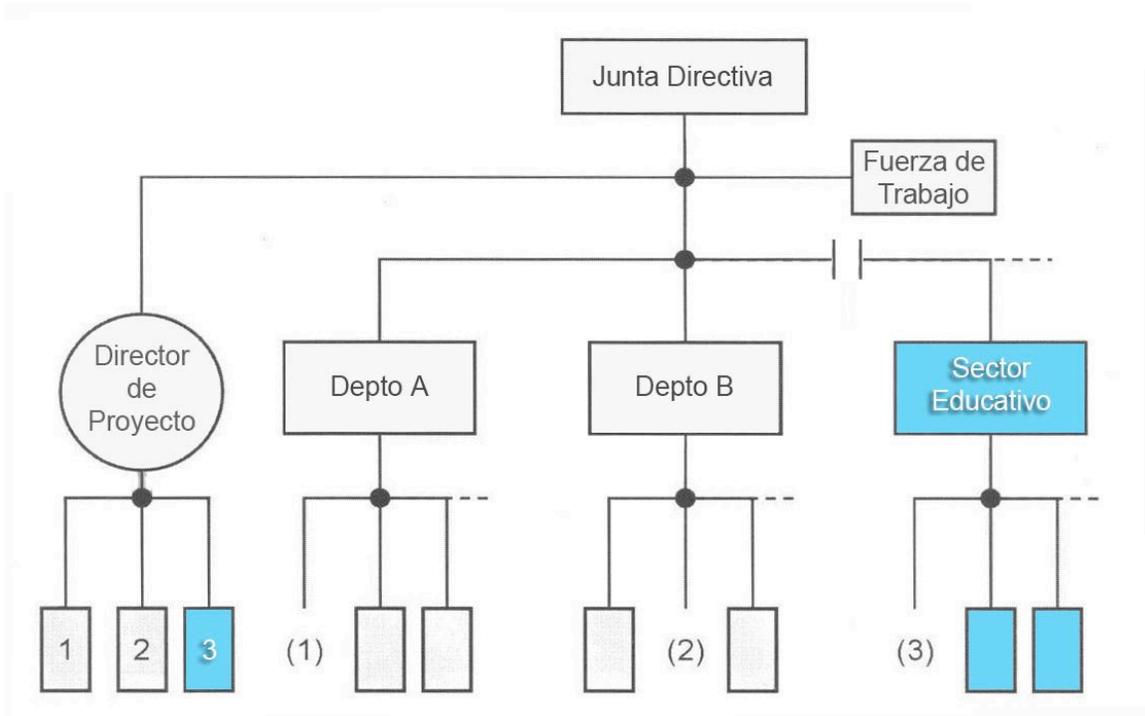


Figura 15. Organización de Proyecto Combinada [8]

En las juntas semanales se exponían los avances de la semana, resultantes de la delegación de responsabilidades de la junta anterior, y se discutían inquietudes respecto a dificultades de diseño (por ejemplo, una modificación en la pared de fuego podría presentar un radio de curvatura menor a 100 mm en el empalme con la brida del soporte del motor, sobre la cual no se podría puntear) o la carga de trabajo. La proyección del módulo entero mediante un cañón permitía la evaluación del trabajo del equipo como un todo y revelaba posibles incongruencias como geometrías encimadas, bridas desfasadas o huecos imposibles de sellar. En una industria donde se pelea cada milímetro, es de esperarse que surjan conflictos de interés en el ámbito de espacio de construcción. Cada modelador diseñaba de acuerdo al espacio que requería para agregados (bomba de agua, electrónica, soportes, etc.) en su área, y la inclusión de cada vez más innovaciones al sistema integral automotriz (por ejemplo dirección activa, *Dynamic Drive*, *BMW xDrive* o iluminación adaptable a curvas) entra en conflicto con la meta de reducción de dimensiones. Ésta requiere a su vez cada vez más creatividad en la configuración y optimización de espacio. Existía una dinámica de grupo la cual permitía la evaluación y crítica de

cualquier modelo con el fin de llegar a un consenso de mayor beneficio global. Este tema se profundiza en la sección de *Prototipo Digital*.

La filosofía de ingeniería simultánea se vio reflejada en el trabajo en paralelo de los distintos departamentos, y consecuentemente, en el trato en paralelo con las necesidades y conflictos de cada uno de ellos. Se buscó eliminar la presencia de intereses locales que precedieran los intereses del proyecto, y una de las técnicas para esto fue la disociación del individuo con la propiedad de los modelos diseñados por éste. Los modelos CAD diseñados por un modelador no le pertenecían a él, sino al equipo, y a pesar de que éste era oficialmente el encargado de dichas piezas, el acceso y la elaboración de conceptos alternativos derivados del mismo modelo podían ser llevadas a cabo por distintos miembros del equipo. Esto no sólo estimulaba la contribución creativa de diferentes mentes para alcanzar una solución, sino que también evitaba que un modelador se perdiera en los intereses de su propia pieza y sus propias ideas. La importancia y el valor de un modelador recaen en sus capacidades creativas y metódica de construcción, y no en un catálogo de modelos, los cuales, se quiera o no, son de naturaleza efímera. Como parte del sector educativo, el papel que se tuvo en la dinámica de trabajo del grupo fue, como lo indica la constancia en el anexo, de apoyo en diseño y modelado. A lo largo de la estancia se desarrollaron más de 50 piezas de tamaño y complejidad variable, tanto de manera independiente como conjunta. De igual manera, se retomaron varias propuestas que habían sido abandonadas por dificultades en el modelado.

A pesar del uso extenso de aplicaciones de correspondencia electrónica, se hizo énfasis en la importancia del contacto personal en el proceso de toma de decisiones. La filosofía de trabajo evitaba la división en oficinas y cubículos al mayor grado posible con el fin de estimular la mentalidad de equipo y reconocer así a los individuos como personas, y no sencillamente como nombres al final de un recado electrónico. A lo largo de las actividades realizadas en BMW se tuvo que comprobar constantemente la maquinabilidad de los modelos diseñados, no

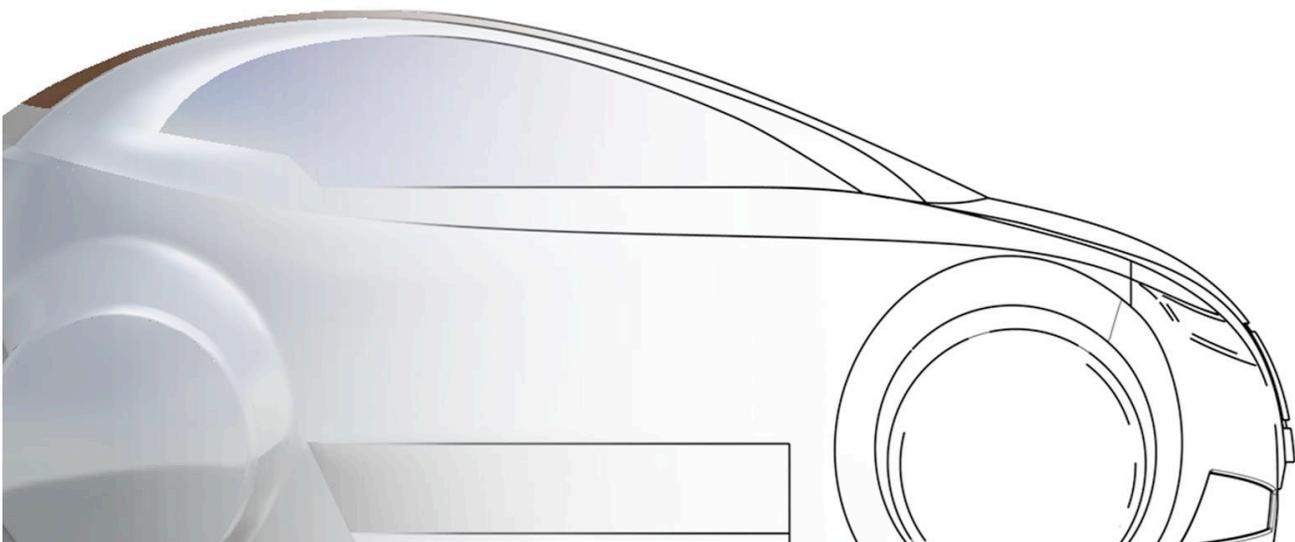
sólo en cuanto a análisis de esfuerzos, sino también en cuanto a concepto y conformado. Para esto se establecía contacto con algún colega del departamento de manufactura y se fijaba una junta en el mismo espacio de trabajo. En dichas juntas se discutían activamente los modelos en cuestión de manera personal y se analizaban las diversas propuestas. Las ventajas de este método van más allá del ahorro de tiempo y la prevención de fallas en la comunicación. Este método permite un intercambio dinámico de ideas en tiempo real y realización de modificaciones necesarias de manera inmediata. La filosofía de la ingeniería simultánea implica la interacción humana de manera imprescindible para el buen funcionamiento de un equipo.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

OUTSOURCING



Outsourcing

Outsourcing es el término anglosajón para la reubicación de ciertas funciones a compañías externas con el fin de reducir costos y recortar tiempos de producción, mejorar el uso de suelo y poder redirigir los recursos de una compañía a otros sectores. El nivel de especialización de las compañías subcontratadas permite elevar la calidad en sectores como atención a clientes, ingeniería, procesos de manufactura, diseño, modelado en CAD, estudios de mercado e informática.

Los crecientes niveles de exigencia en el mundo automotriz han llevado a que ya no sea rentable que una compañía desarrolle toda su propia tecnología ni se encargue de todos los servicios y procesos dentro de sí misma. La crisis energética global, el cambio climático y la seguridad de las personas son temas actuales que han ejercido presión tanto legal como económica sobre las armadoras automotrices para que destinen recursos al cumplimiento de requisitos cada vez más estrictos. Como lo muestran las figuras 16, 17 y 18, las normas y leyes en materia de seguridad pasiva y activa, emisiones y consumo de combustible exigen ciertos estándares de producto para que éste siquiera pueda salir al mercado. La industria automotriz alemana se comprometió en 1998 a reducir las emisiones de CO₂ a 140 g/km para el año 2008, sin embargo, BMW es de las pocas compañías que logró cumplir esta meta, y el promedio actual se encuentra alrededor de los 170 g/km. La figura 17 muestra la evolución de los límites en emisiones de NO_x establecidos por las normas EURO 0-6 y la figura 18 destaca la caída drástica en la emisión de ruido permitida desde 1978. La subcontratación facilita la creación de productos cada vez mejores que cumplan con dichos requisitos sin la necesidad de una inversión excesiva por parte de la compañía subcontratadora. A su vez, crea un nicho en el mercado para despachos especializados, y una alta calidad en los servicios brindados a causa de la competencia entre ellos.



Figura 16. Seguridad en un Automóvil

Reducción de los Niveles Limit para Autos Particulares (Diesel)

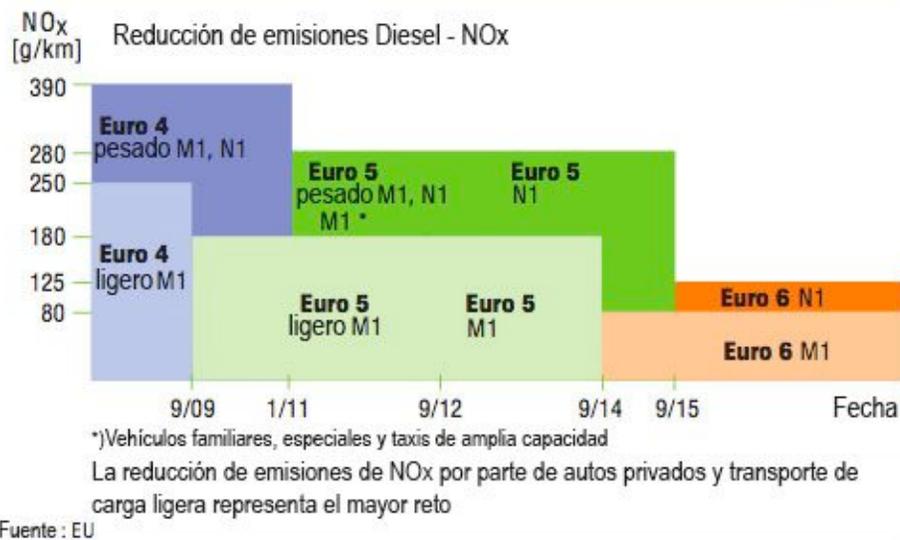


Figura 17. Normatividad de emisión de NO_x a través del tiempo [9]

Emisión de Ruido en Automóviles: Qué se ha logrado?

Evolución de los valores límite automotrices en el tiempo

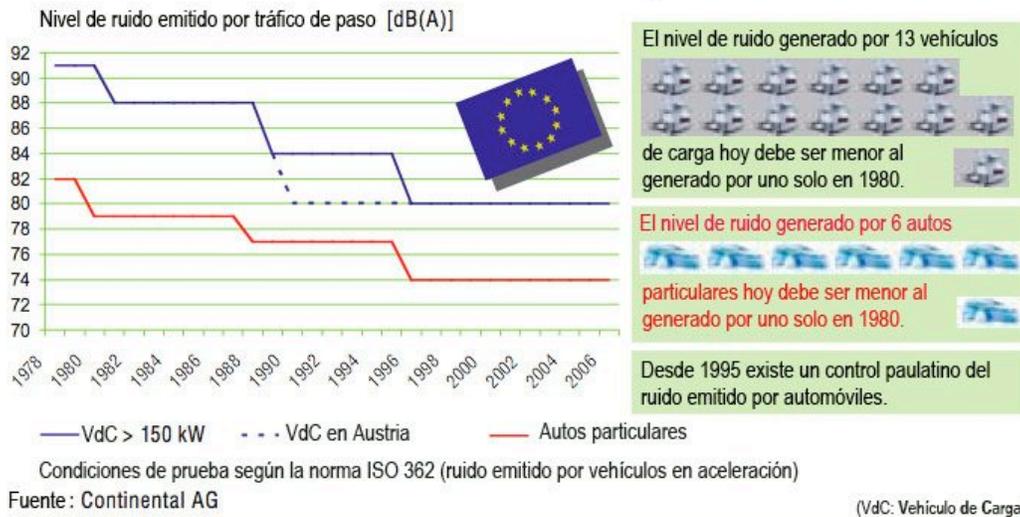


Figura 18. Niveles de emisión de ruido [9]

El automóvil se ha tornado día con día en un artículo de consumo con peso emocional, en donde la importancia de la imagen de la compañía concurre con la razón precio-desempeño de sus productos. Las diferencias tecnológicas en los automóviles son cada vez más pequeñas, lo cual ha llevado a la creciente importancia de los sectores de ventas, servicios y atención al cliente como factores que distinguen a una marca de la competencia. Los fabricantes automotrices se ocupan cada vez más de elementos específicos a la marca, particularmente del diseño, y delegan las tareas de desarrollo automotriz y producción de piezas estándar a los proveedores. Esto ha resultado en que aproximadamente 75% del valor agregado del producto final provenga de proveedores y se espera que esta cifra alcance 80% para el año 2010¹. La fabricación del techo convertible del Ford Mustang por la empresa alemana *Karmann GmbH*, la producción del Porsche Boxter por la firma finlandesa *Valmet Automotive* y la futura generación de BMW X3 por parte de la compañía austriaca *Steyr-Magna* son algunos ejemplos actuales de *outsourcing*.

