



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

**INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DE BASES DE DATOS, OPTIMIZACIÓN  
ESTRUCTURAL Y LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LOGRAR UN  
ÓPTIMO DISEÑO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

**ARMANDO SÁNCHEZ GUZMÁN**

TUTOR  
M I. ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. AGOSTO 2014



**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. López Parra Marcelo  
Secretario: Dr. Borja Ramírez Vicente  
Vocal: M.I. Zepeda Sánchez Antonio  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián  
2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Cervantes Cabello José Javier

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, D.F. México

**TUTOR DE TESIS:**

M.I. Antonio Zepeda Sánchez

  
-----  
**FIRMA**

**NOTA:**

EL TÍTULO DICE:

**INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DE BASE DE DATOS, OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LOGRAR UN ÓPTIMO DISEÑO.**

DEBE DE DECIR:

**INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DEL MANEJO DE INFORMACIÓN, OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LOGRAR UN ÓPTIMO DISEÑO.**

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México que, a través de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, me dio la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ingeniería.

A los miembros del Sínoo. Dr. Marcelo López Parra, Dr. Vicente Borja Ramírez, Dr. Adrián Espinosa Bautista, Dr. José Javier Cervantes Cabello, M.I. Antonio Zepeda Sánchez, por revisar este trabajo de tesis y regalarme sus valiosos consejos para mejorarla.

Al M.I. Antonio Zepeda Sánchez por dirigirme la tesis de maestría y brindarme su apoyo académico.



## **DEDICATORIAS**

***A MIS QUERIDOS PADRES AURORA Y ARMANDO:***

***PORQUE GRACIAS A SU AMOR, ESFUERZO Y SACRIFICIO  
HE ALCANZADO ESTE GRAN LOGRO,***

***PARA USTEDES QUE SIEMPRE SOÑARON EN***

***ALGO COMO ESTO, CON MUCHA GRATITUD ADMIRACIÓN***

***Y CARIÑO.***

A MIS HERMANOS **DANIEL, ALEJENDRA Y  
CARMEN:**

PORQUE HAN SIDO USTEDES UN SOPORTE MUY  
VALIOSO, PARA LOGRAR MIS METAS, CON  
CARIÑO PARA USTEDES.

FINALMENTE A MI GRAN AMIGO

**VÍCTOR HUGO LICONA CRUZ**

POR BRINDARME SU AMISTAD Y APOYO  
PARA LOGRAR MIS METAS , CON MUCHO  
CARIÑO PARA USTED.





# ÍNDICE

**INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DE BASES DE DATOS, OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LOGRAR UN ÓPTIMO DISEÑO.**

**INTRODUCCIÓN**

**ALCANCES Y OBJETIVOS**

**ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO**

**RESUMEN**

## **CAPÍTULO 1**

1.1 Definiendo un óptimo estructural

1.2. El proceso del diseño y sus etapas

1.3. Análisis de Elementos Finito (FEA)

1.3.1 Modelo geométrico

1.3.2. Método de análisis de elementos finitos

1.4. Optimización Estructural

1.4.1. Tipos de modelos dentro de la optimización estructural

1.4.2. ¿Por qué escoger la Topología de Optimización Estructural?

- 1.5. Optimización Estructural Evolutiva (ESO)
  - 1.5.1. Formulación del problema de topología de optimización usando diseño de topologías “Hard Kill” o el método ESO, en la totalidad del concepto de diseño de esfuerzos
- 1.6. Definiendo Bases de Datos
  - 1.6.1. Arquitectura de una Red de bases de datos
  - 1.6.2. Estáticas y Dinámicas
- 1.7. Sistemas de Manufactura Flexible
  - 1.7.1. Definiendo un Sistema de Manufactura Flexible
  - 1.7.2. Componentes de un SMF
  - 1.7.3. Justificación de su utilización

## **CAPÍTULO 2**

- 2.1. Descripción de la propuesta para la integración e interacción de las bases de datos, la optimización estructural, y los sistemas de manufactura flexible, para formular una producción optima digital
  - 2.1.1 Técnicas y métodos para el desarrollo de nuevos productos en ingeniería
    - 2.1.1.1. Diseño de producto automatizado mediante la integración de CAD y los procesos de optimización estructural
  - 2.1.2. Del modelo 3D al prototipado
  - 2.1.3 Optimización potencial en metrología de la fabricación
  - 2.1.4. Sistemas abiertos en la fabricación
  - 2.1.5. Gestión de datos de producto asistido por ordenador
  - 2.1.6. Un modelo para el diseño de sistemas integrado por computadora: Identificación de necesidades de información de los tomadores de decisión

- 2.1.7 La influencia de la tecnología de la información en el Desarrollo de Nuevos Productos, ( por sus siglas en ingles, NPD)
- 2.1.8. Fabricación y sistemas de planificación de recursos
- 2.1.9. Cultura de la organización e implementación de Tecnologías de Manufactura Avanzada ( por sus siglas en ingles, AMT)
- 2.1.10. Software PLM
- 2.1.11. Manufactura de conjunto
- 2.1.12. Manufactura Adictiva
- 2.1.13. Identificación de la necesidad
- 2.1.14. Proponiendo una posible solución a la identificación de la necesidad

## **CAPÍTULO 3**

3.1. Aplicación del diagrama de Integración e interacción de Bases de Datos, Optimización Estructural y de los Sistemas de Manufactura Flexible en el Proceso de Diseño, para lograr un óptimo diseño

3.1.1. Descripción del primer análisis de estudio

3.1.2 Desarrollo del análisis

Objetivos particulares

Secuencia de pasos para la solución de un problema de optimización geométrica.

Análisis de piezas a través de FEA.

Primer caso: Análisis del poste de la suspensión delantera

Desarrollo del problema

Proceso de Optimización con ESO

Reanálisis con FEA

Conclusión de la Evolución de Resultados

Análisis de costos de la pieza

Análisis de la manufactura

Resultados

3.2 Segundo análisis de estudio

## **CAPÍTULO 4**

4.1 Análisis de resultados

4.2 Conclusiones

### **Referencias**

*Anexo A*

*Anexo B*

# INTRODUCCIÓN



## **INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DE MANEJO DE INFORMACIÓN, OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA LOGRAR UN ÓPTIMO DISEÑO.**

### **Introducción**

Con la expansión de los mercados de ingeniería global de hoy, la ventaja competitiva es percibida por las empresas que pueden producir productos de alta calidad, variedad y rápido desarrollo de nuevos productos, al mismo tiempo, mantener producto de alto rendimiento y costos competitivos. Las presiones para lograr estas metas han dado lugar a una serie de alteraciones en la forma en que se organizan las empresas y en particular en sus actividades ingenieriles.

Una gran influencia en el diseño y desarrollo de nuevos productos, así como en la ejecución eficiente de la empresa es el de la información, y en particular su acceso, distribución, y uso posterior por el equipo de diseño, como lo refieren (Court, Culley and McMahon, (1997) [1]).

En el contexto del proceso general de ingeniería de diseño y desarrollo de herramientas informáticas se han utilizado con éxito para ayudar y apoyar a los equipos de diseño durante muchos años. Las primeras aplicaciones que están ahora bien establecidos, incluyen representación gráfica intensiva y análisis de numéricos, por ejemplo:

- Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés, CAD).
- Modelado de Sólidos.
- Análisis de Elementos Finitos (por sus siglas en inglés, FEA).
- Optimización Estructural.
- Simulación Dinámica de Modelos.
- Herramientas de Apoyo Analítico.
- Bases de Datos (BD).
- Hojas de Cálculo.

Sin embargo, el uso de estas herramientas es limitada a las últimas etapas de detalle del Nuevo Producto Desarrollado (por sus siglas en español, NPD) cuando la solución ya está bien definida (cuando se han establecido los elementos principales de la geometría) y el equipo de diseño verifica la adecuación del diseño del producto. Más recientemente conocimientos y herramientas informáticas han sido desarrollados para permitir a los equipos de diseño evaluar mucho antes y con mayor precisión los diseños antes de obtener el producto final. Estas herramientas tienen como objetivo reducir la cantidad de tiempo y esfuerzo que es gastado en especificar configuraciones de geometría y diseño con precisión; por ejemplo:

- Selección de componentes.
- Selección de materiales.
- Diseño de subensambles.
- Diseño de ensambles.

El rápido progreso de las herramientas anteriores y en general, ha sido enfocado en proporcionar métodos para promover la práctica de Ingeniería Concurrente (por sus siglas en inglés, CE). Se ha convertido también en el empuje detrás de la mejora de suministro, flujo de información y datos de transferencia entre los equipos de diseño y partes externas; así como para ayudar a los equipos de diseño en la ejecución eficiente de su trabajo. Por ejemplo:

- Diseño Asistido por Computadora / Manufactura Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés CAD/CAM);
- Manufactura Integrada por Manufactura (por sus siglas en inglés, CIM);
- Planeación de Requerimientos de Material (por sus siglas en inglés, MRP);
- Sistemas de Gestión de Base de Datos de Ingeniería (por sus siglas en inglés, EDBMS);
- Manejo de información (por sus siglas en inglés, IM).
- Intercambio Electrónico de Datos (por sus siglas en inglés, EDI).

El objetivo principal de esta tecnología ha sido para mejorar el uso, el flujo y la calidad de la información, así como para ayudar al equipo de diseño en la ejecución eficiente de su trabajo. Administración de la información por estos métodos y guardarlo en formato informático deben aliviar la necesidad de recrear la información para otros departamentos que la utilizarán. Los prometidos beneficios de estos sistemas incluyen:

- Reducción de tiempos de entrega, cambiando de una serie a un entorno de ingeniería concurrente.
- Conseguir diseños bien desarrollados reutilizando por primera vez los datos pertinentes de manera oportuna.
- Reducción de los costos totales durante las fases de diseño y desarrollo.
- Mejor reutilización de los datos y en consecuencia menos errores en el diseño.
- Mejorar la comunicación entre departamentos.
- Un uso más eficaz del diseño de los equipos en que puede localizar, recuperar, distribuir y reutilizar datos de manera rápida y eficiente.

Es lo que hoy en día, el mercado mundial busca para que la producción sea más eficiente, de mayor calidad y oportuna, a un costo accesible.

### **Alcance y Objetivos**

En párrafos anteriores se explicó la importancia de una ingeniería concurrente que involucra la importancia de la integración e interacción de diferentes áreas para obtener un

nuevo diseño o producto. Pero debido a que la aplicación de esta ingeniería concurrente es sumamente costosa y requiere de un excelente grupo de trabajo para aplicarla, hoy en día se busca que el ingeniero salga lo mejor preparado para enfrentar situación de integración e interacción de dos o más áreas de acción para el desarrollo de nuevos productos. Por lo que, por ejemplo, para aplicar una oportuna integración e interacción entre el manejo de la información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible, hay que considerar ciertos elementos que son de suma importancia para realizarla. Enseguida se mencionan algunas de ellas:

- Experiencia del diseñador.
- Conocimiento para la aplicación de requerimientos y restricciones de diseño.
- Conocimientos del tipo de análisis implicados en el producto.
- Generación de información y su manejo.
- Nociones de los procesos de manufactura y su factibilidad para realizarlos.
- Conocimiento de los sistemas de manufactura flexible.
- Obtención de costo beneficio.

Estos elementos no son del todo dominados por el diseñador principiante, es por ello, que tanto las bases de datos, las herramientas de optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible, no se han integrado del todo como uno esperaría al proceso del diseño. El autor de este trabajo de tesis cree que, hoy en día, dentro de un proyecto de investigación, compañías desarrolladoras de software, la rama manufacturera, institutos de investigación y académicos, deban de trabajar en una temprana etapa de la enseñanza superior, sobre la integración e interacción de bases de datos, optimización estructural y la manufactura flexible como una nueva alternativa de desarrollar productos óptimos que puedan ser representados en el costo beneficio. De tal forma que las demandas de los mercados sean satisfechas.

Desde el punto de vista de la aplicación del proceso de diseño, es necesario seguir transmitiendo la importancia de la integración de las metodologías para el exitoso producto ingenieril, donde se involucra la ingeniería concurrente, o el diseño total planteado por



(Stuart Pugh, (1990) [2]). Dentro de la evolución del diseño, siempre habrá técnicas y métodos que surgirán para mejorar el avance tecnológico. Por lo que, aún hay oportunidades de desarrollo en estas áreas, sobre todo a lo que se refiere a la integración e iteración de bases de datos, optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible para lograr un óptimo producto digital (aportación de estudio de este trabajo).

El uso de métodos de optimización numéricos como el de la "Optimización Estructural Evolutiva" puede ser muy útil para obtener "sistemático y apropiado" las variantes de la solución, (Steven (1993) [3]), pero aunado al manejo de información relacionada con las bases de datos del producto y la integración de los sistemas de manufactura flexible al producto final que se espera, se pueden obtener grandes beneficios.

Para tal fin, se propone ilustrar el proceso seguido a través de una integración e interacción del manejo de información, optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible dentro del proceso de diseño con la finalidad de lograr un óptimo diseño digital de la masa frontal de la suspensión de un vehículo prototipo de pista y de un vehículo todo terreno.

## **Organización del trabajo**

El presente trabajo se divide en cuatro capítulos como sigue:

Capítulo 1. Se definen conceptos como: un óptimo estructural, el Proceso de Diseño y sus etapas, se describen aspectos generales de que es un Análisis de Elementos Finitos, la Optimización Estructural, la Optimización Estructural Evolutiva (ESO), que son las Bases de Datos (BD) y los Sistemas de Manufactura Flexible (SMF), así como sus aplicaciones.

Capítulo 2. Dentro de éste capítulo se describen algunas técnicas de ingeniería concurrente que han dado pie al desarrollo tecnológico, así como su importancia. También se describe el diagrama de integración e interacción del manejo de información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible, para formular un óptimo diseño digital.

Capítulo 3. Se describe con dos ejemplos la aplicación del diagrama de integración e interacción del manejo de información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible para lograr un óptimo diseño de la masa frontal de la suspensión de un vehículo prototipo de pista y de un vehículo todo terreno.

Capítulo 4. Análisis de resultados y conclusiones del trabajo a las cuales se ha llegado, dando una serie de recomendaciones y sugerencias para futuras propuestas.

Por último, se presenta la bibliografía, referencias empleadas, así como los anexos.

## **Resumen**

En este trabajo de tesis se reporta el proceso que se siguió para llegar a un óptimo diseño digital de un poste masa de la suspensión delantera para un vehículo prototipo de pista, a través de la integración e interacción del manejo de información, el análisis estructural y la manufactura flexible. Esto fue posible gracias a la ayuda del diagrama de integración e interacción propuesto dentro del trabajo de tesis y que sirvió como guía dentro del proceso de diseño.

Con la ayuda de las , herramientas computacionales, como el software Promodel, software de optimización estructural ESO, y un CAD como Solid Edge, entre otros, permitieron establecer una excelente mancuerna entre los sistemas de manufactura flexible, los análisis de optimización estructural y la administración de la información para obtener un óptimo diseño, tanto en la geometría del modelo 3D, ya que al aplicar la optimización estructural, esta permitió lograr obtener una mejor geometría al eliminar material excedente que se encontraba por debajo del esfuerzo de cedencia del material, con lo que se logró a su vez reducir el peso y obtener una pieza más ligera sin afectar la distribución de esfuerzos. También, se logro la optimización simulada de los tiempos y movimientos dentro de la producción de la pieza a manufacturar, esto gracias a la simulación de los diferentes escenarios propuestos para la fabricación de la pieza, y aunado a la administración de información e iteración de la misma, se logró obtener información valiosa para futuros rediseños.

Todo ello auxiliados siempre del diagrama de integración e interacción que guió el proceso del diseño.

La importancia que tiene este trabajo de tesis es, establecer una guía que permita a alumno conjuntar diferentes campos de la ingeniería para integrarlos e interactuar entre sí para obtener un producto óptimo. Esta forma de trabajar requiere un gran grupo de ingeniería concurrente y elevados presupuestos para producir cualquier parte de un vehículo o un teléfono celular por ejemplo. En busca de iniciar al futuro ingeniero en el campo de la Manufactura en conjunto y la administración del ciclo de vida del producto, se presenta este trabajo de integración e interacción como guía dentro del proceso de diseño, que le permita al futuro ingeniero tomar mejores decisiones a la hora de optimizar componentes mecánicos, así como instrumentar un sistema de manufactura flexible adecuado para realizar su producción, y aunado al manejo de información generar en un futuro las bases de datos de los diferentes producto, todo ello con la finalidad de lograr la reducción de tiempo, material, costos, y mejorar la calidad del producto final.



## 1.1. Definiendo un óptimo estructural

Este es ocasionalmente citado por la gente que trabaja en el aprovechamiento de estructuras, como optimizaciones estructurales innatas, resistentes y hermosas. Un carro fórmula Uno (figura 1.1) puede ser considerado hermoso porque es un verdadero carro de competencia, como si fuera una pieza de arte para un camino de asfalto.



Figura 1.1. Vehículo de Fórmula Uno. . Referencia de imagen: Automotive engineering international, july 2007.

El propósito de aplicar los conceptos de diseño óptimo a la ingeniería estructural es, obtener una solución a un problema de ingeniería que cumpla con todas las limitaciones y restricciones impuestas, y que a la vez resuelva ser la mejor en cuanto a uno o varios criterios de diseño previamente establecidos. El logro de estos objetivos ha sido posible gracias al desarrollo de métodos numéricos, tales como el método de Análisis de Elemento Finito (FEA), al uso de nuevas y poderosas técnicas de optimización, el desarrollo de computadoras cada vez más potentes y veloces, y finalmente no hay que olvidar la

importancia que tienen los sistemas de manufactura flexible, herramienta para producirlo rápidamente, eficiente y de mejor calidad.