¹ BranchenInfo: Automobilzulieferer, IGBCE, 18/2007

En muchos casos, la subcontratación es parte íntegra de la ingeniería simultánea, como es el caso del desarrollo continuo de componentes de forma paralela al avance de los fabricantes automotrices por parte de un tercero especializado. Esto se hace con el fin de brindar un catálogo de partes, las cuales no son necesariamente exclusivas a una sola marca. Un ejemplo de esto es la compañía *Visiocrp*, la cual (junto con *Odelo*) surgió de la división del proveedor mundial *Schefenacker*. Visiocrp es líder en espejos retrovisores e implementación de cámaras en tecnología de sensores ambientales; es proveedor de espejos y componentes de audio para los principales fabricantes automotrices del mundo, como se puede ver en la figura 19.



Figura 19. Visiocrp: Especialista en espejos y componentes de audio automotrices

La interacción constante entre la compañía subcontratante y la compañía subcontratada implica un control de calidad y revisión del desempeño de ambos lados, pues es imprescindible comprobar la compatibilidad de componentes prácticamente universales en modelos específicos. Sin embargo, la tarea de la compañía subcontratante de elegir a los proveedores que mejor se ajusten a sus necesidades va más allá de la compatibilidad de piezas; la información compartida y la delegación de ciertas labores administrativas implica un alto grado de confianza a nivel empresarial. A continuación se menciona un caso en el que se tuvo que elegir a un proveedor para una pieza específica:

Una de las tareas más importante que se llevaron acabo para BMW fue la realización de benchmarking y la evaluación de costos de piezas de expansión térmica (*hot seals*) y otras barreras acústicas ofrecidas por distintos proveedores, un buen ejemplo de la interacción que se tuvo con el sector subcontratado. El aislamiento acústico es de suma importancia para el confort en el habitáculo y proporciona a los ocupantes una sensación de calidad y seguridad. Dichas barreras acústicas se colocan dentro de un perfil cerrado y se expanden hasta veinte veces su tamaño original al ser elevadas a su llamada *temperatura de curado*, sellando efectivamente la cavidad. Reducen el ruido transmitido tanto por vibraciones en el chasis como por aperturas estructurales al área del motor, y a su vez impiden el paso del agua y del polvo, figura 20.

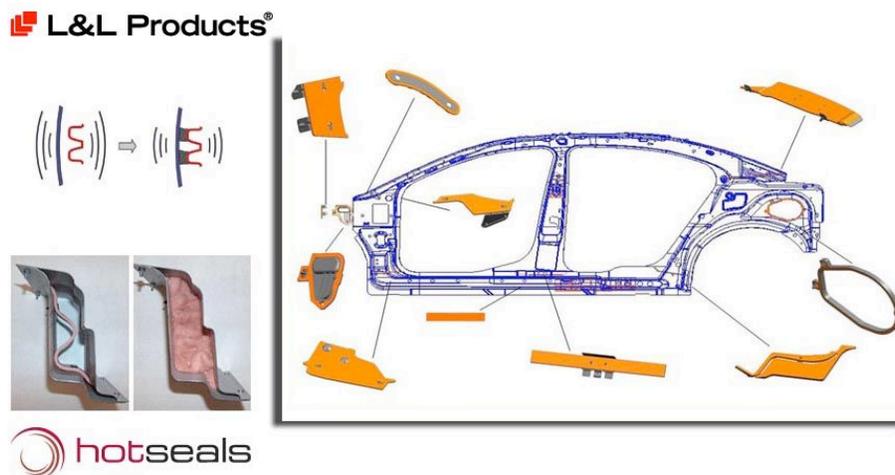


Figura 20. Aislamiento acústico de la compañía *L&L Products* [10]

Las propuestas por parte de la compañía *L&L Products* ofrecían un gran potencial de ahorro respecto a la situación de la generación anterior. Esta compañía desarrolló un material basado en copolímeros de etileno bajo el nombre L-7220 cuya expansión volumétrica superior al 2000% hace posible sellar huecos de hasta 100 mm. La expansión del L-7220 se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 21. Etapas de expansión del material L-7220 [10]

El material L-7220 tiene la habilidad de poder expandirse en una amplia gama de temperaturas, como lo muestra la figura 22. Dicho material presenta una mejor absorción acústica y busca disipar las ondas de sonido en vez de sencillamente bloquearlas, como lo muestra la figura 23.

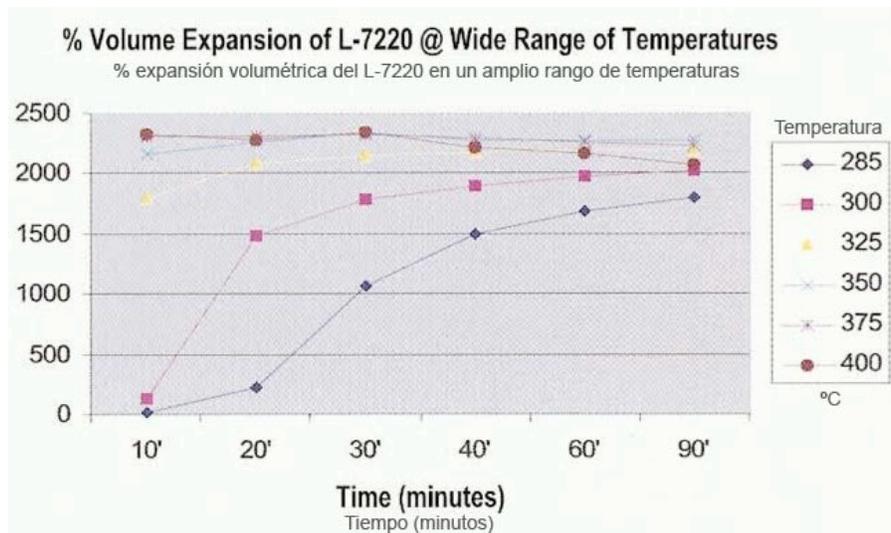


Figura 22. Temperaturas de curado y tiempo de expansión para el material L-7220 [10]

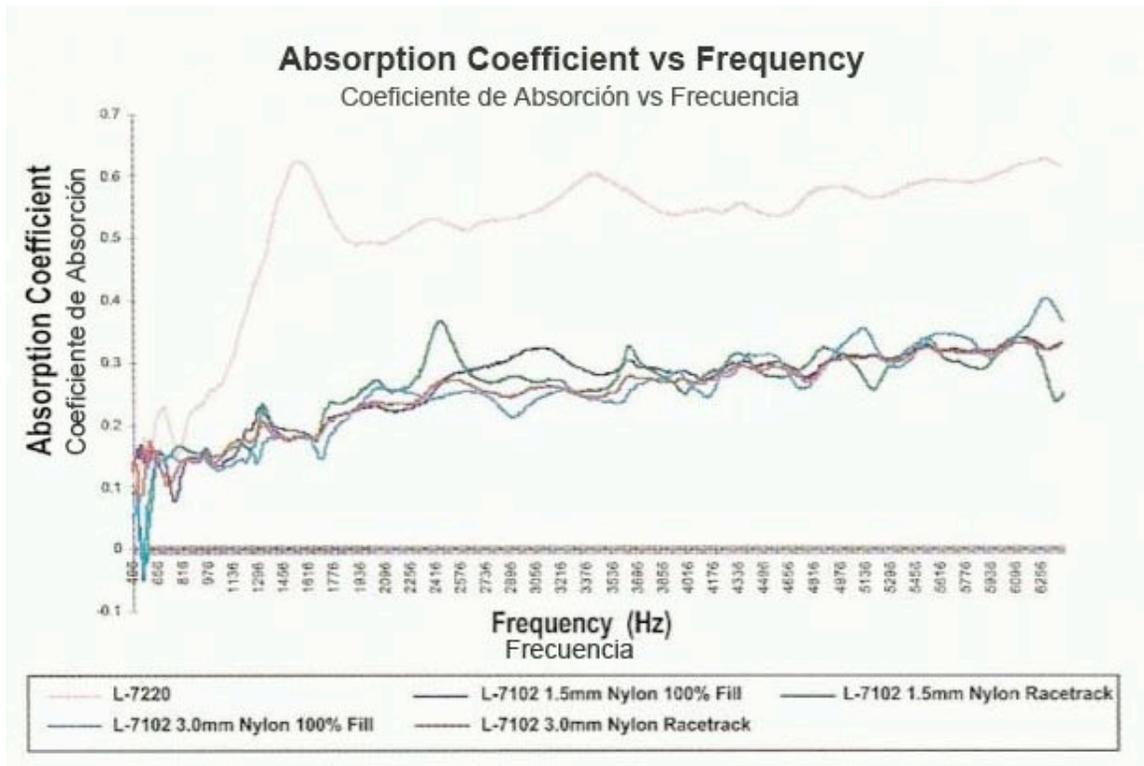


Figura 23. Coeficiente de absorción del material L-7220 [10]

L&L Products es uno de varios proveedores que colaboran con BMW como parte del plan para reducir costos y maximizar ganancias reubicando labores de investigación y desarrollo. A pesar de las altas ventas y excelentes ganancias en el 2007, muchas compañías automotrices alemanas están buscando aumentar sus ganancias aún más cambiando sus políticas de contratación. A finales del 2007 el periódico alemán *Süddeutsche Zeitung* pronosticó la eliminación de 8000 empleos por parte de BMW AG para el siguiente año como parte de un nuevo programa de ahorro². No obstante, la Asociación Europea de Fabricantes Automotrices (ACEA) asevera un crecimiento en el empleo en este rubro del 21% en Alemania en la última década; actualmente, uno de cada siete empleos alemanes depende de la industria automotriz, incluyendo el sector de proveedores y compañías subcontratadas.

² <http://www.sueddeutschezeitung.de/wirtschaft/artikel/797/149439/>

La maximización de ganancias asociada a la presunta eliminación de empleos también tiene repercusiones en la tasa de contratación de los fabricantes automotrices. Sin embargo esto no significa que haya desaparecido la necesidad de una fuerza de trabajo, sino todo lo contrario. La demanda de diseñadores y modeladores a pesar de la falta de plazas para contratarlos en estas compañías ha abierto un sector en el mercado para un sinnúmero de despachos de ingenieros, los cuales trabajan en conjunto con las grandes compañías como empleados externos o subcontratados.



Figura 24. Despachos de Ingenieros o Contratistas

Los empleados externos son contratados por la compañía por un plazo definido en su área de especialización (quemacocos, techo retráctil, etc.) generalmente por la duración de un proyecto en particular. La contratación temporal de refuerzo laboral a través de los despachos de ingenieros resulta más económica para la compañía subcontratante, pues el sueldo de un empleado externo es menor al de uno interno. Sin embargo, la competencia entre despachos de ingenieros es ardua, inclusive a nivel internacional. Ejemplo de esto es la empresa hindú Satyam la cual construye piezas para BMW, tanto a distancia como enviando empleados por periodos de seis meses a la matriz de construcción y diseño (FIZ) en Munich.



Figura 25. Satyam Computer Services Ltd.

La posibilidad de cooperación a gran distancia vía Internet abre las puertas para trabajar en conjunto con otros países, el diseño y modelado en CAD siendo un excelente campo de aplicación con gran potencial para el ingeniero mexicano.

De este modo surgió la oportunidad de trabajar en un ámbito en donde las mismas piezas desarrolladas por el fabricante son producto de cooperación con compañías externas. Los contratistas contaban con una metodología de trabajo distinta a la de los empleados internos, y frecuentemente mejor para fines de modelado en CAD. Esto es gracias a que sus tareas consistían exclusivamente en tareas de diseño y modelado y contaban con la capacitación correspondiente, no administración de recursos y liderazgo de equipos, tareas asignadas a los empleados internos a través del aplanamiento de la jerarquía.

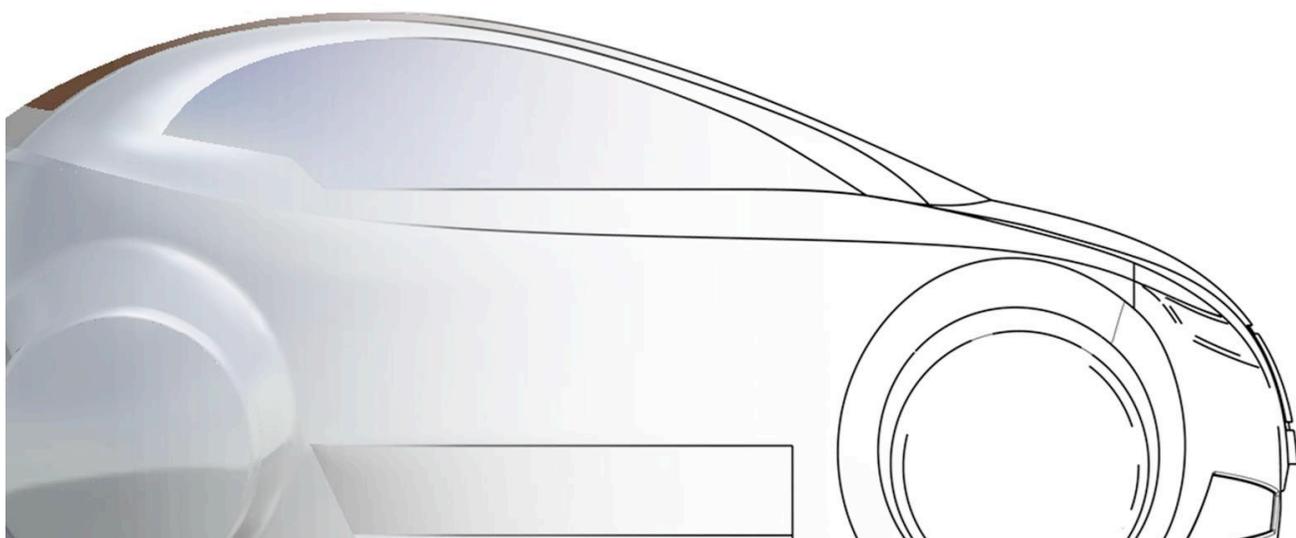
La interacción con el personal subcontratado fue muy enriquecedora, tanto a nivel profesional como personal. El hecho que los contratistas no desempeñaran tareas administrativas los hizo más accesibles para asesoría en cuestiones de diseño y modelado. La buena relación que resultó del constante contacto con los contratistas reveló que la entrada al mundo automotriz se puede ver enormemente facilitada a través de estos despachos, al tener la oportunidad de poder trabajar con las grandes armadoras automotrices sin estar en su nómina directa. A pesar de que el trabajo en estos despachos varía por temporadas dependiendo de la demanda de las armadoras, el personal subcontratado tiene la oportunidad de colaborar con distintas compañías en los diferentes proyectos y complementa su formación profesional a través de las diferentes metodologías.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

APLANAMIENTO DE LA JERARQUÍA



Aplanamiento de la Jerarquía

A finales del siglo XX se desarrolló un modelo organizacional caracterizado por la reducción del número y espacio entre niveles o escalones en la jerarquía administrativa. Como consecuencia de esto surge una estructura más plana, la cual busca eliminar la burocracia, acelerar el proceso de toma de decisiones, acortar las vías de comunicación y estimular un estilo administrativo altamente participativo.