Para lograr un óptimo estructural o producto, se requiere de una metodología o proceso para desarrollarlo, eh aquí el proceso de diseño.

## 1.2 El Proceso de Diseño en la Ingeniería

ABET (Consejo de acreditación de la ingeniería y tecnología, por sus siglas en inglés) define diseño de ingeniería como " el proceso de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer necesidades deseadas " Baltimore, MD, (2001) [1]. ABET hace hincapié en que el diseño es un proceso iterativo de toma de decisiones, en que ciencias naturales, matemáticas, Ciencias aplicadas (ingeniería) se aplican para satisfacer un objetivo declarado de manera óptima. El esquema de este proceso es el que se muestra en la Figura 1.2.

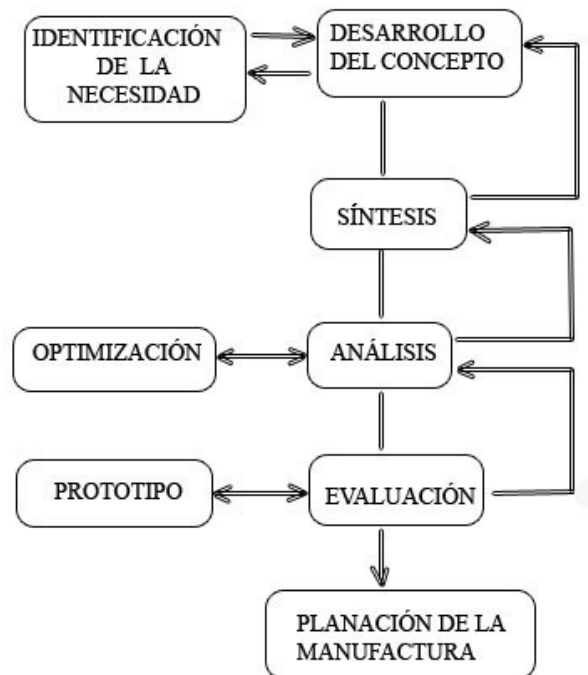


Figura 1.2. Esquema del proceso de diseño en la ingeniería. Referencia de imagen, (ABET Baltimore, MD, (2001).

El Diseño de ingeniería se inicia con una necesidad comunicada directamente por el cliente o con una idea innovadora desarrollada por un equipo de investigación que llevaría a una mejora incremental en el estado de la técnica, o a un producto totalmente nuevo. Naturalmente, se puede decir que ha habido sólo algunos inventos en el siglo XX y que la mayoría de los productos han sido innovados incrementalmente. El Walkman de Sony ciertamente cae en esta segunda categoría, mientras que el teléfono se puede clasificar como uno de las invenciones.

### **1.3 Análisis de Elementos Finitos (FEA)**

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

**1.3.1 Modelo geométrico.** Es la etapa inicial de un proceso de diseño asistido por computadora, es la definición de un modelo geométrico, del cual se obtienen los datos necesarios para poder analizar su comportamiento. Dicho modelo geométrico puede ser más o menos complejo en función de la dificultad que presente la geometría real del diseño o de la capacidad informática disponible. Un modelo representa simplificaciones de la geometría real y son la base para la definición de los datos de cálculo, como las mallas de elementos finitos. Al modelo geométrico del diseño se le denomina sistema. La finalidad, pues, del modelo de cálculo es obtener la respuesta del sistema a ser éste sometido a una serie de perturbaciones que se denominan acciones (por ejemplo cargas en un sistema estructural).

#### **Sistemas discretos y sistemas continuos**

Reciben dicha denominación aquellos sistemas compuestos por una serie de elementos separados físicamente diferenciales, conectados por sus extremos o nodos formando una malla y sometidos a una serie de acciones generalmente externas al sistema.

Relacionados con las estructuras, por ejemplo, podemos considerar sistemas discretos a

todas las estructuras de barras, tales como pórticos simples y compuestos, entramados de edificación, etc. Como se muestra en la figura 1.3.

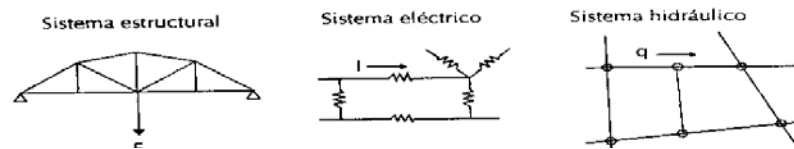


Figura.1.3. Ejemplo de sistemas discretos. **Referencia:** Sistemas CAD/CAM/ CAE Diseño y fabricación por computadora. Métodos de cálculo y simulación en CAD.

En otras áreas de la ingeniería tenemos ejemplos de dichos sistemas en las redes hidráulicas y eléctricas, en los sistemas de organización de transporte y otros.

Los modelos de cálculo de diseño asistido por computadora, no tan buenos para análisis de sistemas discretos, utilizan técnicas de cálculo matricial. No obstante, es posible obtener una representación analítica de la respuesta del sistema, lo que simplifica notablemente los cálculos.

**Sistemas continuos.** Se denominan sistemas continuos aquellos cuyo comportamiento no puede expresarse en forma sencilla en función de un número pequeño de variables discretas. Los ejemplos de dichos sistemas en la ingeniería y en la física son innumerables. En ingeniería de estructuras se puede considerar que, prácticamente, todas las topologías estructurales, a excepción de las formadas por elementos de barras, responden a dicha clasificación (placas, puentes, láminas, etc.). Similarmente ocurre con otras ramas de la ingeniería tales como la ingeniería mecánica, hidráulica, aeronáutica, naval, etc., donde la mayor parte de los problemas de interés práctico tienen un carácter bi o tridimensional y, por consiguiente, continuo (figura 1-4).

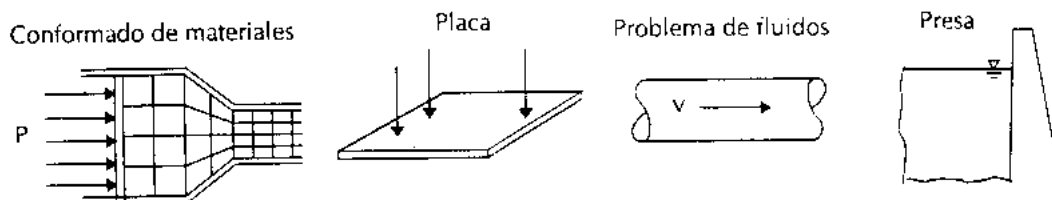


Figura. 1.4 Ejemplos de sistemas continuos. **Referencia:** Sistemas CAD/CAM/ CAE Diseño y fabricación por computadora. Métodos de cálculo y simulación en CAD.



### 1.3.2 Método de análisis de elementos finitos

Con la llegada de las computadoras digitales, los problemas discretos pueden resolverse generalmente sin dificultad, aún cuando el número de elementos sea muy elevado. Para vencer la dificultad que presenta la solución de problemas continuos reales, ingenieros y matemáticos han ido proponiendo a través de los años diversos métodos de discretización. La aplicación de estos métodos hace necesario efectuar alguna aproximación de tal manera que se pueda esperar que la misma se acerque, tan estrechamente como se quiera, a la solución continua verdadera a medida que crezca el número de variables discretas. Así es como tuvo su desarrollo el “método de los elementos finitos”.

El método de análisis de elementos finitos de la estructura sometida a cargas es modelada con una malla de elementos, los cuales están conectados en cada una de sus esquinas y los puntos de conexión son llamados nodos. La solución se obtiene usando ecuaciones básicas de esfuerzos y deformación para calcular la flexión en cada elemento por el sistema de fuerzas transmitidas por los elementos vecinos a través de los puntos nodales. La deformación es determinada por la flexión de los puntos nodales. Sin embargo, el problema es más complicado que a simple vista, por que la fuerza en cada nodo depende de la fuerza de todos los demás nodos. Los elementos se comportan como un sistema de resortes y se flexionan hasta que todas las fuerzas estén en equilibrio. Esto conduce a un sistema complejo de ecuaciones simultáneas. El álgebra matricial es necesaria para manipular los enгорrosos sistemas de ecuaciones.

La pieza fundamental de la información es la matriz de rigidez para cada elemento. Ésta es como un tipo de constante de resorte que describe que tanto los puntos nodales son desplazados bajo un sistema de fuerzas aplicado.

En notación matricial:

$$[K] \{U\} = \{f\}$$

**Ec. 1.1 Ecuación de Ensamblaje,  
Métodos de cálculo y simulación.  
Sistemas CAD/CAM/CAE**

donde:

[K] es la matriz de rigidez para los elementos

{U} es la matriz de desplazamientos de los nodos en los elementos

$\{F\}$  es la matriz de las fuerzas actuando en el elemento

La matriz de rigidez es construida por las coordenadas de los puntos nodales y de la matriz de constantes elásticas del material. La matriz  $[K]$  para un elemento triangular puede ser construido por los principios de estática, pero para los elementos más complejos se requiere el uso de los principios de energía para derivar  $[K]$ . La matriz de fuerzas es conocida porque ésta consiste en valores numéricos de las cargas y reacciones calculadas al inicio del análisis por elementos finitos. Los desplazamientos son las incógnitas, y éstas son resueltas por la transposición de la matriz de rigidez en la ecuación 1-1, este cálculo da los desplazamientos en todos los nodos. Cuando ésta es multiplicada por la matriz de localización de los nodos  $[B]$  y la matriz de constantes elásticas  $[C]$ , obtenemos los esfuerzos en todos los puntos nodales, Ec. 1.2.

$$\{ \sigma \} = [C] [B] \{U\} \quad \text{Ec. 1.2}$$

donde:

$\{\sigma\}$  = esfuerzo en términos de desplazamiento de los nodos

$[C]$  = la matriz de constantes elásticas

$[B]$  = matriz de localización de los nodos

$\{U\}$  = vector de desplazamientos nodales

Esto es, de manera general, el método de los elementos finitos, el cual, en la práctica, conlleva un tratamiento matemático muy extenso, por lo que no se entrará a detalle, ya que lo que interesa en este momento es la aplicación práctica de este método.

### **Pasos para realizar el análisis de elementos finitos**

El análisis por elementos finitos utilizando un software especializado comienza con el *preprocesamiento*, en el cual se construye un modelo de elementos finitos que contenga toda la información necesaria para su análisis: geometría, cargas, restricciones de desplazamientos (también conocidos como condiciones de vínculo) y las propiedades de los materiales necesarios. La geometría se crea usando una herramienta de tipo CAD, ya sea en 2D o en 3D. Este modelo luego se divide en una serie de elementos conectados. Este proceso es conocido como mallado, el cual es un paso crítico en el análisis por elementos

finitos; el tipo y lugar de cada elemento, al igual que el número total y densidad, tienen un importante efecto en la rapidez y exactitud del análisis. El último paso en el preprocesamiento es definir las *condiciones de vínculo* (también se conoce como *restricciones de desplazamiento*) y las cargas. Las restricciones determinan la dirección en la cual el modelo se puede mover. Las cargas son fuerzas aplicadas al modelo y típicamente se aplican sólo a los nodos (aunque modeladores más modernos no poseen esta restricción y se definen por funciones constantes, trascendentes u otras).

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

Los resultados del analizador necesitan ser traducidos a alguna forma con sentido, esto se hace en el *postprocesamiento*. Los reportes de texto son los más fáciles de producir, muestran la información de tensiones y el desplazamiento de cada nodo y de cada elemento. Una manera más fácil de mirar los resultados es dibujando las tensiones, desviaciones, y otros parámetros en estudio sobre el modelo. Luego, las imágenes a color ayudan a detectar áreas con un alto grado de tensión. También se pueden ver deformaciones para mostrar varios modos de vibraciones. (La figura 1.5 muestra dos ejemplos de modelado utilizando la técnica del FEA).



Figura. 1.5 Modelado con elemento finito. Algor Design World, 1995, Pittsburgh, Pensilvania .

## Importancia del mallado y del tipo de elementos

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

El elemento más simple es el triangular, y también es el más usado. Un ensamble de triángulos puede representar un dominio bidimensional para cualquier forma geométrica.

El elemento cuadrilátero es una combinación de dos triángulos básicos. Su uso reduce el número de elementos necesario para modelar ciertos problemas como se muestra la tabla 1.1.

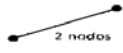
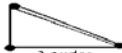

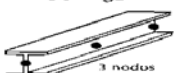
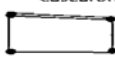
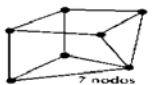
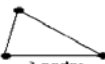

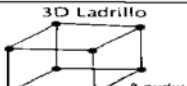

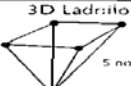
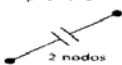
<p>3D Estructura</p>  <p>2 nodos</p>	<p>3D Membrana/placa cascarón</p>  <p>3 nodos</p>	<p>3D Ladrillo</p>  <p>6 nodos</p>
<p>3D Viga</p>  <p>1 nodos</p>	<p>3D Membrana/placa cascarón</p>  <p>4 nodos</p>	<p>3D Ladrillo</p>  <p>7 nodos</p>
<p>2D Elástico</p>  <p>3 nodos</p>	<p>3D Ladrillo</p>  <p>4 nodos</p>	<p>3D Ladrillo</p>  <p>8 nodos</p>
<p>2D Elástico</p>  <p>4 nodos</p>	<p>3D Ladrillo</p>  <p>5 nodos</p>	<p>Gap/cable</p>  <p>2 nodos</p>

Tabla 1.1. Tipos de elementos usados en FEA. Algor Design World, 1995, Pittsburgh, Pensilvania

Los elementos son los cimientos fundamentales del análisis de elementos finitos, existen docenas de tipos de elementos. El análisis es más simple utilizando elementos 2D en donde todas las fuerzas y desplazamientos actúan sobre un mismo plano. En cambio, con elementos 3D se realiza un análisis más completo, en donde todas las fuerzas y

desplazamientos pueden actuar en cualquier dirección. Estos elementos pueden ser tetraédricos o hexaédricos. Se tarda más tiempo en procesar los problemas en 3D; los elementos tetraédricos en 3D se utilizan frecuentemente en mallado automático.

Los elementos también se pueden clasificar por la posición de sus nodos, que determinan para qué tipo de análisis sirve el elemento. Los elementos lineales poseen nodos sólo en los vértices, representando tensiones constantes.

Elementos parabólicos o de segundo orden poseen nodos en las secciones medias, representando una variación lineal de tensión.

Elementos de primer orden, como los cubos y los cuadrados están disponibles, al igual que elementos isoparamétricos que pueden representar elementos curvos. La manera en la cual una estructura está restringida a moverse, llamada grado de libertad (DOF), está determinada por el tipo de elemento. Simples elementos tipo resorte en 2D tienen un DOF 2, mientras que elementos tipo ladrillo en 3D tienen un DOF 24. El número total de DOF en un modelo determina el tiempo de proceso, cuanto más grande es el DOF mayor es el tiempo de procesamiento.

### **Análisis de esfuerzos mecánicos**

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

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

Son muy amplias las aplicaciones existentes ya que se pueden analizar sistemas con materiales homogéneos, compuestos (isotrópicos), con análisis lineal y no lineal. Un análisis lineal es muy exacto sólo para los modelos en los cuales la relación de fuerzas y

esfuerzos/flexiones cumplen con una función lineal. El clásico ejemplo de este tipo de comportamiento es un resorte lineal. Si la magnitud de la fuerza es incrementada, la deflexión del resorte se incrementará en proporción.

Un análisis no lineal las fuerzas no sostienen una relación lineal con los desplazamientos y/o los esfuerzos. Las tres causas de un comportamiento no lineal pueden ser clasificadas como: Material no lineal, geometría no lineal, elementos no lineales.

Para poder diseñar los componentes de una máquina o mecanismo en atención a su resistencia, es necesario determinar las fuerzas y momentos. Que actúan en los eslabones individuales. Cada componente de una máquina completa por más pequeño que sea se debe analizar cuidadosamente para determinar su papel en la transmisión de fuerzas. Figura 1.6.



Figura. 1.6. Análisis de elemento finito de un sistema mecánico. Algor Design World, 1995, Pittsburgh, Pensilvania .

### Técnicas gráficas para el postproceso

Por postproceso se entiende la utilización de técnicas que permiten el análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante un sistema de diseño por computadora. Por tanto, el término postproceso, es utilizado para designar tareas diversas que a menudo constituyen el enlace entre las etapas de diseño y de fabricación asistidas por computadora.

- **Postproceso gráfico**

Las técnicas gráficas empleadas en el postproceso son básicamente de tres tipos:

- a) Obtención de contornos de nivel que facilitan el estudio de la distribución de tensiones, deformaciones, temperaturas, etc. (ver figura 1.7).

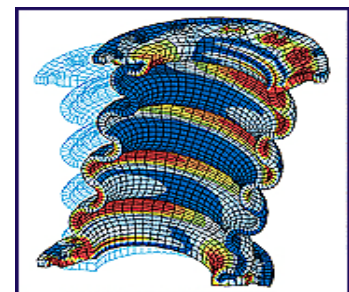


Fig. 1.7. Representación gráfica de un análisis de material compuesto. Algor Design World, 1995, Pittsburgh, Pensilvania

Los contornos de nivel, son usados en el postproceso de un análisis por elementos finitos, y nos permite conocer de manera gráfica cómo es la distribución de esfuerzos en una pieza, estas gráficas son generalmente bandas de diferentes colores, lo cual nos permite examinar los diferentes valores de tensión dentro de la pieza estudiada.

b) Cálculo de secciones para el estudio del comportamiento de una pieza o para la elaboración de planos. Es muy usado en la etapa de elaboración de los documentos impresos, tales como planos de fabricación o simplemente en la preparación de bocetos.

c) Técnicas de visualización que permiten entender el resultado del diseño ofreciendo diversos tipos de presentación bidimensional y tridimensional.

## **1.4 Optimización Estructural**

Los problemas de optimización estructural consisten en variar algunos contornos del modelo a ser diseñado a fin de mejorar su comportamiento mecánico como por ejemplo, reducir altas concentraciones de esfuerzos que normalmente aparecen en las esquinas de las piezas o en aquellas zonas donde ocurren cambios bruscos en la forma de la sección.

La optimización estructural es una fusión dentro del área de la ingeniería, ciencias matemáticas y la tecnología, fue la meta realizada para mejorar el desempeño estructural, siendo este un puente, un espacio de un vehículo o una espectacular estructura. Todos los aspectos del entorno a la vida de una estructura deben ser contemplados más incluso los indeseables; un choque de carro por ejemplo.

Debido a la complejidad de las matemáticas el tema de optimización estructural permanecía ser mas de interés académico hasta los últimos veinte años. Sin embargo, el tema fue reenfocado. Este fue el comienzo para que un numeroso y competente grupo de analistas experimentaran en Análisis de Elemento Finito (FEA) y como ahora pueden usar el método mas allá de su capacidad.

A fin de resolver el problema de optimización estructural, éste puede ser dividido principalmente en tres etapas. En primer lugar, es necesario definir el modelo geométrico y

analítico de la pieza a estudiar, en segundo lugar se estudia la sensibilidad para obtener la solución al problema planteado, y finalmente, la solución óptima del problema se obtiene a través de la selección de la técnica de optimización que permita hacerlo de la forma más efectiva posible.

#### 1.4.1. Tipos de la optimización estructural

Dentro de los tipos de optimización estructural este se divide en: tamaño, forma y topologías de optimización (ver figura 1.8).

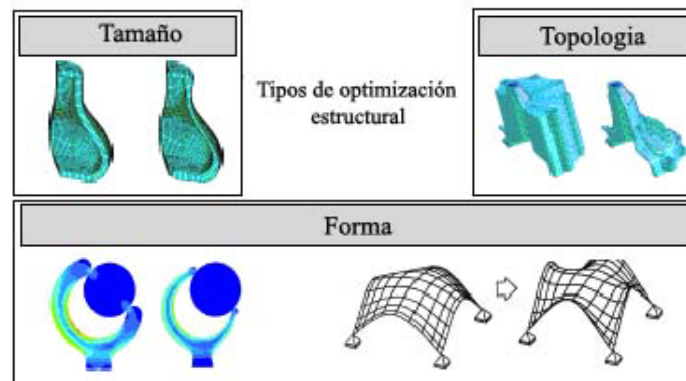


Figura. 1.8. Tipos de optimización estructural.

#### Optimización de tamaño

En un típico problema de tamaño, el objetivo es hallar el óptimo espesor distribuido de una placa linealmente elástica o los miembros de área óptimos en una armadura estructural. El óptimo espesor distribuido minimizado (o maximizado) en una cantidad física semejante a la media complacida, máximo esfuerzo, deflexión etc., mientras el equilibrio y otras restricciones en el estado y variables de diseño son satisfechas. Las variables de diseño son el espesor de la placa y el estado de variables puede estar en deflexión. La propiedad media del problema de tamaño es que el dominio del diseño del modelo y el estado de variables es conocido como prioridad y es estable a lo largo del proceso de optimización. O sea que, la Optimización de tamaño involucra una modificación de la sección transversal o espesor de elementos finitos. La optimización es aportada matemáticamente por algoritmos de optimización con diferentes objetivos de funciones maximizando la rigidez o el mínimo



peso. Muchos programadores aprovechan estas pruebas y las implementan en programas de elemento finito o programas especiales de optimización, debido integración y cálculo de la sensibilidad de la optimización de tamaño.

### Optimización de la forma

En un problema de optimización de forma, se define un dominio que es ahora la variable de diseño. La optimización de la forma es más compleja, las coordenadas de la superficie se han considerado como variables del diseño que se modificarán durante la optimización. La modificación de la superficie también es usada para reducir las crestas de tensión encontradas en una propuesta de diseño. La forma del componente resultante se ajusta óptimamente a las tensiones que son el resultado de las cargas especificadas y condiciones del límite. Así pueden aumentarse la fiabilidad y vida de un componente. La dificultad principal con optimización de la forma es transferir los cambios de superficie al elemento finito en malla. Sólo unos programas son capaces de semejante traslado sin destruir la topología del elemento.

### Topología de optimización

La Topología de Optimización, es la técnica que encuentra el esquema óptimo de la estructura dentro del específico dominio del diseño. Las posibles restricciones dentro del problema de topología de optimización son usualmente volumen o material y restricciones de diseño (restricciones geométricas, tal como agujeros o regiones no diseñadas) dentro del dominio del diseño bajo ciertas aplicaciones de carga y condiciones de frontera.

La Topología de optimización de sólidas estructuras envuelve la determinación de las propiedades tal como el número y localización y la forma de huecos y la conectividad del dominio. Esto se logra a partir de quitar las áreas estructurales que no se necesitan del espacio dado y la nueva estructura muestre una indicación del flujo de energía óptimo, por lo que, el resultado de la topología de optimización sirve como un proyecto de diseño para la creación de un nuevo modelo de FEA para el subsiguiente cálculo de la simulación y optimización. Este método le proporciona al diseñador el desarrollo del diseño, incluso en

la fase de la planificación temprana con una herramienta capaz de crear una propuesta de diseño perfeccionada en el peso para un espacio dado.

La propuesta de la topología de optimización es descubrir el óptimo esquema de la estructura dentro de una específica región. El sólo conocimiento de cantidades en el problema, como son la aplicación de cargas, la posible condición de soporte, el volumen de la estructura a ser construida y posiblemente alguna adicional restricción de diseño tal como la localización y tamaño que prescribe aberturas o áreas sólidas. En este problema el tamaño físico y la forma y conectividad de la estructura son conocidos, ver figura 1.9.

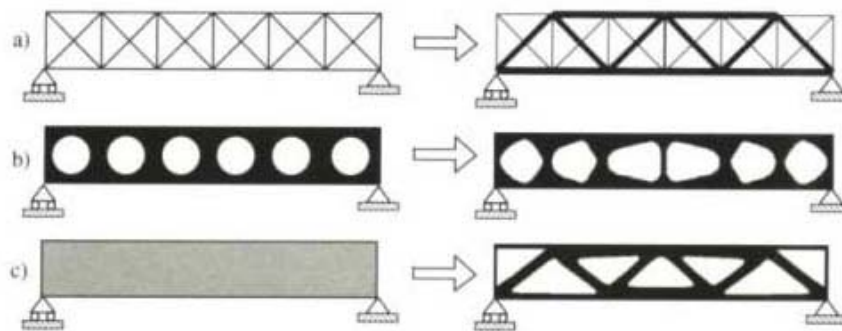


Figura 1.9. Tres tipos de optimización estructural. a) Optimización de tamaño de una armadura estructural, b) Optimización de forma. d) Topología de Optimización. El inicial problema son mostrados al lado de la mano izquierda y la solución optima son mostrados a la derecha.

La topología de optimización, de forma y tamaño no son representadas por estándares, funciones paramétricas para fijar la función de distribución definida en el campo del dominio del diseño. Esas funciones envuelven una representación en parametrización del tensor de deformación y este es una apropiada selección de esta parametrización que guía la apropiada formulación del diseño para la topología de optimización.

Asimismo, en general, desde la clasificación del problema de optimización de tamaño o el problema de optimización de forma, puede ser expresada dentro del estándar en términos matemáticos como un problema de programación no lineal (NLP).

### 1.4.2. ¿Por qué escoger la Topología de Optimización Estructural?

¿Es aprovechable usar una optimización de tamaño o de forma en una propuesta inicial del diseño? en la fase de la planificación, una estructura fundamental del objeto puede encontrarse usando topologías de optimización, empezando por conocer las cargas y las condiciones de frontera y el máximo espacio de diseño disponible, lográndose que el concepto de diseño pueda ser funcional y de alta posibilidad, mientras se reúnan todos los requisitos antes mencionados.

La topología de optimización estructural es uno de los más importantes subconjuntos de optimización estructural que apunta a descubrir la mejor posible estructura que encuentran diferentes requerimientos multidisciplinarios tal como la funcionalidad y la manufactura. Generalmente la topología de optimización estructural es una herramienta poderosa que puede ayudar al diseñador a seleccionar inicialmente una estructural y lo más importante, esto es identificado como la tarea más económica y recompensada en el diseño de estructuras.

La topología de optimización estructural tal como una forma generalizada del problema de optimización ha sido recibida con considerable atención recientemente. Varias familias de métodos de topología de optimización estructural han sido extensivamente desarrolladas. Una de las más estables familias de métodos es basada en aproximar la homogenización, propuesta por (Bendsoe y Kikuchi (1988) [2]). El método de homogenización fue basado en la suposición de una micro-estructura donde las propiedades son homogenizadas. Como una importante alternativa de aproximación dentro de estas familias, la ley del dominio de aproximación, que es también llamado el método SIMP (Microestructura Sólida Isotrópica con Penalización) y originalmente introducido por Bendsoe, fue ganando bastante aceptación en general en los recientes años. Este aprovecha la densidad relativa de los elementos como variables de diseño y asume que las propiedades del material dentro de cada elemento son uniformes, con estos modelos como la densidad relativa del material aumenta un poco el dominio del material, propiedades del material sólido. El más reciente desarrollo es basado en funciones implícitas tal como el método de regularización y método de nivel estable. Este es una obra maestra donde el método de regularización es un doble

método de homogenización y método de nivel estable puede ser tal como eficiente como el método de homogenización que es una buena inicialización. Otra familia fuente de desarrollo de métodos de optimización estructural es el basado en la optimización estructural evolutiva (ESO) propuesta por (XIE y Steven (1993) [3]), en éste, el material en el dominio de diseño que es no estructuralmente activo, es considerado como uso ineficiente y puede así ser removido por algún criterio de denegación del elemento. Mas recientemente, más allá de desarrollar una función basada en un método de optimización a superar el problema carente de un criterio apropiado para identificar el óptimo en la local búsqueda continua del método de optimización. Ambos métodos, homogenización y ESO tienen que ser desarrollados más allá por un gran número de investigadores, primero por la extensiva exposición y exploración de esas dos familias de métodos. Aunque computacionalmente efectivas, las dos no pueden realizar una global búsqueda y así no hacen necesario converger a una global óptima solución para conseguir la objetiva función y restricción.

En seguida se enlistan algunos métodos de optimización.

1. Aprovechamiento de la densidad de material.
2. Método de Homogenización.
3. Método evolutivo (ESO).
4. Algoritmos genéticos basados en el aprovechamiento de material.
5. Método de nivel estable.
6. Método de burbuja (Bubble method).
7. Método de estructuras grandes.

El acercamiento del método de topología de optimización correspondiente puede ser usado por el ingeniero común este método no requiere de ningún conocimiento matemático especial.

### **1.5. Optimización Estructural Evolutiva (ESO)**

El principal objetivo de estudio de la optimización estructural evolutiva (por sus siglas en inglés ESO) ha sido proporcionar una fácil aplicación del método de optimización para la

industria ingenieril que asiste al proceso de diseño para mejorar el producto. Originalmente ESO fue basado dentro del concepto de esfuerzo estructural y éste se obtiene por la lenta remoción de la malla de elemento finito cuyos elementos presentan valores bajos de esfuerzo. Con este criterio de remover elementos de la topología inicial, esta evoluciona hacia un óptimo. Desde que fue introducido ESO en 1993, fue desarrollado y extendido severamente en problemas de tipo estructural. Inicialmente la debilidad de ESO, estuvo en: (1) típicamente en el prolongado tiempo de solución y (2) las topologías generadas con superficies dentadas como resultado de remover elementos enteros dentro del proceso de optimización. Esas características dificultaron esta aplicación al diseño asistido por computadora y análisis. Estas debilidades se dirigieron para situaciones en 2D (1) basado en la computación de esfuerzos con el método de elemento finito dentro de una rejilla estable (FG) y (2) remoción de material con bajos valores de esfuerzo a lo largo del contorno de igual esfuerzo en lugar de remover elementos enteros. Una representación de frontera (B-rep) de la estructura es mantenida en cada interacción del proceso de optimización. Modificando el espacio de trabajo, esta es hecha por la identificación de líneas de contorno de los esfuerzos e incorporadas dentro de la evolución geométrica. La consistencia de la topología del B-rep es mantener por normalización operaciones booleanas en 2D.

Es clásico que el método de optimización estructural ESO, por eliminación lenta de elementos con baja tensión, aprovecha totalmente el diseño de tensiones, (Annicchiarico W., Cerrolaza M (1999) [4]. Una importante característica del método ESO es que este es fácil de entender y aprender, mientras al mismo tiempo produce resultados fiables. Ahora ESO ha sido extendido cómodamente a varios criterios de optimización siendo un método práctico. Además de esos desarrollos incluye la implementación de rigidez y desplazamientos como criterios de optimización y la aplicación dentro de problemas con múltiples cargas, no lineales, dinámicos y problemas de pandeo. (Querin et al, (2000) [5]). extiende el método ESO añadiendo como fuente la eliminación de elementos Bidireccional ESO (BESO). Esto significa que el diseño inicial no tiene que ser mas largo, es el máximo dominio en el diseño. Así, el tiempo de solución puede ser reducido especialmente si el usuario especifica una casi óptima topología como inicial diseño. Sin embargo este

conocimiento no siempre es disponible y la típica larga solución de ESO puede ser un obstáculo contra la aplicación práctica como herramienta de diseño.

### 1.5.1. Formulación del problema de topología de optimización usando diseño de topologías “Hard Kill” o el método ESO, en la totalidad del concepto de diseño de esfuerzos

El concepto básico del esfuerzo basado en el clásico ESO es aquella estructura que evoluciona hacia un completo diseño de esfuerzos, es decir un óptimo, por la lenta eliminación de elementos ligeramente tensionados. Los elementos que satisfacen la desigualdad ESO de la ecuación (Ec.1.2) no serán eficientemente utilizados dentro de la transportación al aplicar cargas y ahora puede ser eliminado con un mínimo efecto sobre la integridad de la estructura. El proceso ESO es resumido como se presenta mas adelante en el algoritmo 1.

$$\sigma_{vm} \mid_e \leq RR \times \max(\sigma_{vm}) \quad (\text{Ec. 1.1})$$

$$RR = a_0 + a_1 \times SS + a_2 \times SS^2 + a_3 \times SS^3 + K \quad (\text{Ec 1.2})$$

Donde

$\sigma_{vm} \mid_e$  = promedio de esfuerzos de von Mises en el elemento  $e$

$\max(\sigma_{vm})$  = máximo esfuerzo de von Mises en la estructura

$RR$  = relación de material removido

$a_0, a_1, a_2, a_3$  = constante especificada por el usuario que define la relación de los elementos que son eliminados

$SS$  = número constante de estado; [4]

Algoritmo 1. Principal algoritmo de ESO

---

While optimum limit is not reached do

    Carry out FEA;

    Remove elements according to Equation (1.2);

    If number of removed element == 0 then

$SS = SS + 1;$

end if

end while

---

El nivel de esfuerzos de cada elemento es determinada por la comparación del esfuerzo de von Mises en elemento  $\sigma_e^{vm}$  y el máximo esfuerzo de von Mises de la estructura completa  $\sigma_{max}^{vm}$ , al final de cada análisis de elemento finito, todos los elementos que satisfacen la siguiente condición

Donde  $RR_i$  es la ocurrente "rejection ratio"  
(relación de material removido )

$$\sigma_e^{vm} < RR_i$$

El ciclo de análisis de elemento finito y la remoción de elementos es repetido, usando el mismo valor  $RR_i$  hasta que una situación de estabilidad es alcanzada. En esta fase una relación de evolución ( $ER$ ) es introducida y añadida a la Relación de rechazo.

$$RR_{i+1} = RR_i + ER, \quad i = 0,1,2,3...$$

Con este incremento de Relación de rechazo el ciclo de análisis de elemento finito y la remoción de elementos toman lugar de nuevo hasta que una nueva situación de estabilidad es alcanza. Cada proceso evolutivo continúa hasta que un óptimo deseado es alcanzado, por ejemplo, cuando ya no hay material en la estructura final y el nivel de esfuerzos es bajo hasta 25% del máximo, este puede ser no el mejor resultado pero cada proceso evolutivo de optimización le ofrece al diseñador que puede mejorar la solución, desde la forma y la topología, en cada situación de estabilidad puede ser escogida el material donde a cada punto de la estructura es enfatizado, esto es una total fortaleza. Sin embargo solo en algunos casos especiales puede ser posible enfatizar totalmente la estructura.