Un aplanamiento estructural se puede instrumentar aumentando el alcance de cargos superiores y asignando más responsabilidades administrativas a los empleados. De este modo se logra eliminar la necesidad de varios jefes y encargados locales, efectivamente reduciendo puestos en la escala salarial y aminorando gastos a nivel global.

Una transición exitosa a una estructura organizacional más plana requiere de un alto grado de participación de los empleados y un mayor énfasis en el trabajo en equipo. Requiere también de un cambio en cultura y comportamiento vía la inversión en desarrollo gerencial.

Fue una experiencia muy grata presenciar en primera instancia el fenómeno de aplanamiento de jerarquía en una compañía de gran tamaño. De acuerdo con la filosofía de ingeniería simultánea, los miembros del equipo multidisciplinario estaban situados en una misma sala prácticamente libre de paredes divisorias. Dichas salas rodeaban la zona de elevadores y escaleras, figura 26; la configuración arquitectónica de la curvatura de la sala junto con ubicación estratégica de pasillos, entradas y salidas permitían una división *virtual* del área de trabajo la cual evitaba la sensación de gentío y distracción excesiva, pero a su vez permitía el libre paso de una sección a la otra, y por lo tanto el fácil acceso a los demás trabajadores.

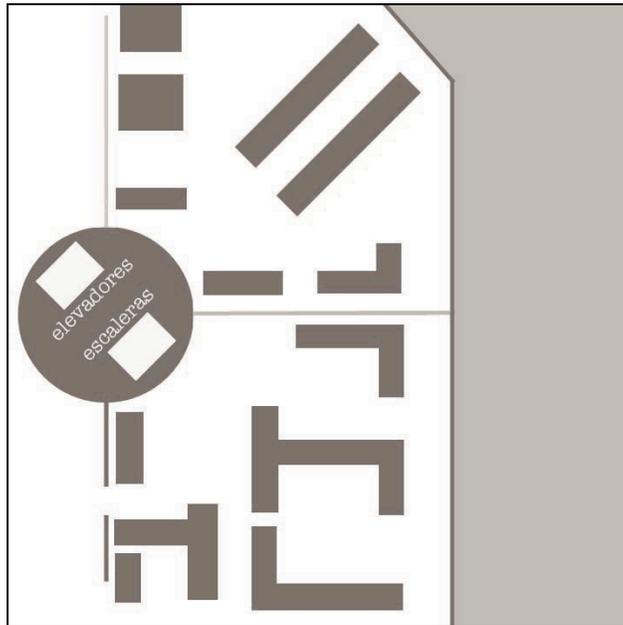


Figura 26. Sala de trabajo sin división física (un lado)

Dentro de una misma sala se encontraban tanto becarios, como constructores, jefes de equipo, jefes de grupo y el jefe de departamento sin gran distinción entre sus espacios de trabajo. El trato entre empleados era informal pero siempre respetuoso, en dónde la creciente influencia anglosajona en Alemania ha ido aminorando el uso del *Usted* alemán (*Sie*), y sustituyéndolo por *Tú* (*Du*), debido a la ausencia de un término formal en el inglés.

Esta estrategia administrativa no sólo estaba presente en la configuración arquitectónica del área de trabajo y el trato entre empleados; la subcontratación de externos permitió que ciertos empleados de BMW asumieran más responsabilidades administrativas, desempeñando el papel de líder de equipo dentro del mismo y coordinando sin realmente crear otro escalón en la escalera burocrática. Aquí cabe aclarar que el aplanamiento de la jerarquía no es parte intrínseca de la ingeniería simultánea o del outsourcing, y que, a pesar de su alto grado de compatibilidad y potencial en conjunto, son ultimadamente estrategias independientes. El desarrollo de chasis se dividía primero por modelos (serie 1 y 3, serie 5, 6 y 7, X3, X5, X6, Z4, Mini) y subsecuentemente por módulos (módulo frontal y pared de fuego, piso y plataforma, marco lateral, módulo trasero y cajuela). La complejidad del esqueleto automotriz hace imposible una estructura

jerárquica completamente plana, pero no un aplanamiento de la pirámide tradicional al acercar al jefe de grupo a los demás empleados y al seccionar la fuerza de trabajo en equipos liderados por los mismos modeladores.

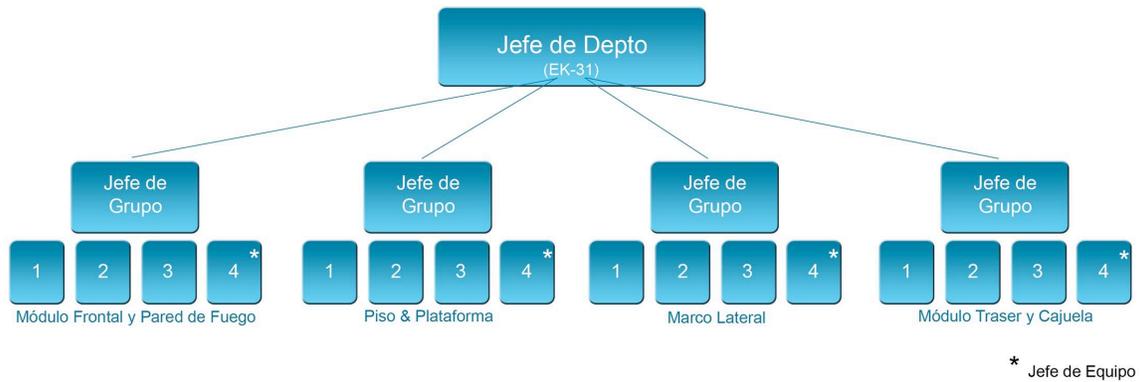


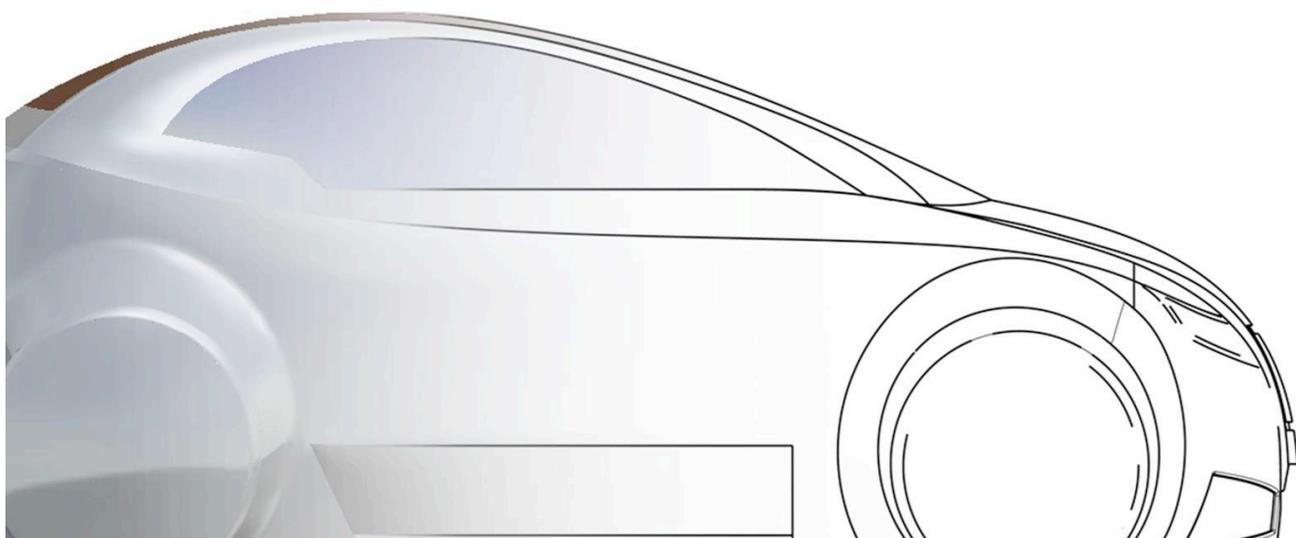
Figura 27. Aplanamiento de la pirámide tradicional en BMW



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

PDM & PROTOTIPO DIGITAL



PDM & Prototipo Digital

Los procesos de diseño y fabricación han ido desplazando su peso al sector informático con el fin de maximizar productividad. La ingeniería simultánea y los procesos asistidos por computadora han creado una necesidad de sistemas de captura, edición y distribución de datos en la forma de bases de datos y modelos virtuales conocidos bajo el nombre de *Product Data Management* (PDM por sus siglas en inglés), es decir, manejo de datos de producto.

El enfoque dentro de un sistema PDM está en rastrear y administrar la creación, modificación y clasificación de toda la información pertinente a un producto a lo largo de su ciclo de vida. La información que se almacena y administra en uno o varios servidores incluye datos ingenieriles y documentos asociados, como requisitos, especificaciones, planos de manufactura, planos de ensamble y procedimientos de prueba. Frecuentemente incluye también información para la visualización del producto. La base de datos central es responsable de la construcción y manipulación de la lista de partes para ensambles y asiste en la configuración administrativa de variantes del producto.

Dentro de la información que se maneja en el PDM está:

- Número de parte
- Descripción de parte
- Proveedor/vendedor
- Unidades
- Costo
- Modelo CAD
- Datos para visualización
- Planos de manufactura y ensamble
- Planos y procedimientos de pruebas
- Hojas técnicas de los materiales

Los sistemas PDM han acelerado el proceso de organización y rastreo de datos de diseño al llevar registro constante de cambios y actualizaciones de detalles pertinentes al producto. Las componentes y materiales se pueden clasificar dentro de la base de datos según sus atributos. Esto favorece la estandarización al identificar componentes y/o materiales iguales y eliminar información redundante; la reutilización de datos de diseño ha logrado mejoras en la productividad. La agrupación de un modelo y sus variantes dentro de una base de datos ha enriquecido la capacidad de colaboración en los equipos de trabajo.

La restricción de acceso y control de derechos de lectura y escritura hacen posible la liberación de datos a miembros del equipo aunque no estén directamente involucrados en los procesos de diseño, desarrollo y planeación sin comprometer la integridad de los archivos. La aplicación de sistemas PDM en proyectos con colaboración externa adquiere cada vez mayor importancia; el acceso restringido representa un aspecto crítico en el control de lectura en la cadena de suministro, pues limita el acceso a proyectos, productos o partes para clientes o proveedores específicos.

El PDM es un recurso predominantemente ingenieril utilizado para administrar el progreso y acceso a datos dentro de un mismo equipo de diseño y auxilia la planeación de recursos y coordinación de las transacciones necesarias para el inicio de producción. La relación entre partes dentro de un producto es una relación lógica, es decir no se limita a un simple posicionamiento físico. Esto da lugar a que existan múltiples relaciones entre partes dentro de un ensamble, correspondientes a las necesidades específicas de cada departamento, pero aun así manteniendo el orden de la definición de un producto en una base de datos única. De este modo, PDM tiene la capacidad de almacenar no solo relaciones físicas entre partes de un ensamble, sino también aquellas asociadas a manufactura, finanzas, mantenimiento, documentación, etc. La clasificación ecléctica contenida en el PDM permite que los diferentes especialistas en un equipo de trabajo analicen la estructura relacional del producto, cada uno en su

contexto particular. Esta filosofía integral aplicada al desarrollo, organización y mantenimiento de la definición de una parte y un producto facilita el proceso de diseño.

Como se mencionó anteriormente, dentro del PDM se encuentra toda la información pertinente a las geometrías de modelos CAD y su ensamble, lo cual lleva al tema de prototipo digital. El prototipo digital o virtual (*Digital Mock-Up/DMU*) es una gran innovación en el proceso de desarrollo de producto, la cual permite la descripción tridimensional de un producto entero abarcando todas las etapas en su evolución.

Un prototipo digital consiste en un conjunto de modelos tridimensionales, los cuales se posicionan en el espacio con el fin de representar la forma global del producto a desarrollar. La generación de un prototipo virtual es de enorme ayuda para la implementación de la ingeniería simultánea, al permitir que todos los integrantes del equipo vean el estado de trabajo actual de los demás y como es que éste evoluciona con el tiempo.

Los prototipos digitales comenzaron con la introducción del modelado tridimensional. Las primeras versiones de prototipo virtual constaban en un ensamble de todas los modelos CAD subordinados. El tamaño de este archivo de ensamble y la necesidad de constantemente estar cargando cada geometría como entidad independiente era excesivamente impráctico en cuanto a tiempo y recursos de cómputo. Hoy en día se crean ensambles ligados a bases de datos relacionales, las cuales hacen referencia a una especie de *imagen* o *espejo* de cada geometría en vez de los archivos enteros, ahorrando memoria de cómputo y acelerando procesos. Para esto se genera una casilla para cada componente con su nombre y ubicación de planos coordinados locales dentro del sistema PDM. A estas casillas se les llaman *partes*. Conforme va avanzando el desarrollo del producto, se van asignando *modelos* a las *partes*, los cuales se despliegan en el prototipo virtual. Las *partes* contienen la información necesaria

para definir la posición y la orientación relativa en la estructura de los modelos, los modelos son la parte visual.