El proceso de evolución requiere de dos parámetros para ser descritos. El primero es la inicial relación de rechazo  $RR_0$  y el segundo es la relación evolutiva  $ER$ . Los valores típicos de  $RR_0 = 1\%$  y el de  $ER = 1\%$  son usados para cualquier prueba, pero para una

misma prueba, estos valores deben de disminuir. Para cualquier modelo nuevo, después de algunos ensayos esto no dificulta escoger satisfactoriamente los valores para esos parámetros. Por ejemplo demasiado material ha sido removido de la estructura dentro de una interacción o una situación estable, esto indica que valores inferiores tienen que ser usados para *RR<sub>o</sub>* o *ER*. Cumpliéndose: funciones muy importantes (objetivas y restricciones) dentro de la topología de optimización.

## 1.6 Definiendo Bases de Datos

**En la creación del ciclo del proceso de diseño en la ingeniería, las bases de datos juegan dos importantes roles. Primero provee datos para el desarrollo del producto, especificaciones, estándares, costos, logística y los materiales que podrían ser utilizados para producir el objeto, entre otros más. El segundo, es proporcionar información sobre cada otra versión del producto que se ha realizado antes para ayudar a responder algunas preguntas como:**

¿Qué ha funcionado bien con el producto?

¿Qué no ha funcionado bien con el producto?

¿Qué tiene que hacer el diseñador para mejorar el producto?

¿Qué podrían hacer los usuarios para que el producto funcione mejor para ellos?

El concepto de captura de datos sugiere que varios procesos de entrada puedan alimentar un propósito común, a partir del cual se extenderán los datos particulares que cada aplicación necesita, a dicho depósito se le llama Base de Datos (BD). Pero en el contexto de diseño y manufactura la base de datos en un depósito de manejo de información.

El principal concepto que encierra una BD es la integración de la información: es decir, una BD utilizada por diferentes usuarios que puedan acceder a subconjuntos de información disjuntos o intersección no nula.

Las BD, además de almacenar datos, deben indicar las relaciones que existen entre los diferentes elementos que las componen, relaciones que se presentan o implementan



mediante los diferentes modelos de organización lógica de la información que conforman y definen una BD. Entre los cuales se tienen:

- Modelo jerárquico.
- Modelo plex o red.
- Modelo relacional.

### 1.6.1 Arquitectura de una Red

La figura 1.10, presenta una arquitectura de una BD. Se divide en tres niveles o esquemas: interno, conceptual y externo.

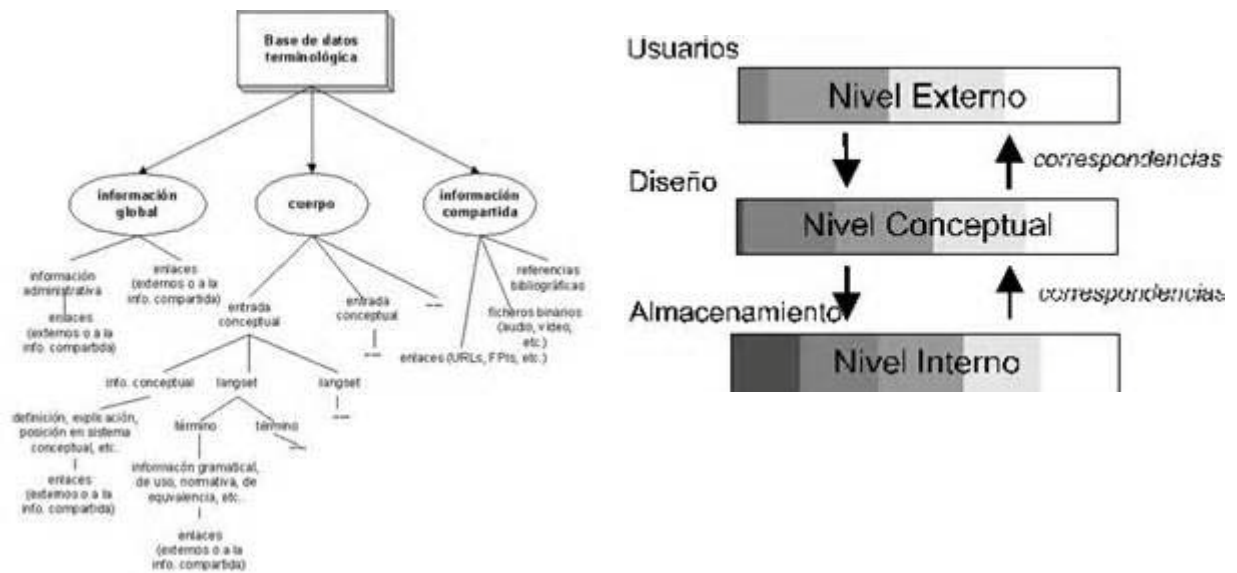


Figura 1.10. Arquitectura de una base de datos.

El nivel conceptual es el nexo de unión entre la realidad y la forma de almacenar los datos.

Define una visión común para todos los datos.

El esquema externo define la forma en que los datos son vistos por el usuario. se define a partir del esquema conceptual.

El esquema interno está muy cerca del nivel físico y describe la forma en que los datos, se almacena físicamente.

Los diferentes esquemas deben definirse antes de cualquier uso de la BD. Una vez creados los esquemas, los usuarios disponen de un lenguaje de manipulación de datos, para crear, borrar, actualizar y recuperar identidades descritas en el esquema externo.

La problemática que afrontan las BD de gestión es claramente diferente de la que afrontan las BD de diseño asistido por computadora, enseguida se presentan algunas características que cualifican las diferencias existentes siguiendo los criterios más destacables.

#### 1. Información a presentar

a) En gestión, la realidad es estática, las entidades y relaciones se conocen a priori pudiendo, por tanto, describirse y usarse en la definición inicial de la BD.

b) En CAD, los datos referentes a aquellos que se pretende diseñar son dinámicos en el sentido de que no se conocen inicialmente y sólo se llega a través del propio proceso de diseño.

#### 2. Quién introduce modificaciones.

a) En gestión, el usuario realiza modificaciones de los valores y la estructura sólo la puede modificar el administrador de la BD.

b) En diseño, es el usuario quien realiza todos los cambios que considera oportunos.

#### 3. Tipos de valores.

a) Los valores en gestión son numéricos o cadenas de caracteres.

b) En CAD, los valores son asimismo numéricos o caracteres pero además con una cierta estructura asociada que les imprime carácter.

#### 4. Uso de CPU.

a) En gestión, las principales operaciones a realizar responden a extraer/insertar información según algún criterio de selección con un bajo uso de CPU.

b) En CAD, algunos valores son el resultado de la aplicación de programas que pueden involucrar costosos cálculos siendo, siendo por tanto, elevado el uso de CPU.

Los conceptos expuestos no son exhaustivos, pero permiten plantear determinados requisitos que las BD deben poseer en un entorno técnico y de diseño.

## 1.7 Sistema de Manufactura Flexible

### 1.7.1 Definiendo un Sistema de Manufactura Flexible

Este puede ser un grupo de máquinas manufactureras dedicadas a un solo propósito, proveyendo flexibilidad debido tanto al flujo variable de material entre estaciones como a las diferentes combinaciones de usar estaciones de operaciones simples. Siendo el resultado final la capacidad de manufacturar piezas o ensamblados usando el mismo grupo de máquinas. Una línea de producción con uso y operación variable de las estaciones puede funcionar como SMF. Es por esto que la manufactura flexible describe cualquier grupo de máquinas o centros con el objeto de mover material entre ellos. El sistema completo está manejado por computadores, los cuales pueden manufacturar colectivamente diferentes partes y productos desde el inicio al final. Ver figura 1.11.

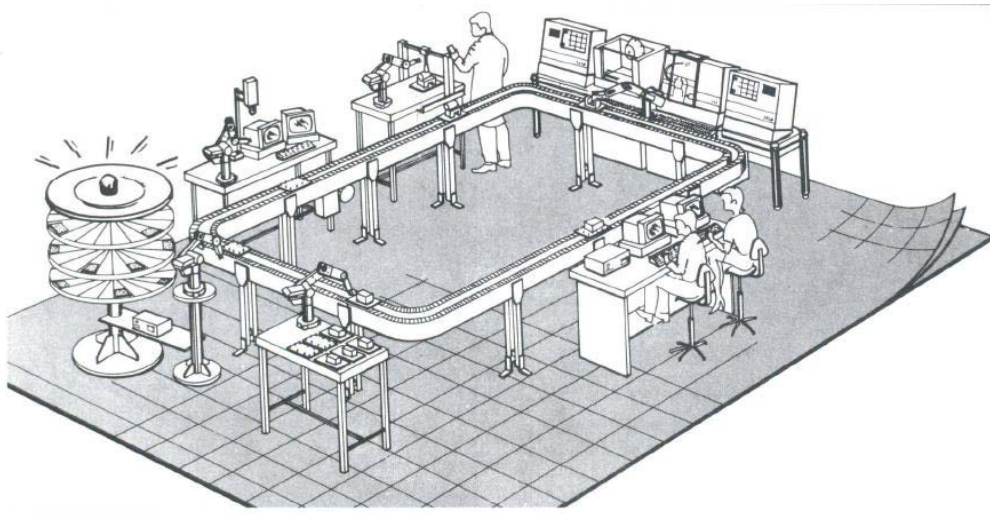


Figura 1.11. Sistema de Manufactura Flexible.

La tecnología de manufactura flexible actual es una gran promesa para el futuro de la manufactura. Beneficios potenciales son el mejoramiento en calidad, la reducción en costos e inventario, y un mejor manejo de los productos. Esta tecnología puede dividirse en dos segmentos:

"Flexible Manufacturing Systems" (FMS, sistemas flexibles de manufactura) y "Flexible Manufacturing Cells" (FMC, celdas flexibles de manufactura).

Un Sistema de Manufactura Flexible según Groover (1990) consiste de un grupo de estaciones de procesamiento (predominantemente máquinas herramientas CNC), interconectadas por medio de un sistema de manejo y recuperación de material automático. Lo que da su nombre al FMS es su capacidad de procesar una variedad de diferentes tipos de partes simultáneamente bajo un programa de control NC en varias estaciones. • Flexible porque es capaz de procesar varios productos y cantidades de producción que pueden ser ajustadas en respuesta a los comportamientos de la demanda

¿Qué es CIM ?es un sistema de manufactura computarizado que está formado por máquinas de control numérico y un sistema de manejo de materiales automatizado. CIM es una forma de automatizar la producción. Implica unir diferentes fases de la producción y crear un sistema totalmente integrado. Con todos los procesos funcionando bajo computadora e información digital. El término de FMS (Sistemas de Manufactura Flexible) algunas veces se utiliza como sinónimo de CIM. El FMS es un tipo de CIM, diseñado para un rango intermedio de producción y flexibilidad moderada. El factor que ha adquirido CIM como meta es la implementación de la información digital para integrar la manufactura, diseñar y comprender asuntos y funciones.

### **Objetivos del FMS**

- 1) Incremento de la utilización del equipo y capital.
- 2) Reduce al inventario en proceso y el tiempo de preparación.
- 3) Reduce substancialmente el tiempo de ciclo.
- 4) Reducción de inventario y pequeños lotes.
- 5) Reducción de fuerza de trabajo.

- 6) Facilidad para adaptarse rápidamente a los cambios de diseño.
- 7) Consistencia en la calidad.
- 8) Reducción del riesgo como resultado del fracaso de un producto.
- 9) Control gerencial conciso.
- 10) Mejoramiento de la imagen en el mercado / credibilidad.
- 11) Reduce el requerimiento de espacio en el piso de producción

**Beneficios:**

- Incremento de la utilización de las máquinas.
- Menor cantidad de maquinas requeridas.
- Reducción de espacio de área de máquinas requerido.
- Gran respuesta ante los cambios.
- Reducción de inventarios.
- Menores tiempos de entrega.
- Reduce la cantidad de gente en planta.
- Oportunidad de desatender la producción.

**Consideraciones para el diseño:**

- Familia de partes.
- Requerimientos del proceso.
- Características de las piezas a trabajar.
- Volumen de la producción.

**Factores a especificar en el diseño:**

- Tipos de estaciones de trabajo.
- Variaciones en la ruta del proceso.
- Sistema de manejo de materiales.
- Capacidad de almacén.
- Herramientas.
- Dispositivos de almacén.

**Problemas a resolver para optimizar la producción**

- Programar la producción.
- Cargar la maquina.
- Ruta de las partes.
- Agrupación de partes.

- Administración de las herramientas.
- Ubicación de dispositivos de almacén.

**Desventajas:**

- Costo, su inversión inicial es una alta.
- Requiere una buena planificación.
- Problemas de adaptación con la tecnología nueva.
- La maquinaria es limitada para crear diferentes mezclas de productos.

**1.7.2. Componentes de un SMF**

1. Estaciones de trabajo.
2. Sistema de almacenamiento y manejo de materiales.
3. Sistemas de control computarizado.
4. Recursos humanos.

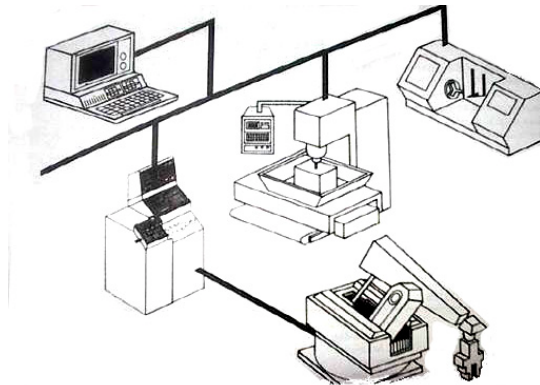


Figura 1.12. Componentes de un Sistema de Manufactura Flexible

**Clasificación de los SMF**

Los sistemas se clasifican por:

1. Número de máquinas
  - Celda de máquina sencilla ( SMC 1 )
  - Celda de manufactura flexible ( FMC 2,3)
  - Sistema de manufactura flexible (FMS 4)
2. Nivel de flexibilidad (FMC, FMS)
  - FMS dedicado.
  - FMS de flexible (FMS orden aleatorio)

### 1.7.3. **Justificación de su utilización**

La justificación de costos de un FMS puede subdividirse en los costos de adquisición y los costos de operación. Los costos de adquisición deben realizarse una sola vez, e incluyen la preparación del lugar físico, el costo del equipo, el diseño del sistema y la preparación inicial de los operadores. Los costos de operación son comparables a los costos de otros tipos de plantas e incluyen programación de uso, mantenimiento, reprogramación y actividades de control de calidad actual y bajo posibles nuevas normas. El valor de un FMS descansa en sus aplicaciones, y puede ser extendido u optimizado si un sistema así es adecuadamente integrado a maquinaria convencional, la cual constituye la corriente principal del ambiente manufacturero actual. Errores en la aplicación se producen en gran parte debido a la falta de visión económica, ya que para implementar el sistema debe tenerse claro cuáles son los objetivos finales. Redefinir los proyectos es permitido y fomentado, pero uno debe tener claro que ese tipo de redefiniciones significara mayores gastos.

La tendencia actual es a usar diseños más modulares, los cuales permitan a los fabricantes de máquinas herramientas tener algunos de los módulos básicos de funciones preconstruidos, o a usar piezas y subensambles más comunes, con el fin de disminuir los tiempos de entrega.

En este capítulo se hizo mención de los conceptos de óptimo estructural, el Proceso de diseño, Análisis de Elementos Finito, Optimización Estructural, Optimización Estructural Evolutiva (Por sus siglas en ingles ESO). También se definieron las bases de datos, y que es un Sistema de Manufactura Flexible, Conceptos involucrados para interacción e integración del diagrama que se propondrá en el capítulo 2.





## **2. Descripción de la propuesta para la integración e interacción del manejo de información, la optimización estructural, y los sistemas de manufactura flexible, para formular un producto óptima digital**

En el capítulo anterior se conocieron y describieron conceptos como el Proceso de Diseño, la Optimización Estructural, Bases de Datos y los Sistemas de Manufactura Flexible. Ahora en este capítulo se verá la importancia de integrar e interactuar con ellas.

Para conocer a qué se refiere este tipo de integración e interacción, a continuación se describen algunas técnicas y métodos que se han estudiado y aplicado con éxito en la realidad para desarrollar diseños e innovaciones, y que han dado pausa al autor para proponer un diagrama como guía para la integración e interacción del manejo de información, optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible para lograr un óptimo diseño digital en una temprana etapa del Proceso de Diseño en la Ingeniería, propuesto por el Consejo de Acreditación de la Ingeniería y Tecnología (ABET por sus siglas en inglés [1]). Resaltando la finalidad de enseñar y transmitir a los alumnos la importancia de integrar e interactuar con estas herramientas en el desarrollo del producto. Por lo que, cabe aclarar que la propuesta que se realiza en esta tesis está enfocada al proceso de diseño tradicional propuesto por ABET, y no para desarrollar un método o técnica que se enfoque a los nuevos desarrollos de diseño y planeación del producto que tienden a la manufactura inteligente, desarrollo que queda fuera del alcance de este trabajo, pero que podría retomarse en un estudio a futuro para generar nuevo conocimiento. También se puede enfatizar que si se aprende la aplicación de esta propuesta de este trabajo

de tesis, tarde que temprano, podrán entender y manejar con mayor facilidad las técnicas para desarrollar un producto innovador.

## **2.1 Técnicas y métodos para el desarrollo e innovación de nuevos productos en ingeniería**

Como señaló Peter Drucker (Drejer, (2002) [1]), el término innovación designa tanto un proceso como su resultado. Atendiendo a la definición recogida por la comisión Europea en "El libro Verde de la Innovación" (Comisión Europea 1995), la innovación es la transformación de una idea en un producto o servicio comercializable nuevo o mejorado, un procedimiento de fabricación o distribución operativo, nuevo o mejorado, o un método de proporcionar un servicio. Es por lo tanto una definición ligada a la primera de las acepciones, la de innovación como proceso. En este caso, una innovación se considera como tal cuando se ha introducido en el mercado.

En lo que respecta al estudio del proceso de innovación como un conjunto de tareas, no existe un modelo explicativo claro y definitivo sobre el camino que tiene lugar desde que surge una invención hasta que ésta alcanza el mercado. Todos los modelos recogidos en la literatura presentan carencias e interrogantes, (OECD, (1992) [2]), hasta el punto de que unos autores concluyen que hasta la fecha no se ha desarrollado un modelo del proceso de innovación generalizable (Forrest, (1991) [3] y Cooper, (1983) [4]), o incluso llegan a cuestionar el hecho mismo de intentar desarrollar un modelo universal del proceso de innovación.

Por otro lado el desarrollo de técnicas y métodos se han producido desde hace varias décadas conforme ha evolucionado los procesos de diseño y manufactura y ha sido primordial para el avance tecnológico. A continuación se describen algunos de ellos:

### **2.1.1. Diseño de producto automatizado mediante la integración de CAD y los procesos de optimización estructural**

En muchos casos, las técnicas de simulación tradicional no son suficientes para encontrar una coincidencia óptima entre el diseño del producto y el perfil de requisitos del producto.

Especial importancia se fija en el comportamiento mecánico de un producto, puesto que las propiedades mecánicas determinan su confiabilidad en la fase de uso y por lo tanto es el factor crítico para la calidad del producto. El método de los elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés) ha tenido gran aceptación en el análisis de las propiedades mecánicas de componentes (Bathe, Wilson, (1976) [5]). Este método ya se puede aplicar en muchos sistemas de CAD 3D, y continuará la tendencia hacia una integración completa. La optimización estructural que se ha ido desarrollando en recientes años también debe integrarse. Con la integración del CAD, FEA y optimización estructural, se pretende mejorar el diseño mecánico y acortar los tiempos de desarrollo.

En la figura 2.1 se muestra ciclo de integración del CAD-FEA-Optimización Estructural, iniciando en el primer paso con la creación del modelo geométrico por medio de CAD, en el paso dos se realiza un análisis de FEA, posteriormente en el paso tres se aplica la topología de optimización, para el paso cuatro se rediseña la geometría alisando el modelo sólido que se obtuvo de la optimización, ya en el paso cinco se aplica nuevamente el método FEA a la nueva geometría optimizada estructuralmente, y por último en el paso 6 se presentan los resultados quedando el componente listo para realizar el prototipo.

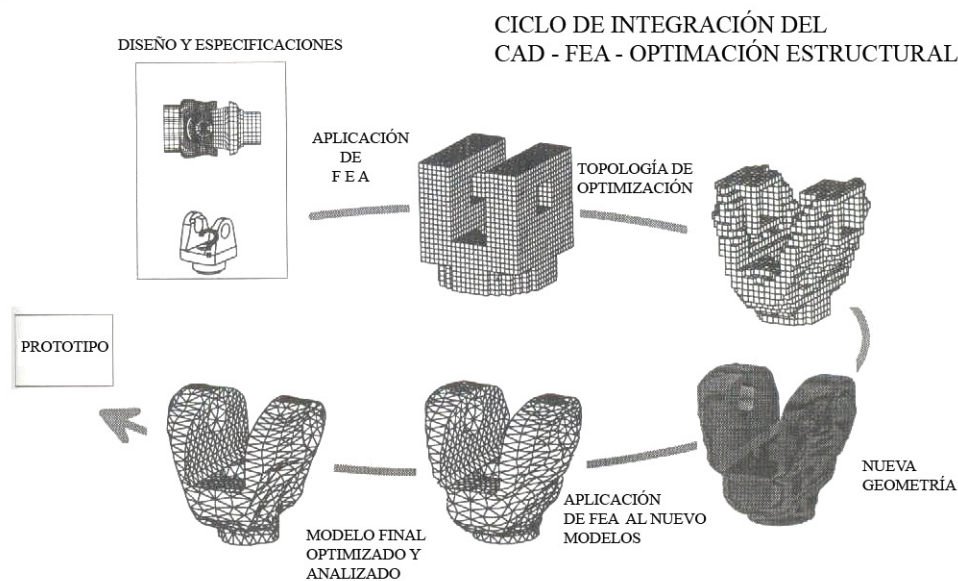


Figura 2.1. Ciclo de integración CAD-FEA-Optimización Estructural.

### **2.1.2. Del modelo 3D al prototipado**

El enfoque de ingeniería simultánea recibe iniciativas eficaces de prototipado rápido, que proporciona información importante abarcando la forma del producto y en paralelo funciones para el desarrollo sucesivo del proceso de diseño del producto y la producción. Los ciclos de iteración en el desarrollo de productos se acortan y pueden correr más rápido con base en prototipos cada vez más detallados. (Konig, Eversheim, Celi, Noken, (1993) [6], Wettbewerbsfaktor, Aachener, (1993) [7]).

El uso sistemático del prototipado rápido tiene una influencia decisiva en la filosofía de desarrollo. La producción del prototipo ya no es un obstáculo a superar en el camino a un producto final, sino una herramienta esencial.

Prototipos rápidos se utilizan no sólo para verificar datos de diseño, sino también para identificar defectos de diseño mucho antes de que se inicie la producción en serie.

Los procesos para la generación de prototipado rápido utilizados en la industria, son entre otros los siguientes:

Stereo lithografía ( photopolymer).

Laminado de objetos (papel, resinas).

Deposición de resina (termoplásticos).

Laser selectivo que sinteriza (metal , arena).

Ploteo de modelos 3D (termoplásticos).

Fundición (cerámicos, metal).

En la figura 2.2, se muestra el ciclo de integración del proceso de diseño y el prototipado rápido. Así mismo, se logra determinar el desarrollo del proceso de herramientas que se necesitarían para realizar la producción en serie.

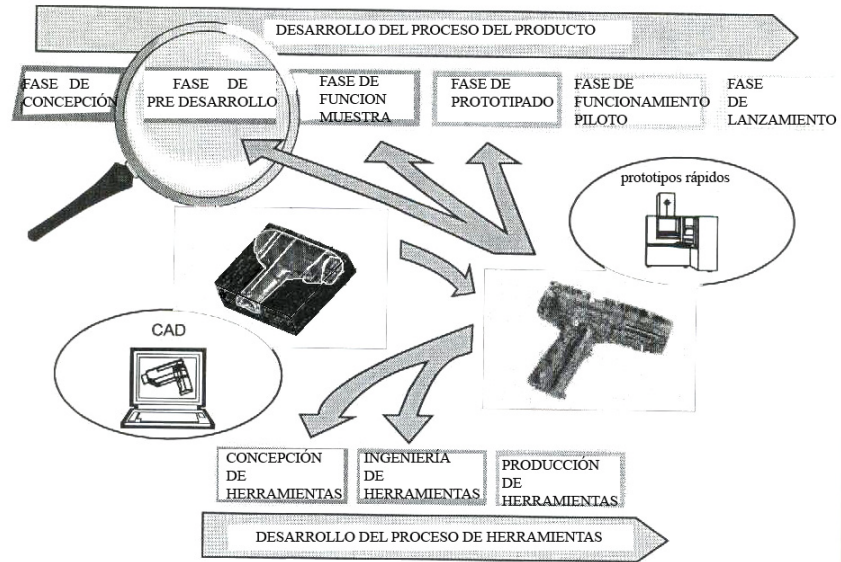


Figura 2.2. Ciclo del proceso de diseño y el prototipado rápido.

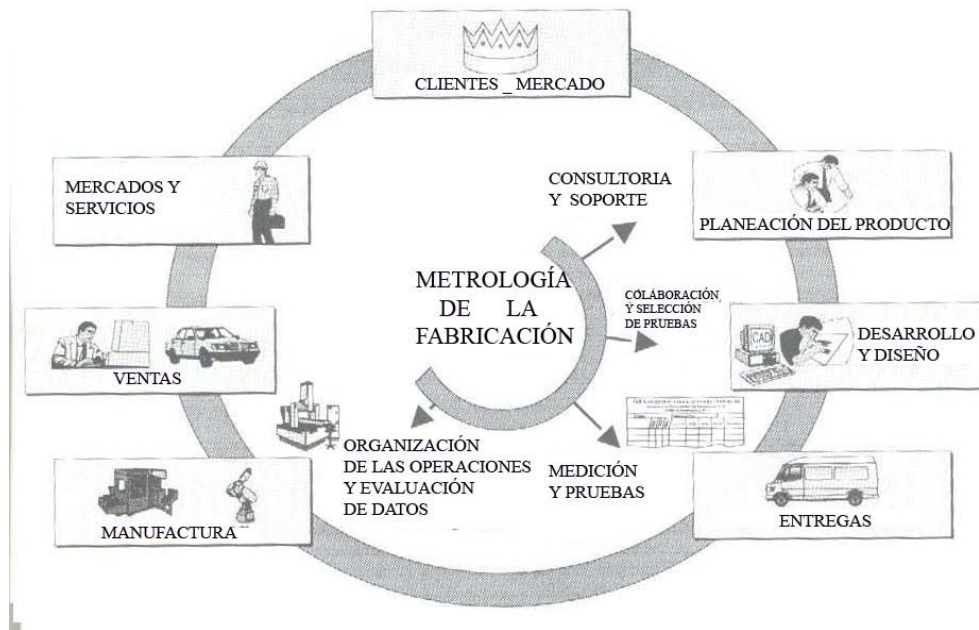
Referencia: Manufacturing Excellence in Global Markets. Integrating Rapid Prototyping in Product Development

### 2.1.3 Optimización potencial en metrología de la fabricación

Diseñar la metrología de fabricación se ha convertido en parte integrante del proceso de organización total del producto a nivel técnico como organizativo. Ya no puede seguir siendo un elemento aislado dentro de la cadena del proceso de producción, por ejemplo, incluso hoy en día, a menudo es practicada con la simple inspección de suministros entrantes o la inspección final. La Metrología de fabricación debería permitir desarrollar plenamente la capacidad preventiva para evitar el rechazo y convertir el presente estado del día como un factor de costo, a menudo favorables al usar una herramienta de optimización para la fabricación.

En este sentido, el punto en la metrología de fabricación es potenciar la optimización general para encontrar otra solución a la declaración del problema asignado técnicamente, así como, organizativo. Esto significa metrología de fabricación no ve su responsabilidad solo en las pruebas de características del producto estándar, desea participar activamente en

los pasos de los procesos de organización de producto, y contribuir a la garantía real en el funcionamiento de productos de alta calidad, así como en su producción económica. Para ello tiene los recursos de un espectro mucho mayor de posibilidades técnicas. En la figura 2.3, se muestra el ciclo de colaboración en la metrología de fabricación, como se mencionó en párrafos anterior, la metrología no solo establece las mediciones, pruebas y calidad, sino que colabora en el proceso total del producto, abarcando la manufactura y planeación, así como el desarrollo del diseño.



En la Figura 2.3 se muestra el ciclo de colaboración en la metrología de fabricación.  
Referencia: Manufacturing Excellence in Global Markets. Integration into the Product Origination Process.

#### 2.1.4. Sistemas abiertos en la fabricación

Sistema de información abierto es mucho más importante que el cerrado porque de él pueden depender otras plataformas del sistema, las cuales pueden necesitar códigos o información que están introducidas en el mismo. En pocas palabras el sistema abierto es preferencial en otros sistemas del sistema por completo.

El mercado de sistemas abiertos es totalmente potencial para todos los mercados participantes. Todos los socios, fabricantes de componentes, ingenieros mecánicos y usuarios finales, se beneficiarán de un empleo de sistemas abiertos.

Los más interesados en sistemas abiertos provienen de los usuarios finales y de los fabricantes de las máquinas. Estos elementos dan lugar a agregar transparencia en la compra de componentes. Aunque hoy no existen sistemas de cruce de fabricación en ingeniería de control, cada incremento de apertura va a asegurar al usuario un aumento futuro de decisión y seguridad operacional. Por esta razón, las normas existentes deben aplicarse consistentemente incluso si no ofrecen un nivel de perfección, porque la demanda para estandarizar los productos es también una garantía para un desarrollo continuo activo de la norma. Ejemplos han demostrado que los usuarios puedan prevalecer muy bien en su solicitud para el desarrollo y uso de estándares abiertos. Tal vez no sea el usuario individual, pero hay superposición de intereses que, cuando se combinan forma una fuerte demanda; requisito previo para comités de normalización y las organizaciones de usuarios. Los usuarios son retados a participar activamente en la elaboración de nuevas normas. Es un hecho importante que las normas no son simplemente el resultado de la evolución del mercado inevitable, pero son una cuestión de determinación de las partes involucradas.

Existen muchas oportunidades hoy para participar en la estandarización. Los comités de normalización no son la única manera. Proyectos de grupos europeos y nacionales como ISO Organization for Standardization ( Organización Internacional para la Normalización, por sus siglas en inglés) ofrecen a sus miembros una ganancia en experiencia y soluciones para las tareas actuales de problema además de los esfuerzos de la estandarización. Si alguien está interesado pero no tiene las capacidades necesarias para dicho compromiso, una membresía en asociaciones como la "Offene Steuerungssysteme e.V." (Asociación de control de sistemas abiertos) podría ser muy beneficiosa. La apertura revela nuevos horizontes, crea ideas para nuevas funcionalidades. Y la apertura no es una cuestión de precio. No hay duda que apertura generará más competencia que a su vez significa más variedad y una innovación más rápida con la caída de los precios. El fabricante controlador definitivamente, puede asegurar sus posibilidades de sobrevivir con la ayuda de sistemas abiertos incluso en tiempos de un mercado menguante. Finalmente: apertura es bien

recibida por aquellos que saben que tienen un producto de calidad. La experiencia ha demostrado que una empresa se beneficia de su propia regla de intercambio generoso: ofrecer al cliente más libertad y su decisión de compra se facilita. El cliente podría, en el improbable caso de que no está satisfecho, comprar el siguiente controlador o actualizar sin tener que preocuparse por esta transición - un argumento contundente para el vendedor que subraya la confidencialidad en su propio producto de otro fabricante.

¿Cómo abrir un sistema finalmente? Es cierto que esta pregunta sólo puede tener una respuesta para el caso individual. Cada fabricante tiene el grado de apertura que le deja suficiente espacio para futuros desarrollos. Sin duda, el cliente de hoy no se verá tentado a comprar demasiada franqueza porque el mercado no tiene una selección grande del producto para ofrecer. Fabricantes que no estén abrazando la apertura como una oportunidad de crecimiento, con el tiempo peligrará su propia libertad de desarrollo. Por otro lado, quien apoya la apertura de sistemas asegurará buenas oportunidades para él mismo y para la competencia internacional. La figura 2.4. muestra con claridad un ejemplo de sistema abierto relacionado con la industria de la computación.

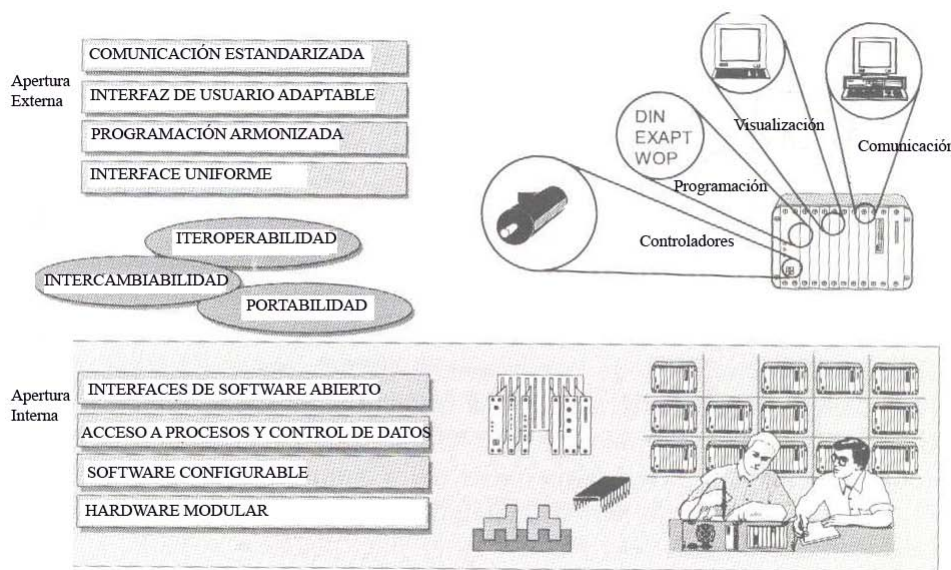


Figura 3.2. Aquí se muestra con claridad un ejemplo de sistema abierto relacionado con la industria de la computación. Referencia: Manufacturing Excellence in Global Markets. Openness-The New Marketing Slogan.