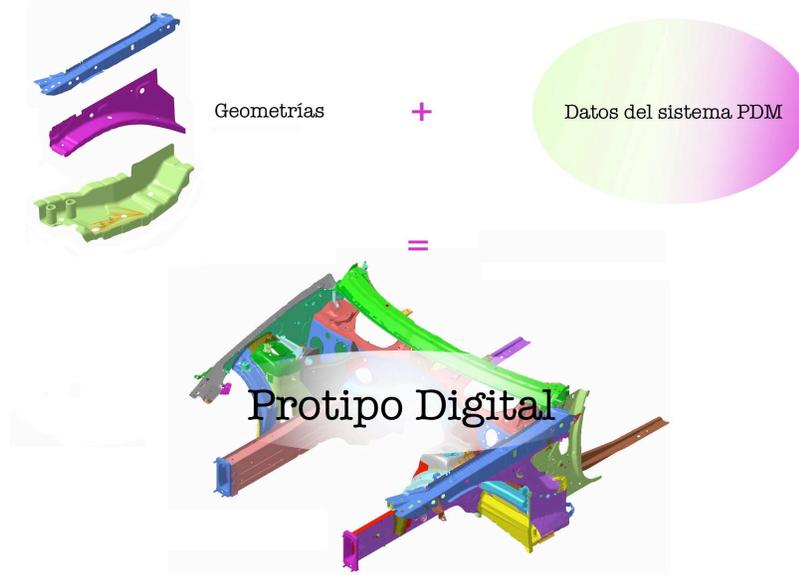


Figura 28. Prototipo Digital (con permiso de BMW)

El sistema de casillas permite la elaboración paralela de alternativas, es decir, diferentes modelos bajo una misma parte, de los cuales se despliega solo uno a la vez en el prototipo virtual, figura 29. El posicionamiento de planos coordenados aplica a todo modelo contenido en una misma parte. Cada modelo se va construyendo en su posición final dentro del contexto del producto entero, lo que requiere de fácil acceso al estado actual de trabajo de todas las geometrías vecinas.

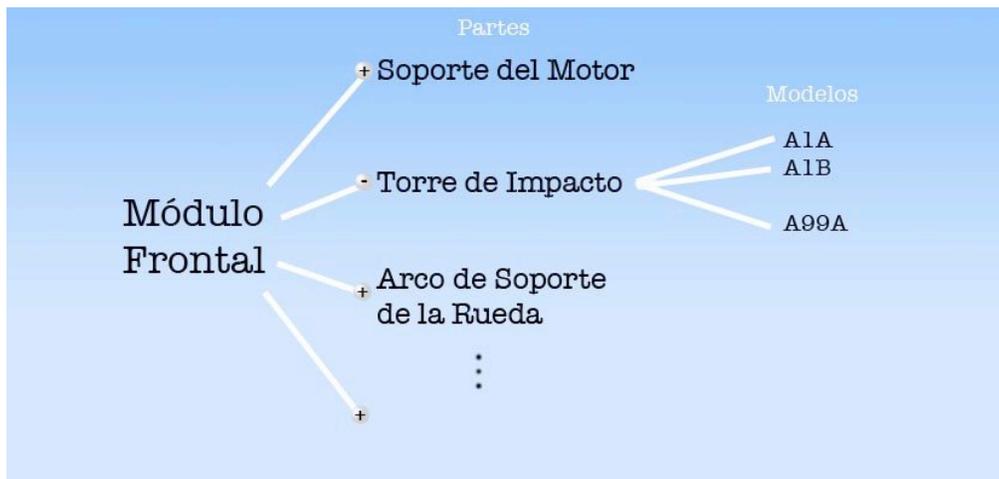


Figura 29. Sistema de Casillas

Las casillas de partes pueden contener datos no geométricos asociados a los modelos, como resultados de análisis por elemento finito y propiedades del material.

La generación de prototipos virtuales con cientos de partes, como con los que se trabaja todos los días en BMW y toda la industria automotriz requieren de formatos de archivo tridimensional ultraligeros, como por ejemplo *.3DXML. Estos archivos contienen diversos niveles de detalle, y permiten la visualización, análisis e interacción con grandes cantidades de datos en una computadora de escritorio estándar y reduce el tamaño de archivo hasta un 90% al trabajar únicamente con una imagen de la geometría final de cada modelo; esto significa que se ignora todo el historial constructivo de la pieza y se trabaja exclusivamente con una carcasa de geometría muerta.

La experiencia adquirida con prototipos virtuales confirmó que son una herramienta estupenda para la detección de errores de diseño, facilitando la verificación de restricciones cinemáticas asociadas a colisiones e incongruencias geométricas. Permiten diseñar y configurar productos complejos y validar su diseño en cuanto a tolerancias y ensamblajes sin la necesidad de un modelo físico; acortan el plazo al inicio de producción al identificar problemas en potencia a lo largo del proceso de diseño; reducen los costos de desarrollo al minimizar el número de prototipos físicos que se requieren construir; por último, aumentan la calidad del producto final al permitir un mayor número de alternativas e iteraciones de diseño antes de elegir una definitiva.

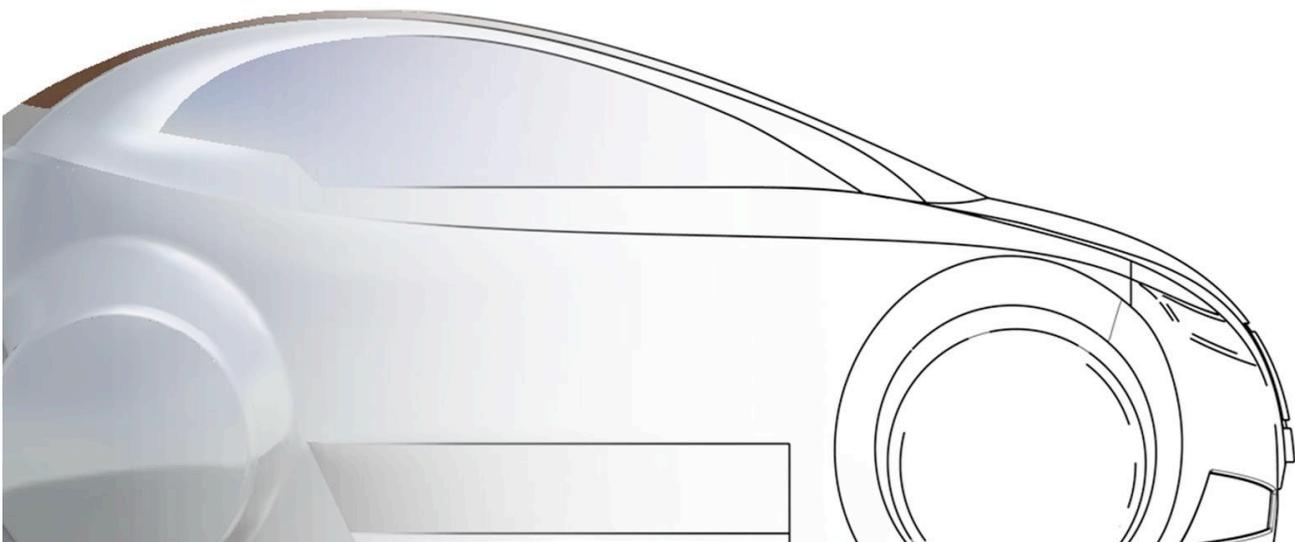
La creación de un prototipo digital acoplada con sus contrapartes en el diseño de operaciones, de fabricación y diseño de sistemas productivos eliminan etapas intermedias entre diseño y producción, y son piezas clave en el desarrollo de un auto digital (*digital car*). Las técnicas CAD, CAE y CAM han permitido aprovechar el verdadero potencial de la ingeniería simultánea, dando pie a una nueva era en el desarrollo de productos.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

HIDROFORMADO



Hidroformado

En todo los ámbitos de la ingeniería que involucran la aceleración de masas (como lo son la industria aeroespacial y automotriz) adquiere cada vez mayor relevancia el concepto de construcción ligera, en lo particular asociado al ahorro de combustible. Un incremento de 100 kg en la masa de un automóvil equivale a un incremento en su consumo de 0.3 l/100km.

La construcción ligera se puede realizar de diferentes maneras, en particular asociada a los cuatro criterios principales determinantes al diseño automotriz: *concepto, forma, material y fabricación*.



Figura 30. Construcción Ligera

- *Concepto*: consiste en la optimización de ensamblajes a través del ajuste de líneas de carga y/o la integración de módulos.
- *Forma*: consiste en la optimización de la geometría de una pieza a través de un dimensionado ajustado al colectivo de cargas.
- *Material*: es la sustitución de materiales convencionales por materiales de menor densidad y/o mejores propiedades.
- *Fabricación*: es el empleo de nuevos procesos de manufactura y optimización de métodos de unión.

Como se puede deducir, existe un enorme potencial para la construcción ligera en el diseño integral de piezas, al igual que en la adaptación de métodos de unión. El diseño diferencial de piezas tiene sus ventajas, sin embargo los puntos de unión siempre van a traer consigo un riesgo de falla. Es aquí donde entra el proceso conocido como *hidroformado*. Para entender el verdadero potencial que tiene este proceso en la industria automotriz y poder aplicarlo (véase *Caso Técnico: Arco de Soporte de la Rueda*), fue necesario primero familiarizarse con él.

El hidroformado es un proceso de manufactura el cual emplea un fluido a presión para conformar una pieza de trabajo a la geometría de un dado. La presión ejercida por el fluido usualmente varía entre 80 – 450 MPa dependiendo de las características de la pieza y del material a deformar. Dicha presión rebasa el esfuerzo a la fluencia del material, ocasionando una expansión plástica confinada por un dado de la forma deseada, y entrega una pieza terminada, la cual prácticamente ya no necesita ser maquinada. El fluido a presión normalmente es una solución sintética; se ha disminuido el uso de agua y emulsiones ricas en aceites minerales con el fin de evitar la oxidación e impulsar el uso de sustancias bio-estables.

La división posiblemente más útil del hidroformado se hace al clasificar según el objeto a deformar: hidroformado de láminas (perfil abierto) e hidroformado de tubos (perfil cerrado), figura 31.

También conocido como *estampado hidráulico*, el conformado de láminas deforma el material contra un dado fijo, adquiriendo así la geometría deseada con la ayuda del fluido a presión. Una prensa hidráulica mantiene cerrada la herramienta conformada por la cámara presurizada y el dado, y el conjunto se hermetiza con un cordón de poliuretano.

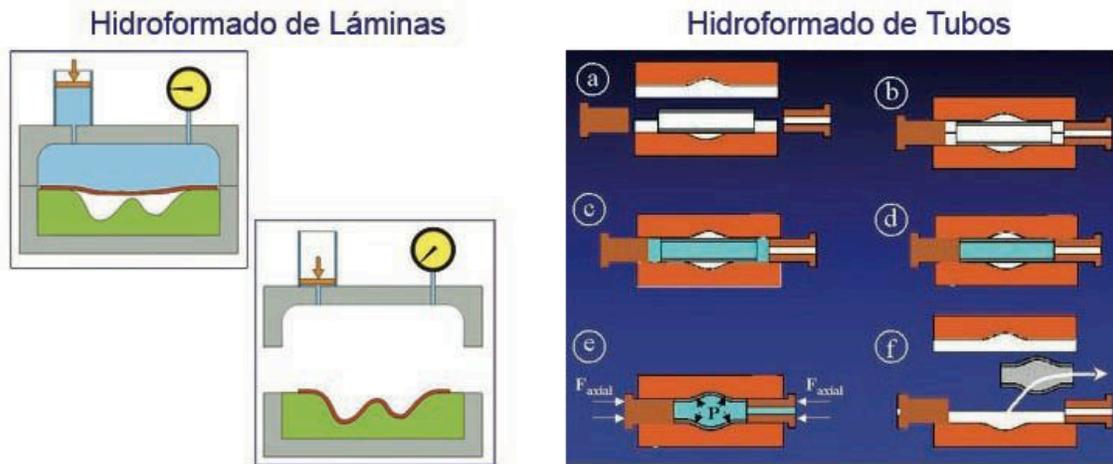


Figura 31. Tipos de hidroformado [11]

En el hidroformado de tubos se expande plásticamente un tubo metálico mediante un fluido a presión en su interior, el cual, ejerciendo presión hacia fuera sobre las paredes, le da la forma del molde que lo rodea. Este proceso puede ir acompañado por alimentación de material mediante presión axial para evitar un adelgazamiento excesivo de las paredes.

Hidroformado a diferentes temperaturas

Para la construcción ligera a través del uso de metales ligeros como aluminio, magnesio, latón y titanio, es necesario conocer el comportamiento de cada material al ser deformado. El módulo de elasticidad menor de los metales ligeros requiere de una optimización en el diseño de piezas para soportar las mismas cargas sin afectar las dimensiones. La pieza integral tiene que conservar ciertas geometrías esenciales, las cuales, combinadas con las optimizaciones, conllevan a una creciente complejidad en el diseño constructivo. La transición de un modelo virtual a una pieza real eventualmente recae en los límites de deformación del material.

El esfuerzo de cedencia de los metales se comporta inversamente proporcional a su temperatura; de encontrarse ésta por encima de la temperatura de recristalización, no existe endurecimiento por deformación,

dando mayor libertad de forma, especialmente en el estampado hidráulico. Sin embargo, la elevación de la temperatura del proceso de hidroformado supone la resistencia térmica tanto del fluido deformante, como de válvulas, empaques y toda la periferia. En este contexto se vuelve interesante el conformado en semi-caliente, es decir, por debajo de la temperatura de recristalización.

El precalentamiento del fluido deformante y del dado inhibe elimina el gradiente de temperatura a través del espesor de la lámina. No obstante, temperaturas superiores a 300 °C impiden el uso de fluidos de hidroformado convencionales. En vista de esto el proceso utiliza aire, nitrógeno o argón como fluido a presión.

Gracias a que el material fluye tangencial a la superficie del dado al deformarse, es importante considerar los efectos de la temperatura sobre la tribología del sistema. El incremento en fricción en el molde es proporcional a la temperatura del lubricante. Esta fricción elevada, aunada a la mayor plasticidad del material, lleva a un mayor espesor en las áreas de alimentación y un flujo deficiente al resto del molde.