### **2.1.5. Gestión de datos del producto asistido por computadora**

Junto a la optimización y la aceleración de procesos individuales de desarrollo del producto, por ejemplo, simulación en 3D o prototipos, la capacidad de ejecutar procesos en paralelo ofrece un gran potencial para acortar el tiempo de desarrollo del producto. Sistemas de gestión de datos del producto (PDM por sus siglas en inglés) proporcionan el apoyo necesario. Los sistemas PDM son herramientas de software que permiten a todos los ingenieros involucrados el acceso eficiente del proceso de desarrollo a datos de diseño. Estos sistemas no sólo permiten el trabajo en equipo coordinado, sino proporcionan un conjunto de herramientas para el desarrollo simultáneo del producto. Los sistemas PDM modernos normalmente ofrecen funciones para - gestión, distribución y control de datos del producto, - sistemáticamente acceder a productos y proyectos de datos distribuidos y sistemas de hardware, - modelado de los procedimientos de liberación, - organizar las interfaces entre la base de datos PDM y otras aplicaciones. La figura. 2.5 ilustra el potencial de ahorro de tiempo de los sistemas PDM. Los usuarios determinan las relaciones que enlazan a los componentes individuales dentro de un subconjunto en base a atributos y relaciones paramétricas y el sistema PDM organiza y los administra. Es aquí que las ventajas de la asociación bidireccional desempeña su parte, de dar a cada objeto una estructura de datos único y dinámico. Todas las vistas y modelos de una parte o un subconjunto, ejemplo geometrías, modelos de FEA y CNC, simplemente representan diferentes aspectos de los datos de la base, es decir, resolución de conflictos e integración llevando a cabo en una sola perspectiva y cambios transfiriendo automáticamente a la coordenada el dato y por ende a todas las otras perspectivas del objeto ( Berardinis (1994) [8]).

La eficacia de este procedimiento depende, sin embargo, no sólo sobre las funciones de los sistemas CAD y de PDM, sino de factores organizativos. Producto y trabajo en equipo-orientada a la organización de la empresa es una condición previa fundamental para el uso de estos sistemas: igualmente vitales para el área.

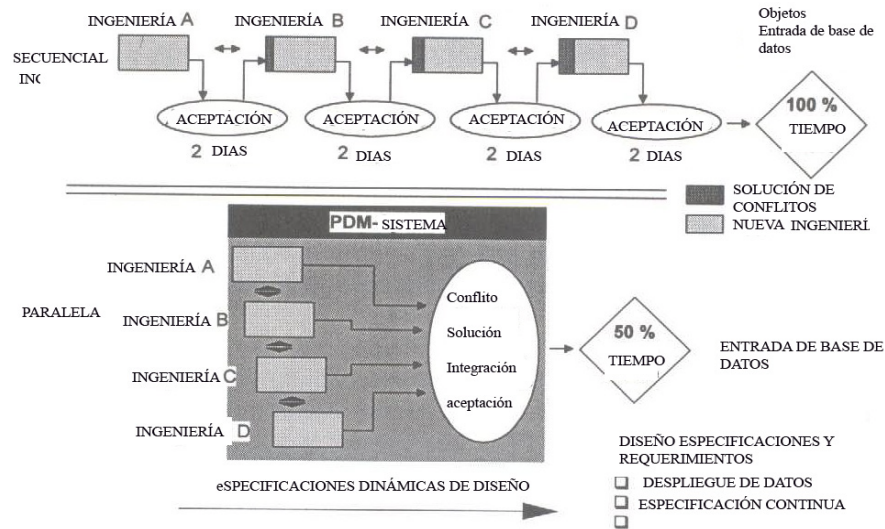


Fig. 6.21 Ilustra el potencial de ahorro de tiempo de los sistemas PDM. Referencia: Manufacturing Excellence in Global Markets. Computer-Aided Product Data Management.

### 2.1.6. Un modelo para el diseño de sistemas integrado por computadora: Identificación de necesidades de información de los tomadores de decisión

Un interés predominante en las investigaciones recientes de diseño ha sido el desarrollo de un modelo general del proceso de diseño para formular un marco de sistemas de soporte basados en tecnología de la información. Así mismo, para la fabricación de sistemas, sistemas de información avanzada se desarrollan para apoyar los procesos de planificación y control de producción que se encuentran en las organizaciones actuales. En este caso, el resultado ha sido la evolución de "Islas de automatización" llamada en la literatura CIM, la integración se discute ampliamente en términos de compatibilidad de bases de datos y estandarización de los protocolos de comunicación. Se trata, sin embargo, de los modelos tradicionales de trabajo proceso o tarea procedimientos que son adecuados para el diseño de sistemas de información avanzados tales como sistemas de manufactura integrada. La tecnología moderna y la rápida sucesión de diseños, materiales y procesos requieren sistemas flexibles; tareas y funciones de las personas no son estables, y la introducción de

herramientas avanzadas influirá en los procedimientos de trabajo, roles de las personas y las estructuras organizativas.

Diseño de sistemas de información integrados tampoco debería basarse en los procedimientos de trabajo normativo, ni las asignaciones de rol pasado. Diseño más bien debería apuntar a crear un envolvente de recursos dentro de la cual la gente puede adaptar sus estrategias de trabajo a las necesidades actuales y las preferencias personales sin perder el apoyo del sistema. Este requisito implica que para fines de diseño, modelos de procesos y procedimientos deben sustituirse por modelos estructurales de los medios y extremos en el ámbito de trabajo, de la decisión de tareas en general, términos independientes de dominio, junto con las estrategias de decisión efectiva y de los recursos humanos y preferencias.

### **2.1.7 La influencia de la tecnología de la información en el Desarrollo de Nuevos Productos, ( por sus siglas en inglés, NPD)**

Una gran influencia en el diseño y desarrollo de nuevos productos, así como el eficiente desempeño de la empresa es el de la información; y en particular el de su acceso, distribución y uso posterior por el equipo de diseño.

Sin embargo, la combinación de una amplia variedad de formatos utilizados en la entrega de esta información y la diversidad de lugares donde pueden obtenerse resulta en un serio problema que no puede resolverse fácilmente o simplemente continuar invirtiendo en tecnología de la información (por sus siglas en inglés IT).

Con la expansión de los mercados de ingeniería global de hoy, la ventaja competitiva es percibida por las empresas que pueden producir productos de alta calidad, variedad y rápido desarrollo de nuevos productos (por sus siglas en inglés, NPD) al mismo tiempo mantener producto de alto rendimiento y costes competitivos. Las presiones para lograr estas metas han dado lugar a una serie de alteraciones en la forma en que se organizan las empresas y en particular en sus actividades ingenieriles. A continuación se mencionan tres de las alteraciones que han permitido establecer las metas antes mencionadas.

En primer lugar, cada vez más empresas se centran principalmente en sus negocios y delegan la fabricación y diseño de piezas y subconjuntos importantes a los proveedores y subcontratistas. Estos acuerdos tienen lugar a escala mundial, incluso dentro de las empresas, diferentes sitios o unidades de negocio se utilizan generalmente como subcontratistas con subpresupuestos diferentes objetivos a cumplir.

En segundo lugar, la presión de reducir el desarrollo de productos escalas de tiempo ha provocado tradicionalmente la secuencia del procesos de diseño y fabricación siendo reemplazado por una actividad paralela en la que muchos especialistas realizan sus tareas. Esto se ha denominado comúnmente ingeniería concurrente o simultánea.

En tercer lugar, el diseño tradicional y el desarrollo de un producto es ahora más enfocado a la mejora incremental de técnicas y enfoques previamente establecidos.

Por otra parte, la Fundación de la diversidad del mercado global, de ingeniería concurrente y mejora continua, es la encargada de generar la información relacionada al mercado global. Por lo tanto, la información se ha convertido en un factor crucial y recurso clave dentro de una empresa. No quiere decir que es el más caro recurso en términos directos (aunque para algunos puede ser), sino para decir que es una estrategia bien definida para su gestión y que puede dar una competitividad a la empresa.

#### **2.1.8. Fabricación y sistemas de planificación de recursos**

Planificación de requerimientos de materiales (Por sus siglas en inglés, MRP o MRP I) es un sistema de planificación y control de inventario, con un enfoque comúnmente aceptado para la planificación de la reposición en las principales empresas ( Axsäter, 2006 [9]). Las herramientas de software basadas en MRP se aceptan fácilmente. La mayoría de los que toman las decisiones industriales están familiarizados con su uso. El aspecto práctico de MRP radica en el hecho de que esto se basa en reglas comprensibles, y proporciona apoyo cognitivo, así como un potente sistema de información para la toma de decisiones. Algunas presentaciones instructivas de este enfoque se pueden encontrar en (Baker (1993) [10], Zipkin (2000) [11], Tempelmeier (2006) [12], Dolgui y Proth (2010) [13]) y Graves (2011) [14]).

Sin embargo, MRP se basa en la suposición de que la demanda y tiempo de espera son deterministas. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de producción son estocásticos. Por ejemplo, un tiempo de espera aleatorio puede ser explicada por la variabilidad de la carga de proveedor real (cuando un proveedor suministra varios clientes, su carga depende del tiempo de todas las órdenes de los clientes, si la demanda total supera la capacidad de producción, la ventaja de que aumenta el tiempo). Hay muchos otros factores externos: crecientes aleatoriedad de los plazos de entrega, la producción subcontratada en el extranjero puede presentar algo de aleatoriedad a través de las perturbaciones de transporte, los pedidos podrían no llegar en la fecha prevista debido a la interrupción del trabajo o los retrasos atribuibles a la intemperie (Graves, 2011[14]). Factores aleatorios adicionales y eventos impredecibles tales como averías de la máquina, ausentismo, otras variaciones aleatorias de la capacidad pueden ocasionar variaciones en los plazos de entrega reales de la planificación ( Koh y Saad, (2003) [15] . Por lo tanto, como se mencionó anteriormente los supuestos deterministas de MRP pueden ser a menudo demasiado restrictiva.

Como se muestra en ( Whybark y Wiliams (1976) [16] , y Molinder (1997) [17], plazo de ejecución es un factor principal que prevé la producción y la aleatoriedad tiempo de espera afecta a pedir seriamente las políticas, niveles de inventario y clientes los niveles de servicio.

Afortunadamente, el enfoque de planificación de necesidades se puede adaptar a las incertidumbres buscando valores óptimos para sus parámetros ( Buzacott y Shanthikumar, (1994) [18]). Una elección adecuada de estos parámetros aumenta la eficacia de las técnicas de MRP. Por lo tanto, una de las cuestiones esenciales para las empresas en situaciones industriales, es MRP parametrización. Esto se conoce comúnmente MRP compensación bajo incertidumbres.

Hay varios parámetros MRP: plazo de ejecución previsto, stock de seguridad, alto dimensionamiento, horizonte de planificación, etc. Existen publicaciones extensas relativas a las existencias de seguridad de cálculo de la demanda al azar de los productos terminados. Por el contrario, algunos parámetros no parecen estar suficientemente examinados como, por ejemplo, tiempo de espera previsto (diferencias entre las fechas de vencimiento y la fecha de lanzamiento). Parametrización óptima de reglas, tamaño de lote más utilizados, es también una cuestión abierta.

En general, la mayoría de las publicaciones se dedican a la parametrización MRP bajo incertidumbres demandada de los clientes. Las simulaciones se utilizan con más frecuencia.

### **2.1.9. Cultura de la organización e implementación de Tecnologías de Manufactura Avanzada (por sus siglas en ingles, AMT)**

Usando los datos recogidos de una muestra de 97 plantas de fabricación, se examino cómo se relaciona la cultura organizacional con la implementación de tecnologías (AMT) de manufactura avanzada. Múltiples escalas de artículo desarrolladas y adaptadas de una amplia gama de fuentes en la literatura para medir las percepciones de los directivos de cultura organizacional, Los beneficios AMT y resultados de la aplicación muestran los beneficios operacionales, beneficios organizacionales, satisfacción y éxito competitivo. Los resultados sugieren que las características culturales, según lo definido por el modelo de valores competitivos, están significativamente relacionadas con los resultados de aplicación AMT.

Como se puede observar, todas y cada una de las técnicas y métodos enunciados con anterioridad, tiene el fin de integrar y mejorar el producto final, así como reducir tiempos y costos. También se hace mención a la importancia de creación de información y manejo de los datos. CAD, CAE, BD y CAM así como la logística y organización integradas de diferentes formas para alcanzar un beneficio.

Se podría seguir hablando de muchos métodos y técnicas, pero el interés del autor es analizar el Proceso de Diseño en la ingeniería propuesto por el Consejo de acreditación de la ingeniería y tecnología (ABET por sus siglas en ingles), e involucrar algunas de estas técnicas e integrarlas en una temprana etapa del diseño, con la finalidad de apoyar a los alumnos a entender la importancia que tiene la integración e interacción de áreas como el CAD, CAE. CAM, BD, Logística, Planeación y Organización, entre otras técnicas o herramientas , para obtener un producto óptimo digital.

## 2.1.10. Software PLM

**Administración del ciclo de vida del producto ( por sus siglas en inglés PLM )** (Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. (2014) [19]) se puede definir como una estrategia de información: crea una estructura de datos coherente al consolidar sistemas. También puede referirse a PLM como una estrategia empresarial: permite que las organizaciones globales funcionen como un solo equipo para diseñar, producir, soportar y retirar productos, mientras captura mejores prácticas y lecciones aprendidas en el camino. Siemens PLM Software, considera a PLM una estrategia de información, una estrategia empresarial y, por último, una estrategia de negocios transformadora. Considerado como un completo enfoque de innovación creado sobre el acceso de toda la empresa a un repositorio común de información y procesos de productos.

El Software de PLM permite a las compañías administrar el ciclo de vida completo de producto eficientemente y a bajo costo, desde la idea, el diseño y manufactura, hasta el servicio y retiro. Diseño asistido por computadora (CAD), Manufactura asistida por computadora (CAM), Ingeniería asistida por computadora (CAE), Administración de información de producto (PDM) y Manufactura Digital convergen a través de PLM.

PLM es único entre otras soluciones de software empresarial porque se centra en impulsar altos ingresos a partir de procesos repetibles. Mediante PLM, los productos son un camino a la innovación, el liderazgo de la industria y el alto crecimiento.

El Software de Administración del Ciclo de Vida Redefine el Negocio

**PLM le da poder a su negocio** para tomar decisiones unificadas e informadas en cada etapa del ciclo de vida del producto. Las soluciones PLM establecen una plataforma cohesionada para:

- Optimizar las relaciones durante el ciclo de vida y en las organizaciones.
- Maximizar el valor de la vigencia del portafolio de productos de su empresa.
- Configurar un sistema único de registros para soportar diversas necesidades de datos.

## **Productos de Siemens PLM Software**

Teamcenter es el software PLM más utilizado en el mundo. Teamcenter impulsa la innovación y mejora la productividad conectando gente a través de organizaciones globales de desarrollo y manufactura del producto con el conocimiento del producto y proceso que necesitan para ser exitosos.

NX ofrece la más amplia gama de aplicaciones integradas y completamente asociadas CAD/CAM/CAE de la industria. NX comprende un rango completo de procesos de desarrollo en el diseño del producto, manufactura y simulación, permitiendo a las compañías fomentar el uso de mejores prácticas al capturar y reutilizar conocimiento de producto y proceso.

Fibersim es una suite de software que soporta todas las metodologías únicas y complejas de diseño y manufactura necesarias para que realices ingeniería innovadora, productos y partes resistentes y ligeros hechos con materiales de composición avanzada.

Syncrofit es una familia de productos especializados para diseñar y manufacturar ensamblajes complejos y grandes estructuras aéreas. Te permite crear y administrar interfaces de ensamble y cientos de miles de elementos de fijación que se encuentran normalmente en un fuselaje.

Seat Design Environment (SDE) es software completamente integrado con los sistemas comerciales CAD 3D, para diseñar y manufacturar sistemas de asientos de transporte innovadores y componentes interiores.

LMS brinda un portafolio de software de simulación en mecatrónica, sistemas de prueba y servicios de ingeniería. Con soluciones de simulación de múltiples dominios y en mecatrónica, LMS soluciona retos complejos de ingeniería asociados con un sistema inteligente de diseño y modelado basado en sistemas de ingeniería.

Tecnomatix es el portafolio completo de soluciones de manufactura digital que brinda innovación al conectar todas las disciplinas de manufactura con la ingeniería de producto – desde el layout y diseño del proceso, simulación y validación de proceso, hasta la ejecución de manufactura.

Velocity Series es la familia completa de soluciones modulares pero aún integradas que abarcan PLM para el Mercado medio:



- Solid Edge con synchronous technology
- 3DSync
- Femap
- CAM Express

Componentes PLM permite a diversas empresas de manufactura compartir transparentemente información y datos con sus socios y proveedores, no importando las aplicaciones PLM utilizadas en las diferentes organizaciones.

- Parasolid
- D-Cubed
- Geolus Search
- JT Open
- PLM Vis
- PLM XML
- Rulestream Engineer-to-Order

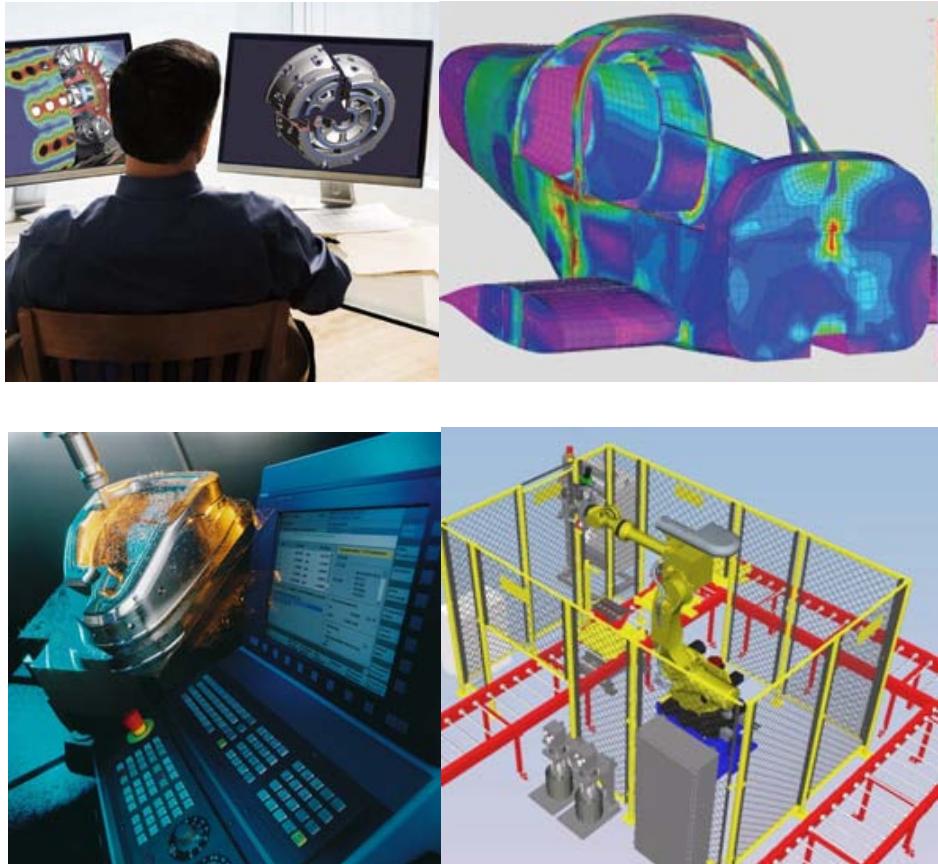


Fig. 6.22. Arriba a la izquierda se muestra un la aplicación de Solid Edge con synchronous technology, arriba a la derecha muestra un análisis de Femap, abajo a la izquierda se puede ver la aplicación de CAM Express, y a bajo a la derecha se observa un sistema de ensamblaje.

## **Misión de Siemens PLM**

La misión que lleva a Siemens PLM Software es trabajar colaborativamente con compañías que brindan soluciones abiertas que los ayudan a convertir más ideas en productos exitosos. Nuestras soluciones de administración de ciclo de vida del producto (PLM, por sus siglas en inglés) te pueden ayudar a tomar mejores decisiones que te lleven a mejores productos, maximizando el valor de tus productos a través de el ciclo de vida completo.

## **Visión de Siemens PLM**

Empresas en todas las industrias están enfocadas a tratar de crear el producto correcto, y crearlo de la manera correcta. Esta travesía se complica por un número de factores, incluyendo el incremento en la complejidad del producto, requerimientos regulatorios, y el desarrollo global con requerimientos locales. La cuestión crítica para las empresas actuales es: ¿Será la complejidad tu caída, o puedes transformarla en una ventaja competitiva?

Siemens PLM Software imagina un futuro con la información precisa disponible para aquellos que la necesiten, cuando la necesiten, y de manera que la puedan utilizar para tomar decisiones efectivas rápidamente. Estamos brindando en este futuro hoy nuestra visión de Alta-Definición PLM (HD-PLM). La visión HD-PLM está basada en 3 conceptos principales:

La pregunta “¿Será la complejidad tu caída, o la puedes transformar en una ventaja competitiva?” Ofrece dos posibilidades muy reales. HD-PLM te permite alcanzar la cima, prosperando en el ambiente actual al convertir los retos de complejidad en oportunidades para la satisfacción del cliente. Al brindar información inteligente en el momento adecuado, en el contexto correcto, y en el preciso nivel de detalle que cada persona necesita, HD-PLM puede ayudar a tu compañía a alcanzar un nuevo nivel de productividad y calidad.

### **2.1.11 ¿Qué es la Manufactura en Conjunto? o Collaborative Manufacturing. [20]**

09 de agosto 2011

Fabricación de Colaboración sólo ocurre cuando los sistemas MES / MOM (Sistemas de Ejecución de Manufactura) y los sistemas de gestión de operaciones de fabricación por sus

siglas en inglés) están verdaderamente integrados en el sistema (SMC) de gestión de cadena de suministro para apoyar los procesos de negocio de extremo a extremo a través de la gestión del cambio dinámico. Muchas empresas han aprendido que SMC no funciona sin el estado en tiempo real de las capacidades y la capacidad de la flota de la planta, así como el mismo nivel de información para el lado de la oferta para la flota de la planta. Entonces SMC es capaz de coordinar los procesos de negocio y el trabajo en el lado de la oferta, la demanda, la logística y el lado de la fabricación.

Sistemas MOM son el eje en torno al cual otros ERP, PLM, sistemas SCM giran. Con una arquitectura de MOM para controlar y optimizar los procesos de trabajo de la planta y proporcionar en tiempo real, datos de alta integridad en los algoritmos ERP, PLM y SMC. Estos sistemas de la empresa y los procesos de negocio que se apoyan son simplemente la toma de decisiones de alto costo con base en datos anticuados o incorrectos sobre el estado de los pedidos, las capacidades de las plantas y la capacidad. Sin sistemas de MOM, estas otras aplicaciones dentro del paisaje de fabricación operan a ciegas o, como mucho, sólo tienen información obsoleta para trabajar.

Esta importancia de los sistemas de MOM en el entorno de TI de fabricación indica la complejidad de las cuestiones y de los procesos que deben ser coordinados desde localizado KPA / KPI. Los proyectos de mejora relacionados con la fabricación de Colaboración y conducen a óptimos localizados que pueden entrar en conflicto con la estrategia y los objetivos o las metas de otros procesos de la cadena de valor de la empresa. Manufactura en Conjunto debe conducir para caracterizar y reducir los conflictos entre los departamentos o procesos.

Comentario de Charlie Gifford:

Hay tres dominios para alinear continuamente cuando se mira en una empresa de fabricación:

1. Cumplimiento de la orden en el lado de la demanda
2. Movimiento de material en el lado de la oferta
3. Planificación y ejecución de los procesos de trabajo de la planta.

Los sistemas y sus procesos de negocio soportados que viven en cada dominio necesitan una infraestructura de colaboración para vincular los sistemas que lo componen. La gente siempre ha mirado a los sistemas para estos dominios usando un modelo de dos dimensiones. El modelo de dos dimensiones no representa las relaciones y dependencias complejas entre las aplicaciones y los procesos de negocio y procesos de trabajo que están apoyando a una empresa manufacturera. En consecuencia, los 3 dominios verdaderamente inter-operan a través de un modelo en 3D, donde los sistemas MES / MOM realmente apoyan los procesos de negocio de 1D) PLM desde el diseño hasta la atención al cliente, 2D) ERP de la venta de la producción, y 3D) SCM a través de los 3 dominios.

En cumplimiento de la orden de dominio:

- 1) el requisito de la demanda para los conflictos de flexibilidad, con el lado mfg necesidad de la estabilidad del proceso y el mínimo de productos de conmutación.
- 2) Además, el requisito de la demanda de los niveles de stock adecuados conflicto con el lado mfg necesidad de niveles de stock mínimos y máximos de stock gira.

En el dominio movimiento de material:

- 1) necesitará el lado de la oferta para los proveedores y los proveedores 3PL tener conflicto largo plazos de entrega con la necesidad de compras de lado el fabricante para obtener la máxima flexibilidad.
- 2) la necesidad del lado de la oferta de materias primas de almacén para llevar a valores mínimos y máximos valores se convierte en conflicto con la necesidad del mfg tener stock máximo, para no quedarse sin materias primas.

En la programación detallada de Producción de Planta y los procesos de trabajo de dominio, el requisito de la demanda para los conflictos de flexibilidad de horario con la necesidad del lado mfg para la estabilidad del proceso y de cambio de producto mínimo. El requisito de mfg adecuada conflicto niveles de materias primas de valores con la necesidad de la demanda de los niveles de stock mínimos y máximos de stock gira. La necesidad para el almacén de producto final para llevar a valores mínimos y máximos valores se convierte en conflicto con la necesidad de ventas "para tener el máximo disponible El producto final, para no agotarse.

Comentarios / Respuesta de Rino Civitarese:

Manufactura en Conjunto es la cadena de suministro "control de procesos", donde se recoge la inteligencia, el análisis se aplican, y las decisiones estratégicas se basan en una alta integridad de datos. Los procesos de negocio 3D dentro de la empresa tienen que ser optimizado para reducir el tiempo de ciclo para el inventario de flujo, flujo de información y el flujo de efectivo a efectivo. El más rápido de estos procesos de negocio 3D fluyen, el más lucrativo y rica en efectivo el negocio será. Si la información no está disponible en tiempo real, que se ralentizará tanto los procesos de inventario y de flujo de efectivo. Si la información es inexacta (mala integridad de los datos), se reducirá la fiabilidad de los procesos y frenar los flujos. Si la factura final es inexacta, incluso si los productos han sido entregados a tiempo de acuerdo al calendario, el ciclo de efectivo a efectivo no se reduce a medida que se realizarán consultas, los créditos aprobados y pasaron y sólo entonces se producirá el pago. La velocidad y la precisión es por lo tanto fundamental para Manufactura en Conjunto.

#### 2.1.12 ¿Qué es la fabricación aditiva? [21]



Fabricación aditiva (AM) es un nombre apropiado para describir las tecnologías que se basan los objetos 3D por agregando capa tras capa de material, si el material es de plástico, metal, concreto o en un día ..... tejido humano.

Común a AM tecnologías es el uso de un ordenador, el software de modelado 3D (diseño asistido por ordenador o CAD), equipo de la máquina y el material de estratificación. Una vez que se produce un bosquejo CAD, el equipo AM lee datos del archivo CAD y pone bajadas o agrega capas sucesivas de polvo, material de lámina de líquido u otro, en una capa de la moda-upon-capa para la fabricación de un objeto 3D.

El término AM abarca muchas tecnologías incluyendo subconjuntos como impresión 3D, prototipado rápido (RP), Direct Manufacturing digital (DDM), de fabricación por capas y la fabricación aditiva.

Aplicación AM no tiene límites. El uso temprano de AM en forma de Rapid Prototyping se centró en modelos de visualización de preproducción. Más recientemente, el AM se utiliza para la fabricación de productos de uso final en los aviones, las restauraciones dentales, implantes médicos, automóviles, e incluso los productos de moda.

Mientras que la adición de enfoque de capa-upon-capa es simple, hay muchas aplicaciones de la tecnología AM con grados de sofisticación para satisfacer diversas necesidades, incluyendo:

- + Una herramienta de visualización en el diseño
- + Un medio para crear productos altamente personalizados para consumidores y profesionales
- + Como herramientas industriales
- + Para producir pequeños lotes de piezas de producción
- + En un futuro .... producción de órganos humanos

En el MIT, donde se inventó la tecnología, los proyectos abundan y se apoya a una gama de aplicaciones de visión de futuro de la multi-estructura de hormigón, a las máquinas que pueden construir máquinas; mientras que el trabajo en Contour Crafting soporta estructuras para las personas para vivir y trabajar.

Algunos imaginan hoy como un complemento a la fabricación sustractiva fundacional (como la eliminación de material de perforación fuera de materiales) y en menor grado de formación (como la forja). Independientemente, AM puede ofrecer a los consumidores y profesionales por igual, la accesibilidad a crear, personalizar y / o reparar el producto, y en el proceso, redefinir la tecnología de producción actual.

Ya sea simple o sofisticado, AM de hecho, es increíble y mejor descrito en la adición de la capa-por-capas, ya sea en plástico, metal, hormigón o un día ... el tejido humano ".

Ejemplos de fabricación aditiva (AM)

+ SLA

Tecnología de muy alta calidad que utiliza la tecnología láser para curar la capa-por-capas de resina de fotopolímero (polímero que cambia de propiedades cuando se expone a la luz). La acumulación se produce en un charco de resina. Un haz de láser, dirigido en la piscina de resina, traza el patrón de sección transversal del modelo para esa capa particular y la cura. Durante el ciclo de acumulación, la plataforma en la que se vuelve a colocar la acumulación, bajando por una sola capa de espesor. El proceso se repite hasta que se haya completado la construcción o el modelo y fascinante de ver. Material especializado puede ser necesario añadir soporte para algunas características de modelos. Los modelos pueden ser mecanizados y se utilizan como patrones para el moldeo por inyección, termoformado u otros procesos de fundición.

+ FDM

Orientada proceso que implica el uso de termoplástico (polímero que cambia de un líquido a la aplicación de calor y solidifica a un sólido cuando se enfrían) materiales inyectados a través de boquillas de indexación en una plataforma. Las boquillas trazan el patrón de sección transversal para cada capa en particular con el material termoplástico de endurecimiento antes de la aplicación de la siguiente capa. El proceso se repite hasta que se haya completado la construcción o el modelo y fascinante de ver. Material especializado puede ser necesario añadir soporte para algunas características de modelos. Similares a SLA, los modelos se pueden mecanizar o se utilizan como patrones. Muy fácil de usar y fresco.

+ MJM

Multi-Jet El modelado es similar a una impresora de inyección de tinta en el que una cabeza, capaz de transportar de ida y vuelta (3 dimensiones x, y, z)) incorpora cientos de pequeños aviones para aplicar una capa de material de termopolímero, capa por capa .

3 DP

Esto implica la construcción de un modelo en un recipiente lleno de polvo de material ya sea almidón o yeso basado. Un cabezal de la impresora de inyección de tinta lanzaderas se

aplica una pequeña cantidad de aglutinante para formar una capa. Después de la aplicación del aglutinante, una nueva capa de polvo es barrida sobre la capa previa con la aplicación de más aglutinante. El proceso se repite hasta que el modelo se ha completado. Como el modelo se apoya en polvo suelto no hay necesidad de apoyo. Además, este es el único proceso que se basa en los colores.

+ SLS

Algo así como la tecnología SLA sinterización selectiva por láser (SLS) utiliza un láser de alta potencia para fundir pequeñas partículas de plástico, metal, cerámica o vidrio. Durante el ciclo de acumulación, la plataforma en la que se vuelve a colocar la acumulación, bajando por una sola capa de espesor. El proceso se repite hasta que se haya completado la construcción o modelo. A diferencia de la tecnología de SLA, no se necesita material de apoyo como la acumulación se apoya en el material sinterizado.

### **2.1.13. Identificación de la necesidad**

¿Qué pasaría si en el desarrollo de algunos productos siguiera estrictamente el flujo del diagrama del proceso de diseño propuesto por ABET (Consejo de acreditación de la ingeniería por sus siglas en inglés) (figura 2.7)? posiblemente un error o complicación en la manufactura no permitiría regresar previamente para corregir, lo que posiblemente se tendría que comenzar desde cero. También, se puede observar que en el diagrama propuesto por ABET, el análisis y el manejo de información del producto no interactúan al mismo tiempo, si no que el manejo de información se da por hecho en la creación del diseño. Esta área de suma importancia "manejo de la información" toma una gran relevancia en el proceso de análisis y manufactura, pero al no presentarla dentro del diagrama de flujo, se omite y puede producir errores durante el proceso, acarreando enormes consecuencias como: el no hablar el mismo lenguaje ingenieril, pérdida de tiempo, distorsión de la información, pérdida de la información, trabajar doblemente, etc. Con lo que el resultado final podría ser desde, elevados costos, y malos productos.



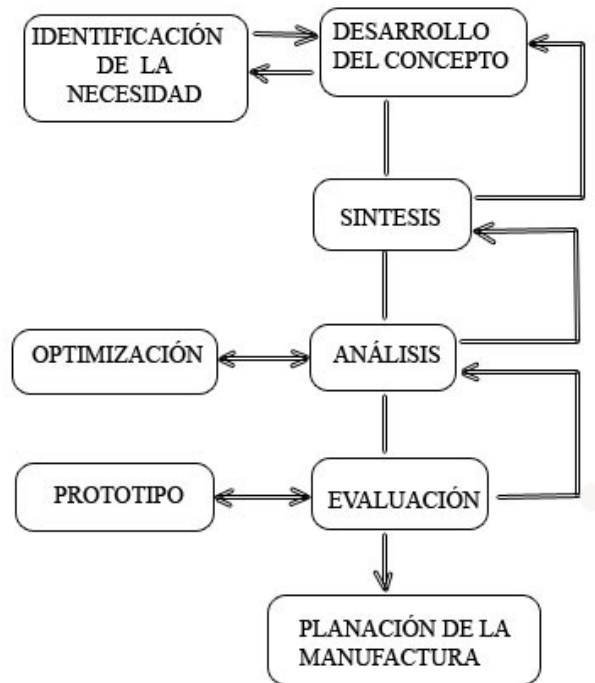


Figura 2.7. Esquema del proceso de diseño en la Ingeniería ABEAT. (Consejo de acreditación de la ingeniería por sus siglas en inglés)

### Una respuesta a esta inquietud:

En la actualidad esto no ocurre así, ya que con razón se puede argumentar que el diseño no es un proceso secuencial ordenado como se muestra en la figura 2.7. Hoy, los equipos de desarrollo de producto tienen miembros multidisciplinarios, que trabajan simultáneamente sobre varios aspectos del diseño sin ser totalmente restringida por cualquier acercamiento secuencial. Así el objetivo en esta parte estará en el análisis de ingeniería y el diseño concurrente.

#### 2.1.14 Proponiendo una posible solución a la identificación de la necesidad

Por qué no ayudar a hacer más claro el diagrama de la figura 2.7., para que se interactúe desde un principio el manejo de la información, el análisis, y la manufactura, así se podría establecer un mejor plan de trabajo para el proceso de diseño. Con la ayuda de la siguiente propuesta de diagrama de la figura 2.8, de interacción entre el manejo de la información, el análisis, y la manufactura, como guía al proceso de diseño, se logra tener dos inmediatas

ventajas. Primero el proceso es mucho más claro e interactivo, acelerando así el proceso de diseño. El segundo, el diseño es más directamente derivado de los principios subyacentes de los distintos análisis y bases de datos, de tal forma que lo hace más dinámico e interactivo.