Elevar la temperatura de un material no solo reduce la fuerza necesaria para deformarlo, sino también su capacidad de transmitirla. El verdadero aprovechamiento del hidroformado en caliente solo se puede alcanzar al entender la geometría de la pieza de trabajo y los patrones de distribución de material asociados al proceso de conformado. Las zonas de mayor deformación requieren suministro de calor, mientras que las zonas de alimentación de material requieren de un retiro, como se puede ver en la siguiente figura:

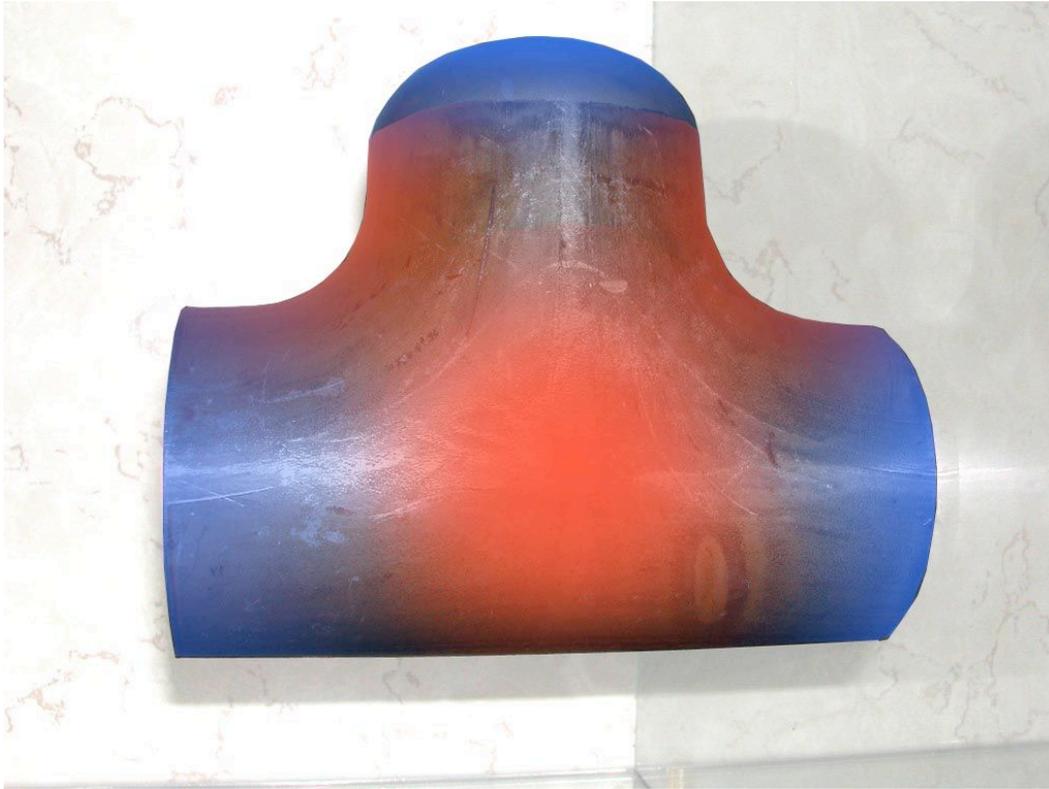


Figura 32. Distribución de temperaturas para optimizar el hidroformado

El enfriamiento del material en la zona de alimentación eleva su capacidad de transmitir cargas axiales mientras que el enfriamiento en la zona del domo inmediatamente externa al molde impide un adelgazamiento excesivo. De aquí se concluye que un calentamiento localizado es más efectivo que uno global.

El calentamiento discontinuo en el herramental obliga que su composición sea segmentada, pues de lo contrario se daría un corto circuito térmico entre fuentes y sumideros. El fluido a presión tendría idélicamente una temperatura similar a la de la región a deformar; de ser frío surgiría un gradiente de temperatura desfavorable para las regiones a deformar, por lo que solo puede ser caliente. En este momento recae la efectividad del proceso en el retiro de calor en las zonas pertinentes.

A través del proceso conocido como *HEATforming* (**H**ot **E**xpansion **A**ir **T**echnology) se vuelven alcanzables radios más agudos y mayores grados de

deformación. Deformaciones hasta del 270% en circunferencia se vuelven asequibles en un solo paso con ciclos cortos. La temperatura del herramental se monitorea y controla con la ayuda de un termopar y la uniformidad de la temperatura a lo largo del tubo se obtiene mediante un calentamiento inductivo.

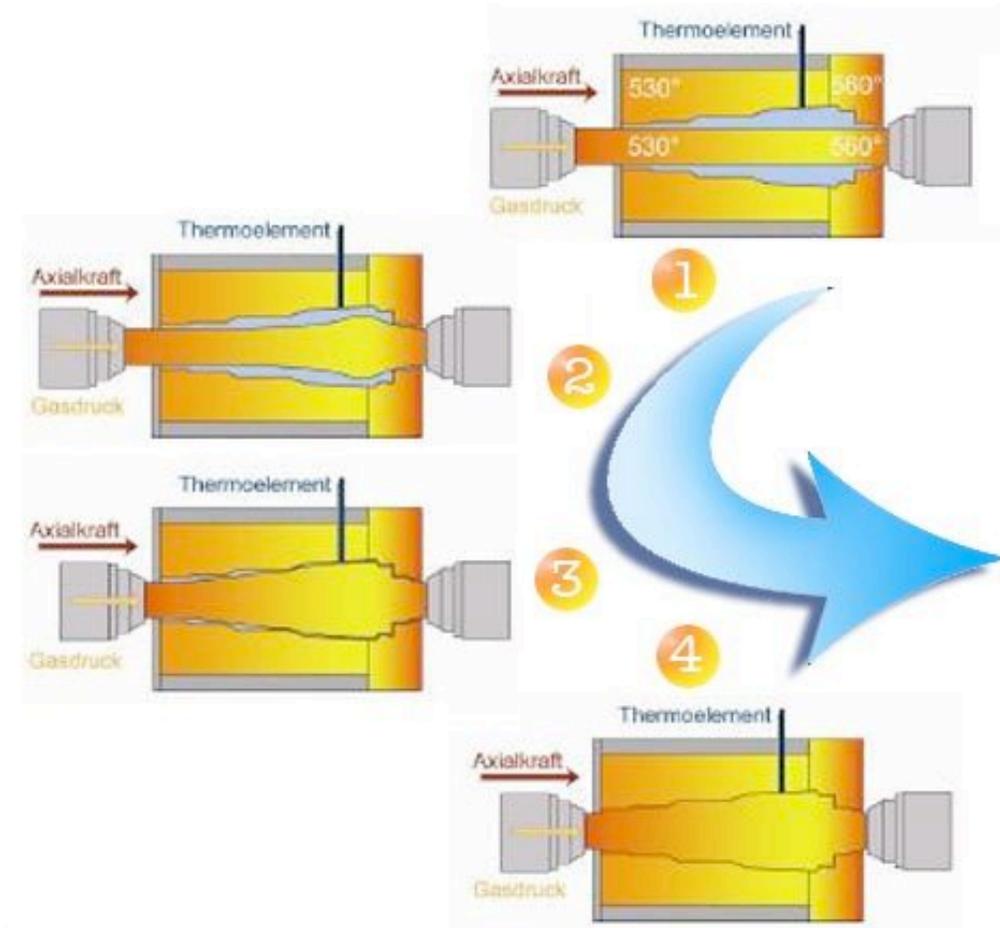


Figura 33. Proceso HEATforming [12]

La figura 33 resume el proceso HEATforming en cuatro pasos:

1. Un tubo precalentado se inserta en un dado precalentado, y se sella herméticamente de ambos lados.
2. El tubo se somete a presión interna y se aplica una fuerza axial.
3. La deformación ocurre a través de la presión al interior del tubo y la fuerza axial.
4. El tubo se calibra bajo alta presión en su interior.

Viabilidad del Proceso

El determinar la rentabilidad del hidroformado requiere de una evaluación cualitativa de sus ventajas, desventajas y limitantes, como se muestra a continuación:

| Ventajas | Desventajas | Limitantes |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la cantidad de viruta y material residual, en algunos casos la elimina por completo • Se puede mejorar la rigidez y resistencia estructural de una pieza • Ahorro en el herramental a través de la integración funcional y adaptación a prensas hidráulicas ya existentes • Reducción global de peso en la transición construcción diferencial⇒integral • Minimización de la recuperación elástica al remover el dado • Mayor libertad de forma para fines de integración, absorción de esfuerzos y estéticos | <ul style="list-style-type: none"> • Se puede dar un adelgazamiento excesivo en las paredes, remediable con una presión axial que alimente el material • El hidroformado de placas puede resultar costoso para la producción en masa por el sellado de la lámina al dado antes de la presurización | <ul style="list-style-type: none"> • La productividad se ve limitada por la velocidad del proceso y el tiempo requerido para montar y desmontar la pieza • Requiere que los diseñadores y constructores conozcan y observen las limitantes del proceso al diseñar (ajustar tolerancias y medidas a la tecnología existente) • Sobreestimar el proceso lleva al diseño de piezas de producción dispendiosa y en varios pasos, elevando el costo • Requiere de cooperación intensiva entre fabricantes y diseñadores para alcanzar su máximo potencial |

| | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Formas complejas en un solo paso • Perfiles suaves que evitan la concentración de esfuerzos • Buenas tolerancias y acabado superficial, en lo particular para geometrías esféricas • Inexistencia de costuras, especialmente valioso para la formación de piezas conductoras de fluidos, como ductos de carga de combustible y enfriamiento de gases de combustión | | |
|---|--|--|

Tabla 1. Ventajas, desventajas y limitantes del hidroformado

El papel de la lubricación en el proceso

El éxito de un proceso de conformado depende del flujo del material a todas las regiones de la geometría que determina la forma de una pieza. La selección de un lubricante y el equipo de aplicación correspondiente juegan un gran papel en los costos y la rentabilidad de un proceso de conformado.

En el hidroformado existe una interacción entre lubricante externo, lubricante interno y fluido deformante, y a su vez con cualquier residuo de lubricantes empleados en procesos anteriores como por ejemplo un laminado.

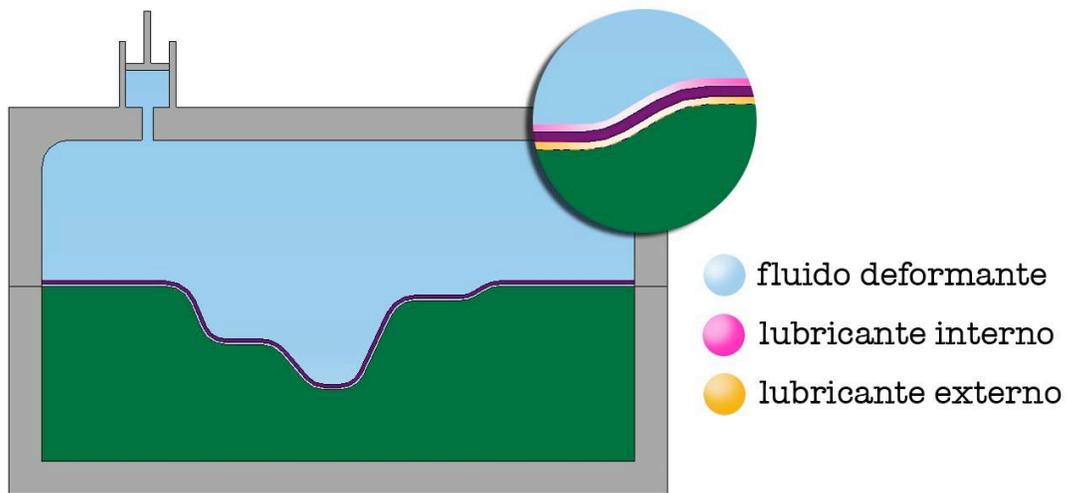


Figura 34. Lubricantes en el estampado hidráulico

La interacción de lubricantes entre sí puede resultar contra-productivo para el rendimiento del sistema; por ejemplo, el lubricante empleado en el proceso de laminado puede afectar la adherencia del lubricante externo, lo cual arrojaría piezas defectuosas. Rastros de lubricante de procesos anteriores pueden obstaculizar procesos subsecuentes, en particular procesos de unión.

El desempeño del proceso de hidroformado se ve afectado por el grado de impurezas en el lubricante, el cual a su vez depende de la cantidad y naturaleza del lubricante implementado en cada operación intermedia.



Figura 35. Costos asociados a la lubricación

El hidroformado trabaja principalmente con los siguientes tipos de lubricante:

- *Película seca*: debido a su baja viscosidad es fácil de aplicar por nebulización, pero el nebulizado en sí es un proceso altamente ineficiente. Mayores eficiencias solo se pueden atener a través de modificaciones en el equipo aplicador, como por ejemplo rociado electrostático. El material excedente no se puede reutilizar debido a su corto tiempo de secado, sin embargo aporta un mínimo de impurezas al sistema las cuales pueden ser fácilmente removidas posteriormente.
- *Emulsiones*: a pesar de ser la sustancia más económica, visto globalmente es el lubricante más costoso. Sus propiedades físicas suelen llevar a una aplicación excesiva y también a un escurrimiento. Existe un incremento en su viscosidad por pérdida de agua durante el proceso. El aporte de impurezas a la prensa es alto, pero bajo en cuanto al sistema de limpieza. Los desaceitadores son inefectivos para la remoción de residuos.
- *Aceites*: su baja viscosidad contribuye a que sean fáciles de aplicar, recolectar y remover. Los costos de equipo y preparación son relativamente bajos. Son fáciles de remover tanto de la prensa como del sistema de limpieza usando desaceitadores convencionales

La cantidad de lubricante empleado y las propiedades físicas del mismo determinan el gasto en limpieza y remoción de impurezas de la pieza y del herramental. El uso excesivo de lubricante no solo no beneficia el proceso, sino que eleva los gastos. Es por esto que se busca determinar un espesor óptimo de aplicación para cada tipo de lubricante.

| Tipo de Lubricante | Cantidad óptima por unidad de superficie | Espesor Óptimo | Costo por Litro |
|----------------------|--|----------------|-----------------|
| <i>Película seca</i> | 6 g/m ² | 0,05 mm | 4,50 €/L |
| <i>Emulsión</i> | 15 g/m ² | 0,13 mm | 1,10 – 2,30 €/L |
| <i>Aceite</i> | 15 g/m ² | 0,13 mm | 1,80 – 3,40 €/L |

Tabla 2. Ejemplo de cantidades ideales de lubricante [13]

La lubricación tiene una eficiencia asociada, donde $\eta=100\%$ se refiere al consumo de la cantidad exacta correspondiente al espesor óptimo, despreciando pérdidas debidas al contacto con el fluido a presión. Tanto la emulsión como la película seca contienen un porcentaje significativo de agua como solvente; en estos casos solo la parte sólida del material restante se considera como impureza.

De aquí se concluye que el costo general de un lubricante depende más de la eficiencia de su aplicación y los efectos sobre el sistema operativo que del precio del lubricante en sí. La tribología de un sistema de hidroformado debe manejarse como sistema completo, y no como operaciones aisladas, pues la máxima eficiencia y reducción de costos solo se dará a través de la armonización de equipo, y filtración de operaciones.

Optimización del proceso existente

La demanda que recibe el hidroformado para reducir sus costos requiere de optimizaciones a lo largo de todo el ciclo de producción; esto se logra principalmente a través de la combinación de procesos y por lo tanto, de la multifuncionalidad del herramental.

Los fabricantes de herramental tienen que tomar conciencia que la combinación de procesos requiere de maquinaria más ligera y flexible, la cual se pueda re-implementar en diferentes procesos al concluir la producción de una pieza en particular. Solo así se puede re-ordenar una celda de trabajo para

hacerla accesible a otra serie de procesos, y así evitar la necesidad de herramental completamente nuevo.

Para ampliar el campo de aplicación del hidroformado, es necesario el desarrollo de materiales más económicos y con buena capacidad de deformación. De este modo se puede explotar el enorme potencial que tiene este proceso en las industrias aeroespacial y médica, donde se requiere de piezas económicas de forma compleja, tanto para la producción de tubos conductores de fluido como de componentes ergonómicas como empuñaduras.

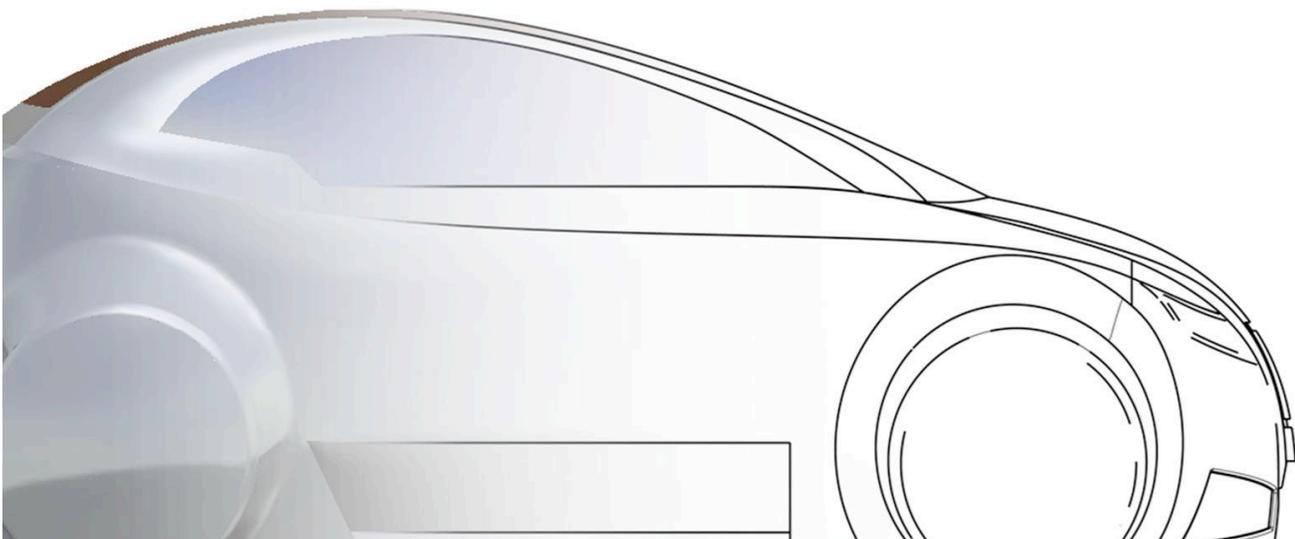
Una vez habiéndose familiarizado con el tema, se pudo diseñar una propuesta para el arco de soporte de la rueda, la cual se encuentra en el siguiente capítulo.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DESARROLLO

CASO TÉCNICO: ARCO DE SOPORTE DE LA RUEDA



Caso Técnico: Arco de Soporte de la Rueda

Uno de los proyectos en los que se trabajó, y posiblemente el más importante, fue en el diseño iterativo del arco de soporte de la rueda. Los objetivos principales para el desarrollo de este ensamble fueron: a) la reducción de bridas para ahorrar espacio; b) la reducción del número de piezas mediante construcción integral para reducir puntos de unión y posibles puntos de falla; c) el diseño de un apoyo o extensión unido al soporte del motor.

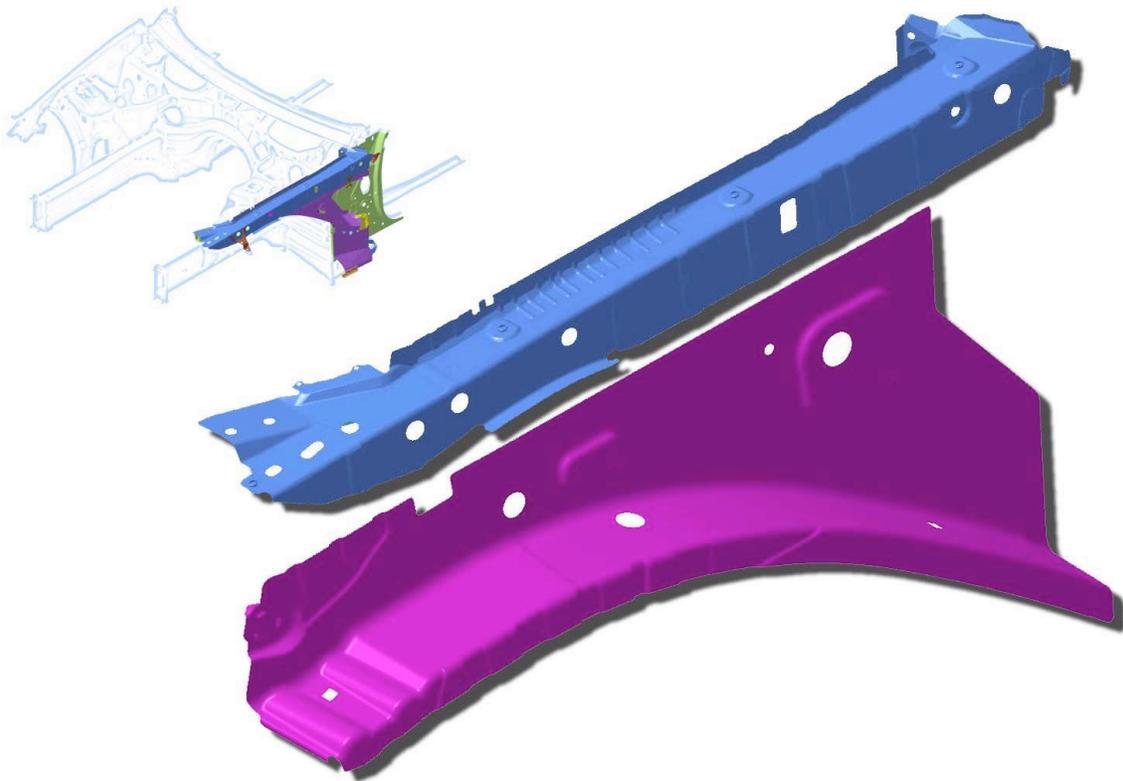


Figura 36. Arco de Soporte de la Rueda del Modelo E90 (con permiso de BMW)

Retomando los modelos CAD anteriores se evaluó la situación actual del módulo frontal. El chasis se encontraba en una etapa de desarrollo todavía muy temprana, lo cual implica que los modelos en CAD seguían siendo un sencillo borrador de geometría muy primitivo.

El diseño de un chasis borrador en módulos enteros para una nueva generación de una línea ya existente se realiza con base en las dimensiones del

modelo anterior, como el arco de soporte mostrado en la figura 36, el cual pertenece al modelo E90 (serie 3 actual). Dichas dimensiones se van modificando y ajustando en constante retroalimentación, principalmente con los departamentos de diseño y tracción, comprobando la esencia de la ingeniería simultánea. Este intercambio continuo permite una estimación burda del espacio de construcción disponible, la cual, siguiendo la filosofía de la ingeniería simultánea, permite el trabajo simultáneo en toda la carrocería con una vaga idea de las dimensiones permisibles en dicho marco. Como ya se sabe, el diseño es un proceso iterativo, el cual va evolucionando en el contexto de los deseos y requerimientos del producto.

Con esto en mente, las geometrías primitivas están diseñadas para los procesos de manufactura y unión convencionales y ya existentes; en el caso del arco de soporte, forja y punteado respectivamente. Para su diseño es necesario tomar en cuenta la dirección de remoción de la pieza estampada, al igual que el acceso del electrodo de la punteadora. En este momento se pudo ver que no toda pieza geoméricamente viable en CAD se puede producir con los procesos de manufactura existentes, lo que ocasiona un constante conflicto entre ingeniero y diseñador, aunque sea responsabilidad de ambos.

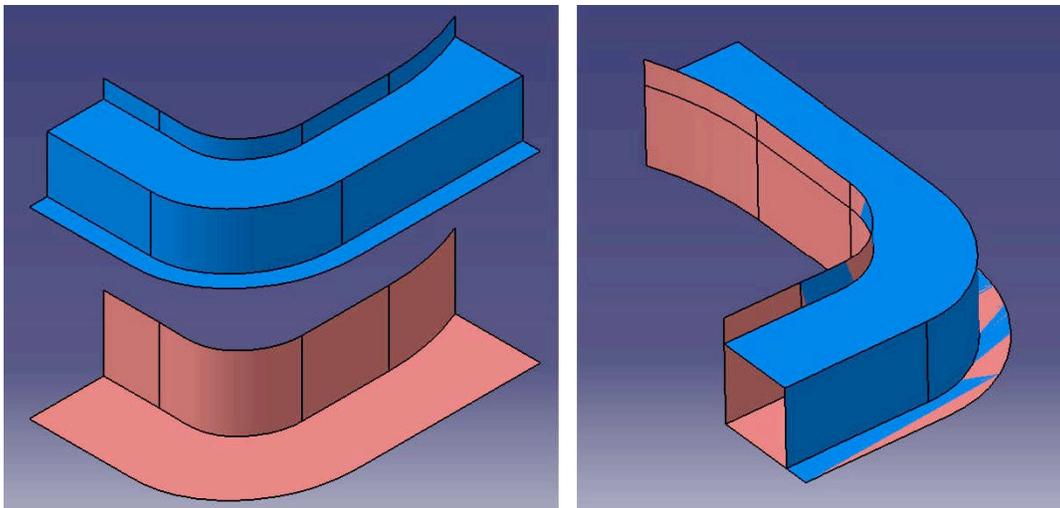


Figura 37. Representación simplificada de la parte frontal del arco de soporte de la rueda

Gracias a que el desarrollo de chasis se encontraba en una etapa muy temprana, el diseño del arco se vio delimitado principalmente por restricciones de espacio y costos de manufactura. Requerimientos mecánicos como esfuerzos y cargas de impacto están ligados a la selección de material y asignación de espesor de lámina, y por lo tanto corresponden a una etapa más avanzada.

Al analizar la propuesta existente de unión por punteado, figura 37, y equiparándola con las normas de BMW resultó un ancho de brida el cual invadía la superficie KEF (*Kopfeindringfläche*), la cual no es negociable, como lo dictaminan las normas Euro NCAP. Se conoce como superficie KEF a la superficie imaginaria definida por la deformación del cofre asociada al máximo impacto permisible con una cabeza humana, la cual se puede apreciar en la siguiente figura:

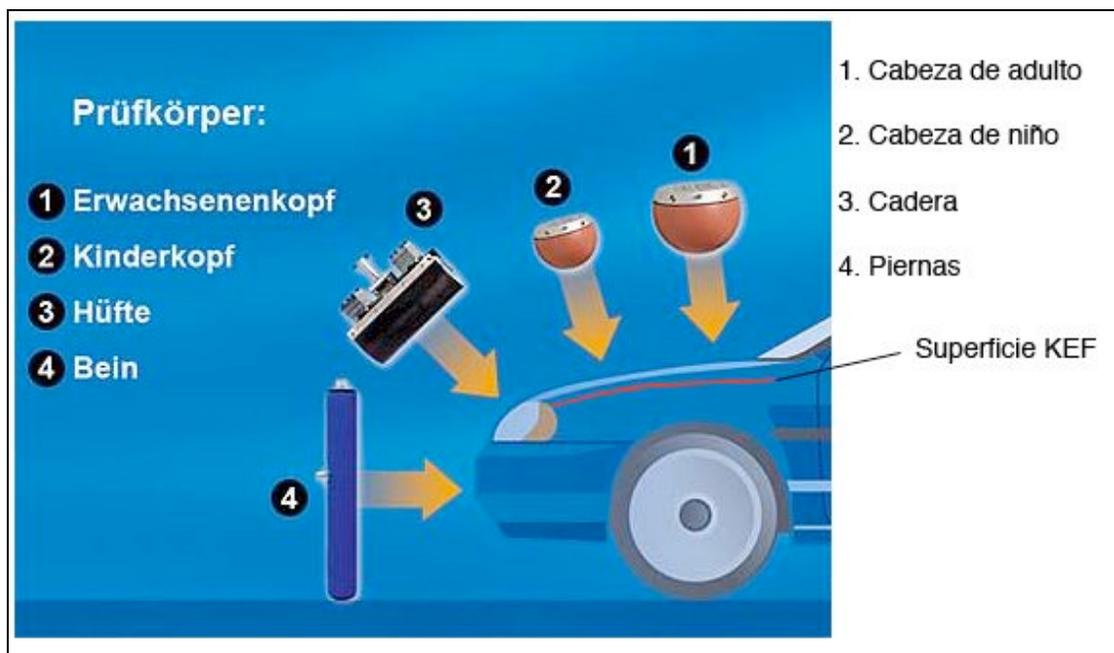


Figura 38 Definición de Superficie KEF [14]

El paso más sencillo fue buscar la manera de alterar la configuración de las bridas sin cambiar la geometría. Para esto se trabajaron tres alternativas:

-Brida de ángulo variable en las zonas problemáticas

Evidentemente la solución más pragmática a la invasión de la superficie KEF fue sencillamente alterar el ángulo de la brida a lo largo de su trayecto.

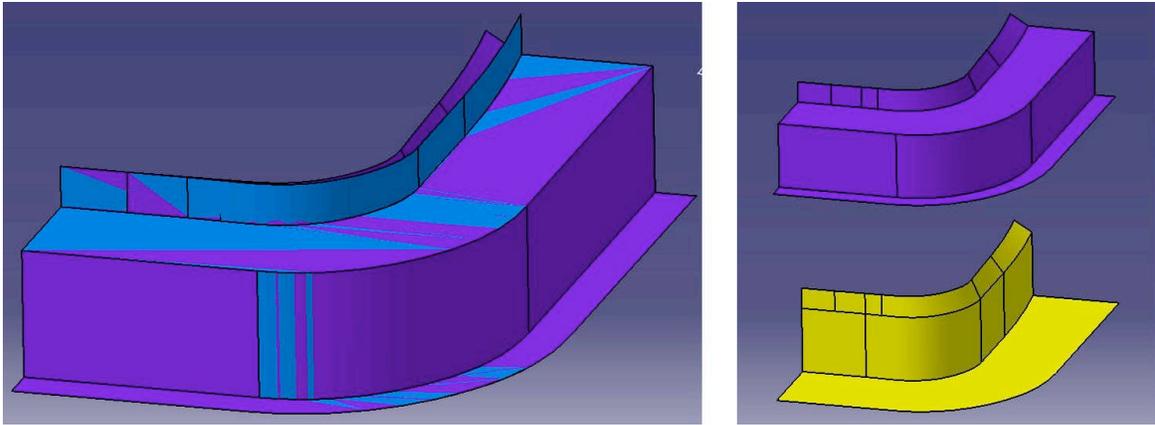


Figura 39. Representación simplificada de la brida de ángulo variable

-Brida de orientación invertida

La segunda alternativa que se desarrolló fue una inversión de brida hacia el interior de la pieza, la cual finalmente no vio continuidad debido al difícil acceso para la punteadora.

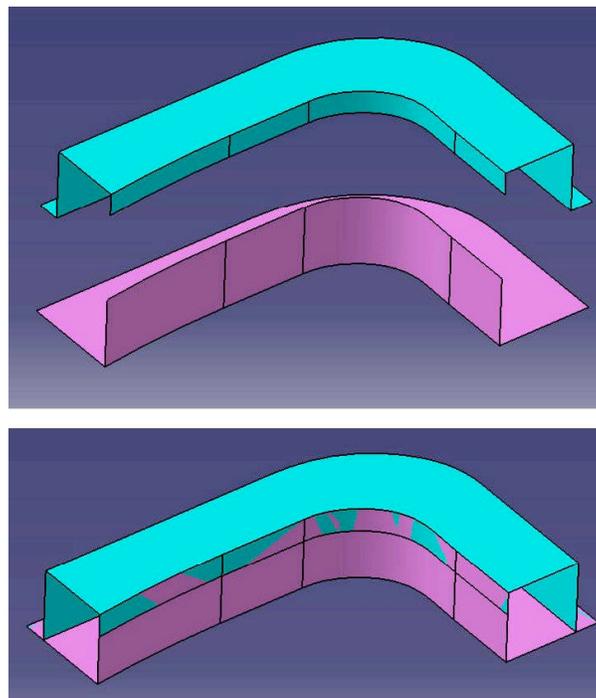


Figura 40. Representación simplificada de la brida invertida

-Unión de bridas usando el método de soldadura por rayo láser

Para buscar implementar la soldadura por rayo láser se tuvo que investigar el proceso arduamente y familiarizarse con él, con la finalidad de

poder asesorar las ventajas y desventajas que dicho proceso traería al diseño. La investigación permitió el desarrollo de una variante sin bridas, la cual no sólo generaba el claro necesario, sino que también eliminaba el peso agregado por los puntos de soldadura, temática de suma importancia en la industria automotriz moderna.

Para todas las variantes prosiguió un ajuste en el apoyo del arco de soporte, el cual tiene punto de unión al soporte del motor. Debido a la escasez de superficie para la brida entre estos dos cuerpos, se elaboró una propuesta de punteado de tres láminas, en la cual la brida de la pieza interna del apoyo del arco de soporte se reconfiguró hacia abajo. Una vez elaborado esto, se colocaron los puntos de soldadura según la norma oficial de la compañía. La pieza externa del apoyo del arco se adaptó al nuevo estampado en el soporte del motor y la pieza trasera externa del soporte de arco se vistió con un estampado para la minimización de la superficies de punteado para evitar corrosión por agua atrapada entre bridas.

El siguiente paso en la problemática del soporte del arco, fue la concepción de una pieza única de hidroformado, la cual requirió de una investigación resumida en el capítulo de *Hidroformado*. La razón para el diseño de esta pieza no fue sólo la eliminación de bridas y de puntos de soldadura, sino también el impulso de la filosofía de la construcción integral, la cual también se mencionó anteriormente.

La construcción de un modelo CAD el cual reemplazaría las componentes delanteras externas e internas del arco y su apoyo requirió de un ajuste en la conexión con trasera del arco. El siguiente paso fue la inclusión de un estampado como superficie de apoyo para la bomba de agua auxiliar, y la consulta con el departamento de cálculo para revisar la viabilidad de su manufactura. Esta pieza fue ampliamente aceptada por su diseño sencillo y efectivo y el hecho que su configuración no requería de la construcción de dados diferenciales para calentamiento selectivo, ni de una fuerza axial que alimentara

el material. El proceso de conformado constaría en primera instancia del doblado de un tubo, ajustándolo aproximadamente a la curva de barrido. Posteriormente, se llevaría acabo el hidroformado de manera uniforme dentro de un molde del perfil deseado, proporcionándole los últimos detalles a la pieza, dejándola lista para corte y perforación.

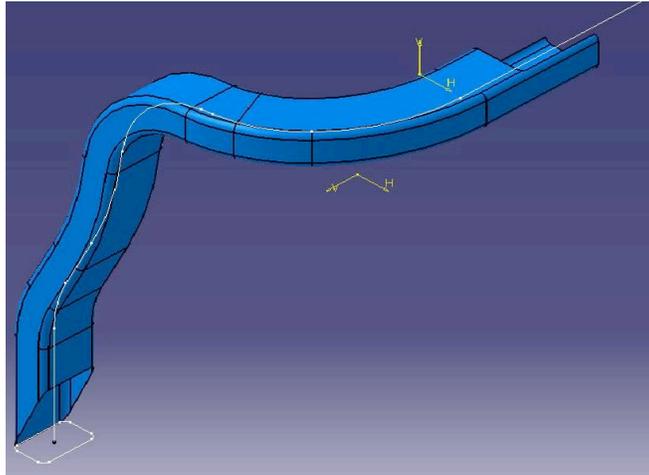


Figura 41. Representación simplificada de la pieza hidroformada

Una vez aprobado el diseño se tomó una decisión administrativa la cual aseguró un eventual alargado de las partes traseras arco de soporte. Este cambio en longitud requeriría de un recorte en la unión trasera correspondiente a la nueva geometría. Al concluir este ajuste se integraron las perforaciones en los extremos necesarias para la punteadora.

El modelo se envió al departamento de cálculo, en donde se analizó la viabilidad de su conformado por método de elementos finitos, cuyo resultado reveló una falla en el cálculo del radio mínimo de curvatura en dos tramos de la curva madre. Al incrementar estos radios surgieron errores de tangencialidad en el modelo de barrido, por lo que un cambio supuestamente trivial en CAD desencadenó una serie de ajustes y modificaciones en las curvas iniciales, ejemplificadas en la figura 42.

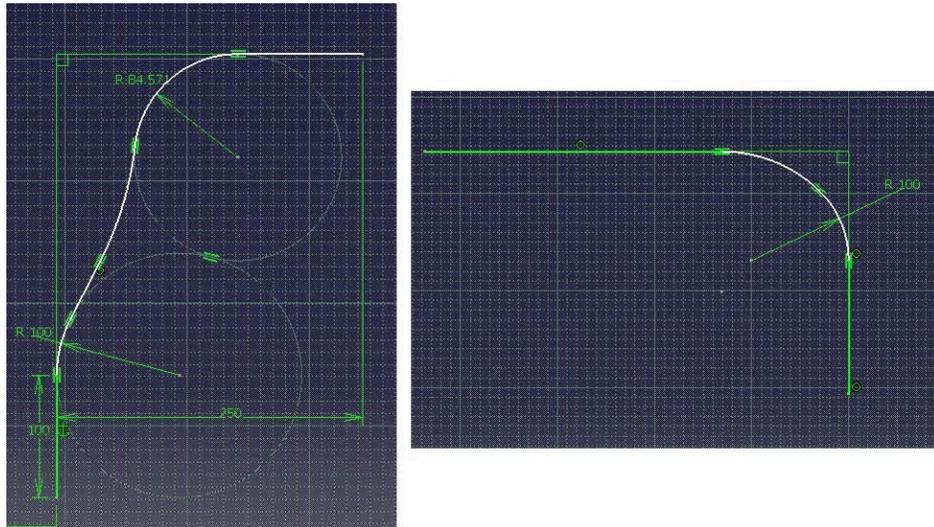


Figura 42. Vista frontal (*izquierda*) y superior (*derecha*) de la curva combinada para el barrido

Una vez alcanzada la geometría deseada se adaptó nuevamente el estampado superior, ubicado justamente en una de las curvas de radio problemático. Esto concluyó la construcción virtual de la propuesta de una alternativa hidroformada para el arco de soporte de la rueda. A comienzos de agosto de 2008, la pieza fue enviada nuevamente al departamento de cálculo para examinar la viabilidad del estampado.

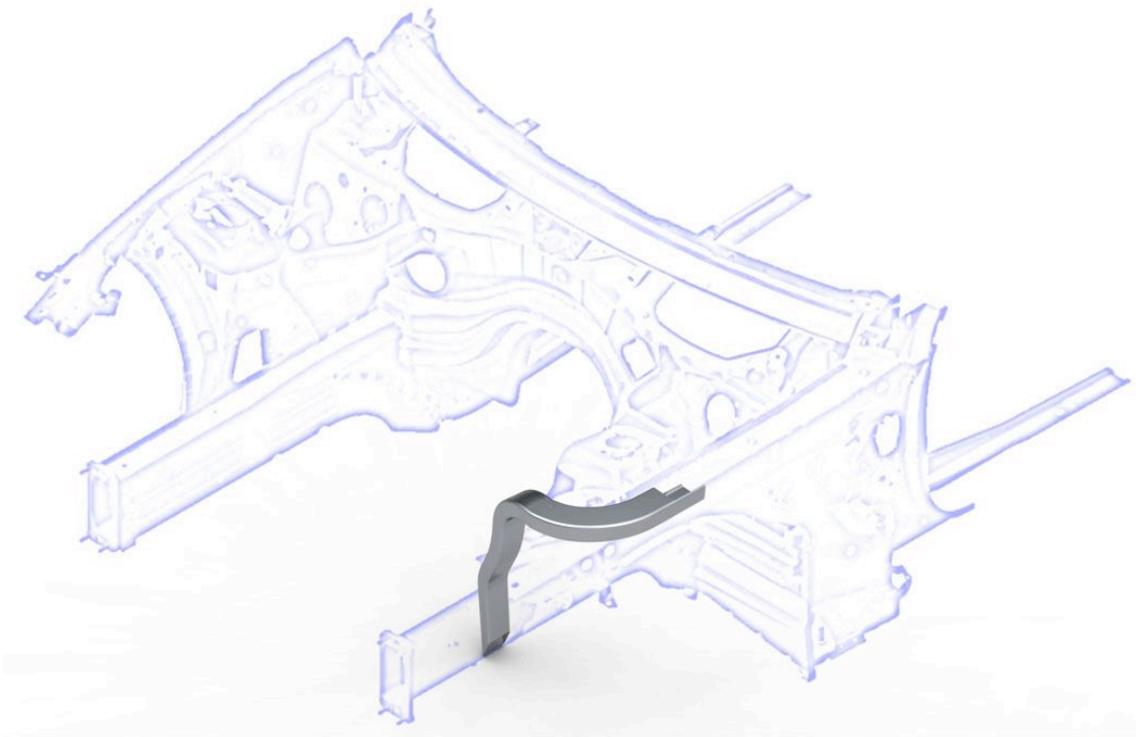
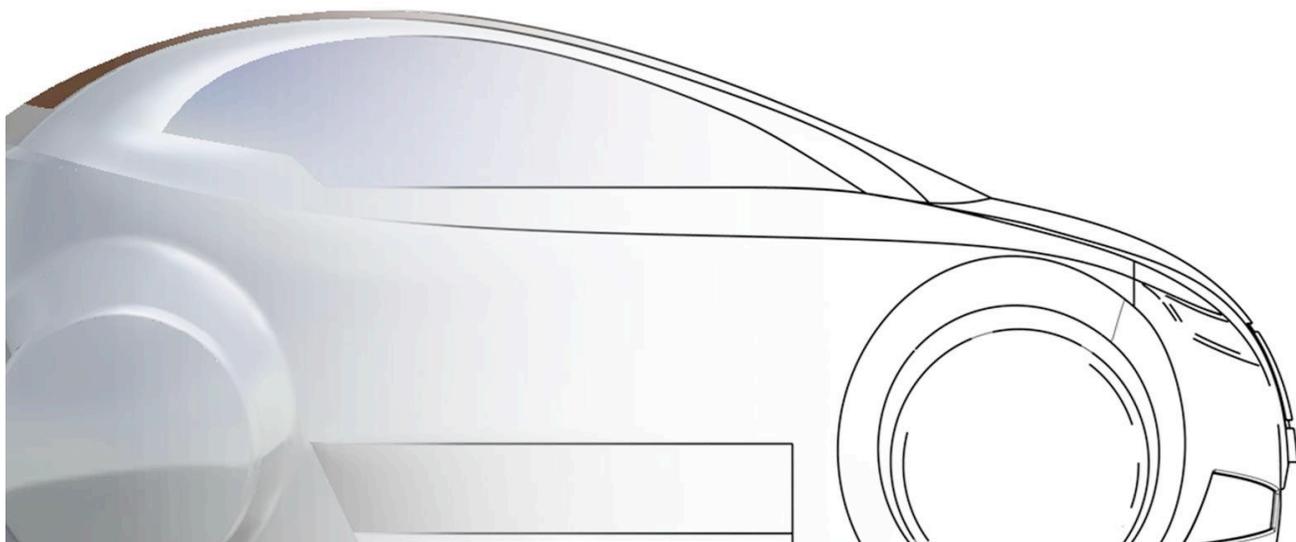


Figura 43. Posicionamiento del modelo final en el módulo frontal



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CONCLUSIONES



Conclusiones

A pesar de que las actividades realizadas en BMW no dejaron un resultado físico sobre el cual concluir, la mayor contribución fue indudablemente lo aprendido en el transcurso. Los conocimientos adquiridos van mucho más allá del simple manejo de un programa de diseño y la aplicación de la ingeniería a la construcción de piezas mecánicas; las cualidades necesarias para el puesto implicaron grandes pasos en técnicas de liderazgo y trabajo en equipo, al igual que manejo de conflicto, y sensibilidad intercultural. Un equipo ecléctico cuenta con todo el potencial para generar ideas ricas e innovadoras; no obstante, también corre el riesgo de fricción entre sus integrantes a causa de las mismas diferencias que lo enriquecen tanto. Estas experiencias me mostraron que el verdadero liderazgo en un equipo requiere de un carácter firme para tomar decisiones difíciles, pero también la sensibilidad para aprovechar el potencial de sus integrantes.

Al ser parte de un equipo de diseño donde tantas cosas ocurrían en paralelo, pude ver cómo es que funciona la ingeniería simultánea en la industria. Trabajar en conjunto con jefes directos aceleró bastante la toma de decisiones, y este factor, aunado a la accesibilidad de los demás empleados (inclusive de altos rangos), ayudó a brindar la sensación de una jerarquía efectivamente más plana y una mayor importancia del individuo.

Después de haber diseñado y modelado tantas piezas para el módulo frontal, cada una con requerimientos distintos, fue posible apreciar que el proceso de diseño no es nada sino toma de decisiones, y bien dentro de un contexto el cual dificulta algunas cosas e imposibilita otras. La meta del buen diseño de producto no es alcanzar la perfección, sino minimizar la imperfección y hacerla aceptable. Las experiencias vividas fueron enriquecedoras a nivel tanto profesional como personal, y de gran beneficio para el papel desempeñado en el proyecto de diseño *Audi GlobalDrive*.

El desarrollo del arco de soporte de la rueda fue una experiencia mucho más valioso por lo requerido en su diseño conceptual que por su complejidad en el modelado. La profundización en técnicas de manufactura y conformado permitió desarrollar un criterio de diseño más amplio, especialmente después de familiarizarse con todos los elementos (tanto físicos como normativos) que limitan dichos procesos. Las normas DIN e ISO son estándares que los constructores y diseñadores automotrices alemanes deben tener presentes a toda hora. Establecen un margen dentro del cual se deben desarrollar las soluciones creativas, y juegan indudablemente un papel decisivo en la renombrada calidad de la tecnología alemana. La unión por láser es un tema muy atractivo a profundizar, no solo por la libertad de forma que surge de la eliminación de bridas, sino también por la exigencia tecnológica detrás de ella. Enfoque en este proceso y sus posibles mejoras sería indudablemente una tarea ardua, digna de estudios de posgrado.

La familiarización con procesos industriales y técnicas constructivas como recubrimiento por electroforesis catódica (*cathodic-dip painting* o *CDP*) y minimización de bridas proporcionaron una inmersión única en el por qué de ciertas minuciosidades del esqueleto automotriz, especialmente al tener la posibilidad de verlo todo en las fábricas de Munich y Dingolfing. La ubicación de refuerzos, costillas y formas estampadas en las diferentes componentes del módulo frontal no solo aclararon la importancia de la forma de una pieza para los procesos de manufactura y ensamble; también facilitaron la comprensión de la transmisión de fuerzas en situaciones normales y de choque. En retrospectiva de las experiencias tenidas y los conocimientos adquiridos existe ahora un destacado interés a futuro por el diseño enfocado más a la seguridad pasiva y activa que a la estética. Una compañía que realmente resguarde los intereses del usuario en primer plano sabrá valorar la vida por encima del caché emocional de la imagen de una marca.

Las experiencias vividas durante mi estancia con BMW despertaron un interés en el mundo automotriz, cuya magnitud se pudo apreciar en el proyecto

GlobalDrive. Se remarcó que el diseño de un automóvil no es solo un reto para la ingeniería, sino también para el diseño industrial, la mercadotecnia, la administración, y, sin lugar a duda, para el trabajo en conjunto entre estas disciplinas. ¿Qué es lo que define un buen automóvil? No existe respuesta sencilla a esta pregunta. El diseño y concepción de un vehículo responde a los requerimientos que se le establecen; requerimientos, los cuales frecuentemente entran en conflicto los unos con los otros. El desarrollo de un automóvil es una tarea multidisciplinaria inmensamente compleja, y como tal requiere de alguien quien asuma la responsabilidad de integrar las diversas facetas del producto y armonice el paquete completo como un todo. Se necesita una visión global del producto, la cual a veces implica menor profundidad e involucramiento en cada uno de los rubros sin dejar de ser imprescindible en todos ellos.

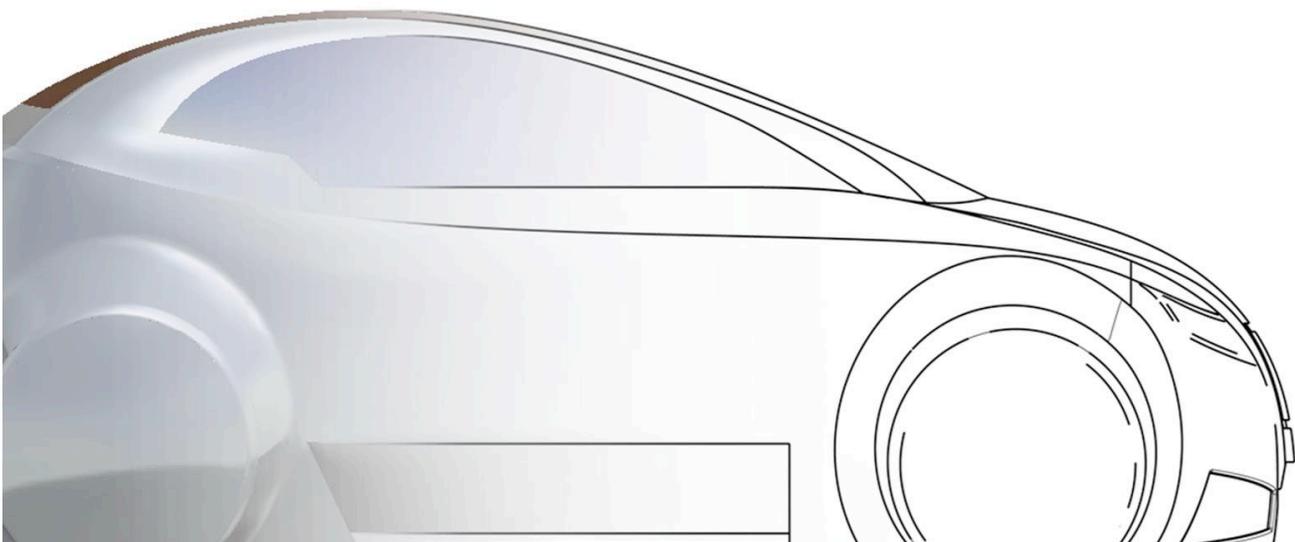
El papel que desempeñé en el proyecto GlobalDrive no sólo me dio la oportunidad de aplicar mis conocimientos técnicos y explotar mi creatividad en busca de la innovación; también me abrió los ojos a la importancia del factor humano en cualquier equipo de trabajo, y al liderazgo imprescindible al éxito de cualquier emprendimiento. Me permitió apreciar las ventajas de la ingeniería simultánea y del aplanamiento de jerarquía a pequeña escala, entendiendo así al liderazgo, no como un puesto asignado a un solo individuo, sino como una serie de acciones de varios, impulsadas por una mente crítica y un carácter determinado en salir adelante.

Estas experiencias me abrieron las puertas para una maestría en la Universidad Técnica de Munich enfocada en los factores humanos detrás del diseño, y ya despertaron interés en ciertos temas, posiblemente para doctorado. Con esto espero entender plenamente el entorno en el cual se desarrolla cada producto y poder emprender el diseñar como una extensión de la imaginación en sintonía con su propósito.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

REFERENCIAS



Referencias

Figuras y Tablas

- [1] http://aliasdesign.autodesk.com/files/21801_21900/21807/file_21807.jpg
- [2] <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/article385124.ece>
<http://www.growtall.asia/grow-tall/average-heights-by-country-fyi/>
- [3] Centers for Disease Control and Prevention
- [4] The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design; *Tilley & Dreyfuss*
- [5] RAMSIS – The Leading CAD Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles; *Peter van der Meulsen & Andreas Seidl*
- [6] Apuntes de la clase *KFZ I*, Prof. Wiedemann, Universität Stuttgart
- [7] Apuntes de la clase *Karosserietechnik*, Prof. Brühnke, Universität Stuttgart
- [8] *Braess/Seifert*: “Handbuch Kraftfahrzeugtechnik” (2. Auflage), Vieweg Verlag, 2001 ISBN 3-528-13114-4
- [9] Auto Jahresbericht 2008, Verband der Automobilindustrie (VDA), Frankfurt, ISSN 0171-4317
- [10] Cortesía de L&L Products; <http://www.llproducts.com>
- [11] <http://www.americanhydroformers.com/hydroforming/images/hydroforming-process.jpg>
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroforming>
- [12] <http://www.hydroforming.net/hydro/home/de/fachberichte/033b66988a10ad306.html>
- [13] Resultados de pruebas proporcionados por www.hydroforming.net
- [14] <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,387182,00.html>

Bibliografía y sitios de Internet consultados

Apuntes de la clase *Kraftfahrzeuge I*

Prof. Wiedemann

Octubre 2007

Universität Stuttgart

Apuntes de la clase *Karosserietechnik*

Prof. Brühnke

Octubre 2007

Universität Stuttgart

Apuntes de la clase *Fahrzeugkonzepte I*

Prof. Horch

Octubre 2007

Universität Stuttgart

Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

Braess & Seifert

Editorial Vieweg

2º Ed. 2001

ISBN 3-528-13114-4

Introducción al Proyecto de Producción – Ingeniería concurrente para del diseño de producto

Capuzo Rizo, Salvador

Editorial Alfaomega

2001

ISBN 970-15-0664-2

<http://www.bmw.de>

<http://www.visiocorp.com>

<http://www.llproducts.com>

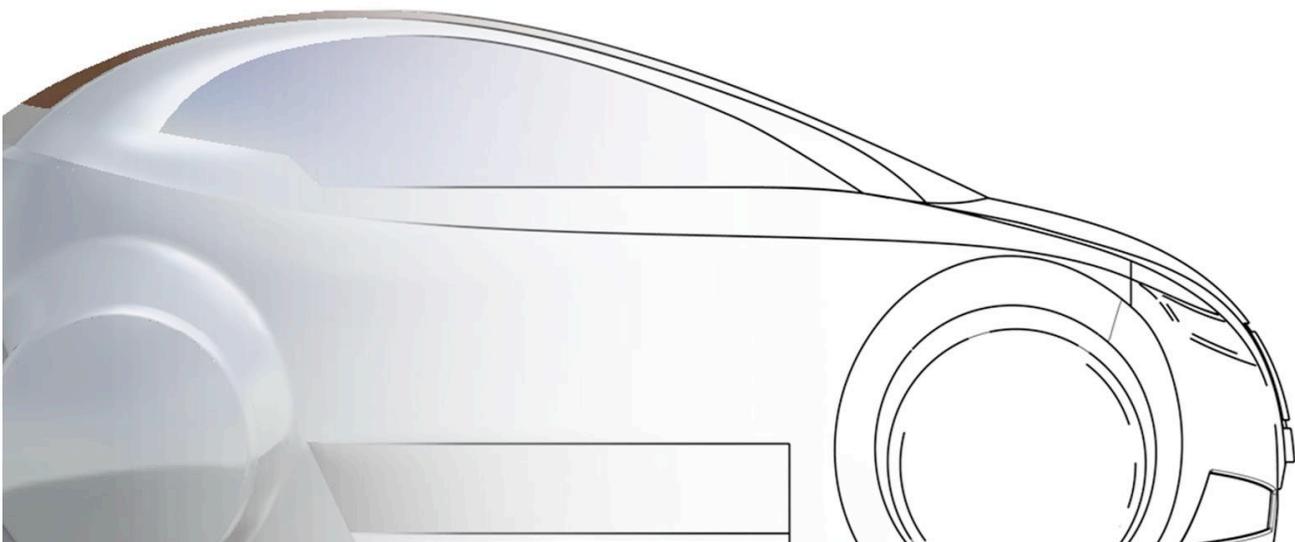
<http://www.npd-solutions.com/pdm.html>

www.cours.polymtl.ca/mec6902/lecture5.pdf



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ANEXO



Internship Assessment

Intern Andrew Ayala
Assessed by Wolfgang Brunner
Department EK-310
Telephone 089 382 40368
Fax 089 382 47139
E-mail Wolfgang.Brunner@bmw.de
Date 01.08.2008

Mr. Andrew Ayala, born on the 27th of February 1985, completed an internship at our firm from the 3rd March to the 14th August 2008, contributing at least 35 hours weekly. During his internship, Mr. Andrew Ayala was employed in the department of "Front End Design" at the Munich location.

Description of tasks and activities:

"Constructive Aid in the Field of Front End and Firewall"

Main Tasks and Projects

- Construction and harmonization of alternative concepts in the periphery of the shock tower for the next generation Series 1 and Series 3 regarding all restrictions and boundary conditions. Considerable aspects alongside the construction in CATIA V5 were the harmonization with function/forming simulation and package area, as well as cost compilation.
- Construction and harmonization of an alternative internal high pressure forming solution for the support wheel arch.
- Creation and maintenance of explosion diagrams for the SE-Teams.
- Structuring and documentation of a module quantity structure for the next generation Series 1 and Series 3.

Activities carried out in day-to-day business

- Independent constructive adjustment and adaptation of existing concepts in CATIA V5 bearing in mind the automobile concept (package) and manufacturability.
- Documentation of commonality topics belonging to the scope of the car body structure undercarriage / body platform for the next generation Series 1 and Series 3 in CATIA V5 and Excel.

Company
Bayerische
Motoren Werke
Aktiengesellschaft

Postal address
BMW AG
80788 München

Office address
Petuelring 130

Office address
Forschungs- und
Innovationszentrum (FIZ)
Knorrstraße 147

Telephone
Switchboard
+49 89 382-0

Fax
+49 89 382-25858

Internet
www.bmwgroup.com

Bank details
BMW Bank GmbH
Account No.
5100 940 940
Bank Code
702 203 00

IBAN DE02 7022 0300
5100 9409 40

SWIFT(BIC)
BMWDEM1

Chairman of
Supervisory Board
Joachim Milberg

Board of Management
Norbert Reithofer
Chairman of the Board
Frank-Peter Arndt
Ernst Baumann
Herbert Diess
Klaus Draeger
Friedrich Eichner
Michael Ganal
Ian Robertson

Registered in Germany
München HRB 42243



Subject Internship Assessment
Intern Andrew Ayala
Date 01.08.2008
Page 2

Applied Skills:

- CAD CATIA V5 along with CAD data management systems (Prisma, VPM, ...).
- Windows Tools: Word, Excel, PowerPoint.
- Creation of 3D-XML files.

The certificate was reviewed with the intern.

05.08.08 
Date, trainee's signature

We wish Mr. Ayala all the best for his professional future.

Yours sincerely,
Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft

i. a.



Thomas Augustin
Leader Front End Design / EK-310

i. o.



Wolfgang Brunner
Front End Design / EK-310



Subject Internship Assessment
 Intern Andrew Ayala
 Date 01.08.2008
 Page 3

Criteria-oriented assessment

| | A Exceeds the expectations remarkably and at all times | B Exceeds the expectations remarkably | C Exceeds the expectations sometimes | D Performance mostly corresponds to expectations | E Performance partly corresponds to expectations/ recommended area of improvement | F Hardly recognisable/ recommended area of improvement |
|---|--|---|--|--|--|---|
| Analytical thinking | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Personal work plan | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Customer and quality orientation | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Use of knowledge | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Being proactive | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Communication skills | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Confident appearance | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ability to work in a team | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Note: The order of criteria represents no prioritisation!