La idea principal de este diagrama propuesto es, simplificar, generar y obtener los elementos y criterios necesarios para llegar a un diseño óptimo, a través de la interacción de la información, análisis y la manufactura.

Como se puede observar en la figura 2.8, en el diagrama propuesto la manufactura es parte esencial para fabricar o producir el producto diseñado en CAD y CAE, así como el manejo de la información, por lo que, las tres áreas, que son la de manejo de la información, diseño, y manufactura, tienen una misma importancia dentro de este diagrama propuesto, ya que, se integraran e interactuaran entre sí para mejorar el producto y obtener un óptimo diseño digital. Esto aunado en el proceso de diseño, forma una cadena dentro del desarrollo del producto que se traduce en la reducción de costos, tiempos, y mejora en la calidad del producto.

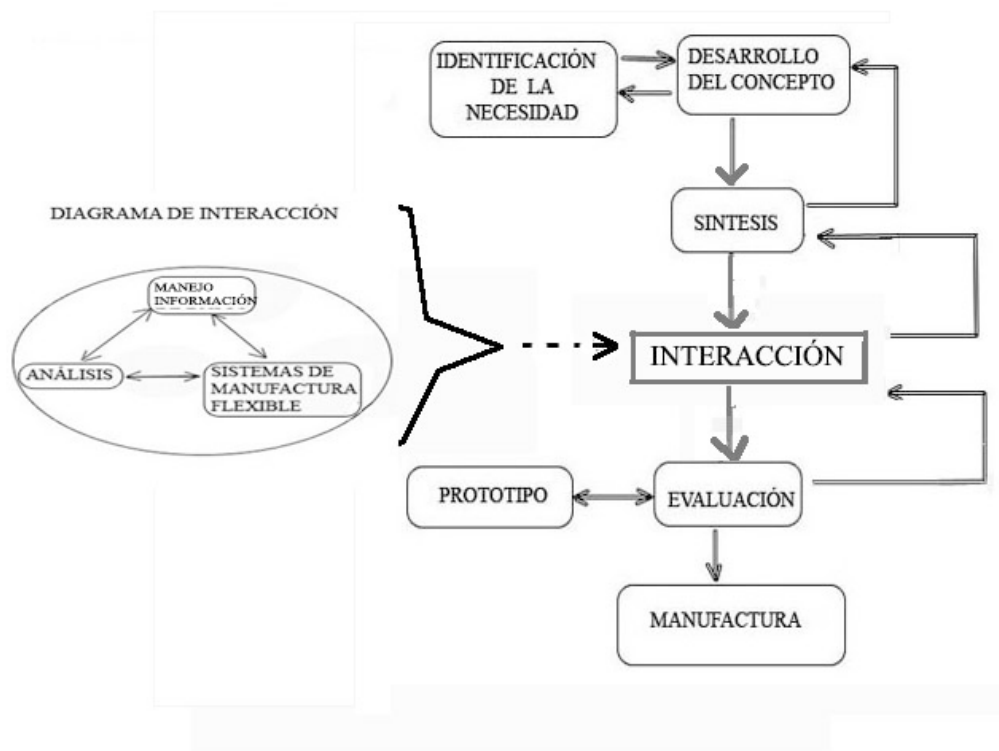


Figura 2.8. Fase de interacción dentro del proceso de diseño.

¿Cómo es que estas áreas aportan su productividad al proceso del diseño?

Dentro del área de análisis, con el afán de cubrir la demanda del mercado y obtener mejores productos resistentes y livianos se buscan nuevos métodos, herramientas y técnicas para encontrar la forma óptima de la pieza. Es por eso que la integración de la optimización estructural en la cadena del proceso de diseño como herramienta ya es parte esencial; anteriormente este era cubierto con el análisis de elementos finitos (FEA). Hoy en día existen diversos algoritmos para realizar esta tarea, desde el más simple, para realizar análisis en 2D como el software ESO hasta Hyper Works, uno de los software más completos para el análisis en 3D.

También, una característica importante que se debe tener para aplicar el diagrama de interacción (figura 2.8) es que el diseñador tenga conocimientos previos, sobre todo en la fabricación o manufactura de productos, esto permitirá que el diseñador en la etapa de análisis por medio de la Optimización Estructural tome mejores decisiones, más rápidas y correctas, ya que con sus conocimientos podrá saber en que momento parar el ciclo de optimización para obtener una forma optima que pueda ser fabricada o manufactura sin dificultad, y así evitar llegar a optimizaciones no factibles de realizar.

Por otro lado, mientras que el incluir la manufactura flexible dentro del proceso de diseño, se podrá tener una visión más amplia de configurar el proceso para la fabricación del componente, así como evaluar, su costo, tiempo y producción, ya que al tener una herramienta de apoyo como un simulador de procesos, éste permitirá realizar una serie de iteraciones hasta lograr un óptimo de producción cuantificando resultados de productividad, costos y tiempos.

También, al lograr la interacción del manejo de la información del producto, se obtendrán mejores resultados en el producto teniéndose las siguientes ventajas:

- Información histórica o estadísticas para la elaboración de un producto.
- Producción de piezas más resistentes y livianas.
- Propuesta de sistemas de manufactura flexible para la elaboración de productos.
- Reducción de costos, tiempos, materiales y flexibilidad en la manufactura.

Con estas ventajas podemos lograr obtener un óptimo estructural de alguna pieza, componente o máquina que cumpla con los requerimientos del diseño mecánico. Así mismo, la información proporcionada por la base de datos del producto logrará mantener un histórico de la información para mejorar el producto o diseñar nuevos y mejores. Dentro de la manufactura flexible se puede interactuar en la propuesta de diferentes sistemas de manufactura flexible que permita la rápida fabricación de los componentes.

Como se puede apreciar, la integración e iteración de estas tres áreas dentro de la propuesta presentada dentro de este trabajo de tesis, son de igual de importantes dentro del diagrama propuesto para el proceso de diseño. Por lo que, para obtener buenos resultados, es necesario interactuar dentro de las tres áreas. En el capítulo 3, se muestra la aplicación de la integración del manejo de información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible en el proceso del diseño, para obtener un diseño óptimo digital.

## 3. APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE INTEGRACIÓN E INTERACCIÓN DE BASES DE DATOS, OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE EN EL PROCESO DE DISEÑO, PARA LOGRAR UN ÓPTIMO DISEÑO DIGITAL

3.1 Este trabajo intenta aportar una serie de elementos, y a la vez, ser una guía para crear un puente entre las bases de datos, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible dentro del proceso de diseño, permitiendo al diseñador tomar mejores decisiones a la hora de optimizar y elegir el sistema de manufactura más adecuado para la producción de componentes mecánicos.

Para ello, se describe a continuación como se aplica la propuesta del diagrama de integración e interacción (figura 3.1) al diseño de piezas mecánicas de vehículos prototipo.

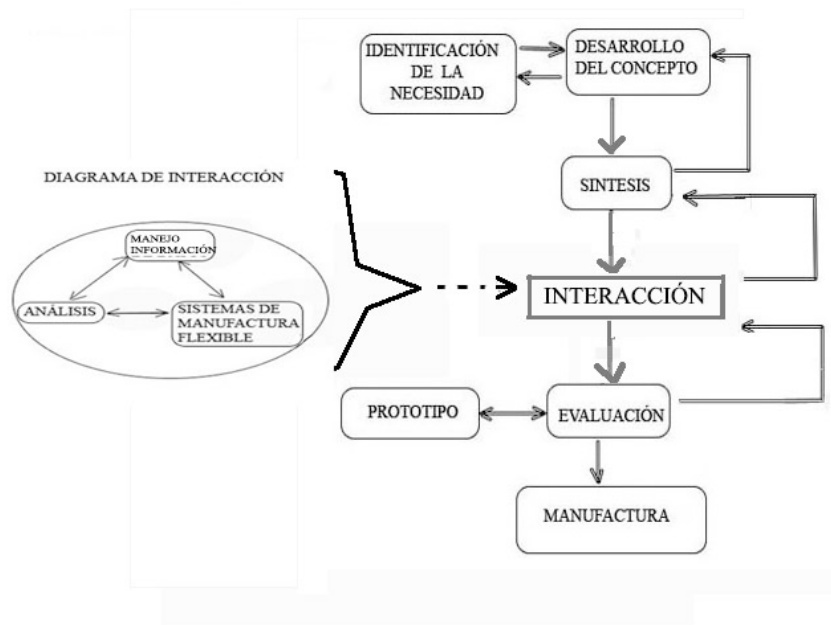


Figura 3.1. Diagrama de interacción propuesto.

La aplicación del diagrama de interacción (figura 3.1) Inicia con la identificación de la necesidad, donde se especifican los requerimientos de diseño. Posteriormente pasa a la etapa de desarrollo del concepto o lluvia de ideas, con la finalidad de partir de una serie de propuestas que permitan identificar más a detalle las diferentes variables como: materiales, dimensiones, cargas de trabajo, etc. Enseguida se realiza la síntesis. Teniendo la propuesta, esta debe ser identificada en diferentes sistemas, componentes, mecanismos o piezas que conformarán el diseño y que en conjunto deberán satisfacer el producto final. Para ello, se deben de indicar los componentes en forma y tamaño que compondrán el diseño, para que en el siguiente paso se formule la interacción entre el análisis, bases de datos y los sistemas de manufactura flexible.

En esta etapa de interacción, la propuesta o propuestas tendrán que ser tratadas de la siguiente forma. En primer lugar se debe de crear una tabla de datos inicial donde se colocan todas las variables iniciales, así como propiedades de los materiales, condiciones de trabajo, cargas y las cantidades a producir, herramientas para estaciones de trabajo empleadas en los sistemas de manufactura flexible, entre otros elementos. Esta tabla se relacionara con otras tablas de datos que en su conjunto constituirán la base de datos del proyecto,

En segundo lugar, se procede a realizar una serie de análisis de optimización estructural con la ayuda de la interacción de la base de datos. Donde se podrá consultar los diferentes datos necesarios para realizar el análisis estructural, datos como material a analizar, dimensiones, cargas y propiedades entre otros parámetros, Al finalizar las iteraciones dentro del análisis estructural se obtiene la posible solución optimizada, este resultado se almacena en la tabla de resultados de la base de datos. Posteriormente en un tercer paso, hay que realizar una serie de propuestas de los diferentes sistemas de manufactura flexible que deberán utilizarse para su producción y proceder a hacer simulaciones con el software Promodel para reducir tiempos, trayectorias y movimientos. Para ello, se necesita realizar la interacción de la base de datos para que se tome la información necesaria como: herramientas, procesos, estaciones de trabajo, tipo de bandas de transportación y manipuladores con que se cuenta para realizar la simulación. Al tener los resultados de la simulación de manufactura, estos datos se integrarán a la base de datos. Si dentro de la simulación de la manufactura hay

algún problema como: complejidad de herramientas a utilizar o geometrías sumamente complejas que no se puedan desarrollar con las estaciones de trabajo con las que se cuenta, se procederá a realizar un nuevo análisis de optimización, y posteriormente se realiza nuevamente el análisis de manufactura, este ciclo se repite hasta obtener una solución óptima, de acuerdo a los recursos con que se cuenten. Una vez obtenida la solución más óptima o pegada a la solución se procede a almacenar los resultados en la tabla de análisis de resultados, correspondiente a la base de datos del proyecto.

Como se puede observar, dentro de esta etapa del diseño la aplicación del diagrama de integración e interacción propuesto, permite la flexibilidad de interactuar en una forma cíclica entre las tres áreas involucradas. Agilizando la creatividad y la planeación para desarrollar un producto virtual.

Cabe destacar que esta etapa de integración e interacción entre las áreas involucradas, permitirá mejorar el desarrollo del producto, ya que el ciclo de interacción mostrado en la figura 3.1, obliga al usuario a utilizar un análisis estructural, para obtener la mejor forma y reducción de peso, así mismo, a través del análisis de simulación sistemas de manufactura flexible se desarrollan diferentes propuestas que permiten visualizar y obtener los mejores tiempos y movimientos para producir el producto. Todo esto aunado a que se debe de generar una serie de tablas de información relacionadas con el producto y que constituirán la base de datos. Por lo tanto, este análisis mas exhaustivo da la oportunidad al diseñador de interactuar con tres áreas de suma importancia en una muy temprana etapa del diseño.

Finalizando esta etapa se logra obtener un producto optimo virtual, con el cual se puede asumir un avance importante en el desarrollo del producto, ya que al validar el estudio virtualmente antes de su producción física, permitirá al diseñador tomar mejores decisiones y ahorrar tiempos y costos, sobre todo al implementar en esta etapa un análisis de sistemas de manufactura flexible que se necesitará para su producción.

Posteriormente siguiendo el proceso del diseño, se procede a realizar una evaluación de la información generada y el diseño virtual para validarlo físicamente con un prototipo o decidir la producción física del producto.

Los análisis que se describen adelante, tienen como finalidad observar la aplicación de la optimización estructural a diferentes componentes automotrices, partiendo de la interacción de bases de datos del componente a analizar y el sistema de manufactura flexible más adecuado que permita desarrollar su producción, buscando reducir costos, tiempos, y obtener una mejor propuesta del producto. Todo esto con un estudio de factibilidad virtual.

### 3.1.1 Descripción del primer análisis de estudio

Para este primer Análisis se tiene. Un vehículo de pista que alcanza velocidades por arriba de 120 Km./hr, y es impulsado por un motor con una cilindrada no superior a los 600 cm<sup>3</sup> y cuenta con un chasis principal de acero, el peso vehicular oscila alrededor de los 320 Kg.

Algunas de las fuerzas a que estuvo sujeto dicho vehículo durante su desempeño, son representadas en la figura 3.2.

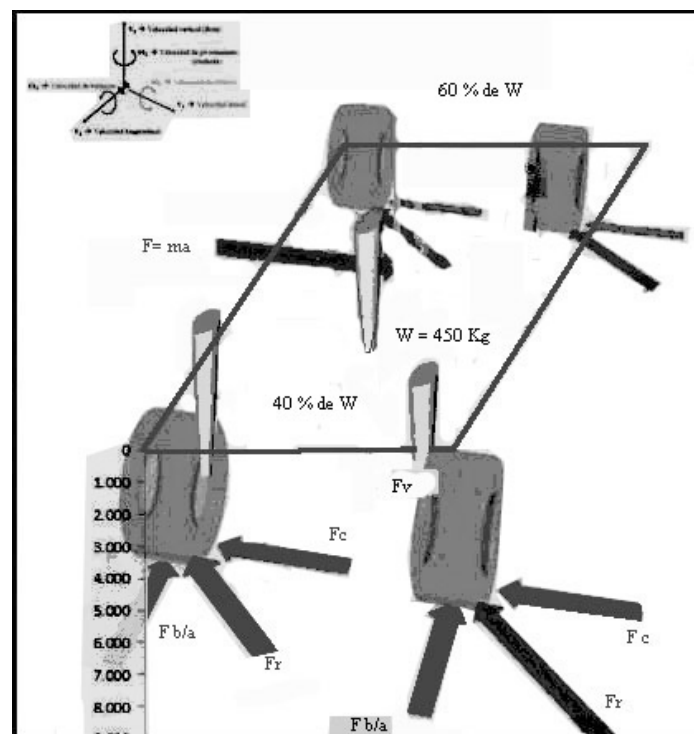


Figura 3.2 Fuerzas implicadas en el vehículo prototipo de pista.



Dentro de este primer análisis se estudió el poste de la suspensión delantera del vehículo de pista. Se desarrolló un análisis estructural, y la factibilidad de producirlo en 8000 piezas al año con un costo de venta de 160 dólares, así mismo se cumplió con los siguientes objetivos particulares:

1. Se generaron las siguientes tablas en Excel.
  - A) Datos generales
  - B) Propiedades de materiales
  - C) Especificaciones de diseño
  - D) Análisis de resultados
  - E) Sistemas de Manufactura Flexible
  - F) Costos.
2. Se calculó la distribución de los esfuerzos mediante una simulación de elemento finito.
3. Se redujo la concentración de esfuerzos mínimos aplicando la optimización basada en ESO.
4. Posteriormente se reanalizó y compararon los resultados geométricos antes y después de la optimización, para lograr la optimización del volumen.
5. También se logró interactuar con la base de datos y los sistemas de manufactura flexible para su posible producción.
6. Se logró obtener la formulación de las ventajas obtenidas con este estudio.

### **3.1.2 Desarrollo del análisis**

#### **1. Creación de las tablas .**

En esta etapa se inicio la creación de diferentes tablas que contienen información de datos como: datos generales del producto, propiedades del material, especificaciones de diseño, costos, sistemas de manufactura flexible, etc., implicadas desde la identificación del problema hasta la obtención de resultados. Por lo que, toda la información se acumuló

durante todo el desarrollo del análisis, así mismo, esta información fue utilizándose interactivamente en el proceso del diseño.

Con la ayuda de tablas de Excel y Access, se realizó esta tarea ardua e importante para generar la gestión de datos.

En La Base de datos del producto contiene la siguiente información (figura 3.3):

#### **BASE DE DATOS DEL PRODUCTO**

<b>DATOS GENERALES</b>
<b>MATERIAL</b>
<b>ANALISIS</b>
<b>MANUFACTURA</b>
<b>COSTOS</b>



Figura 3.3 Se muestra la interfaz de la base de datos del producto.

Cada uno de estos apartados le corresponderá un despliegue de información que puede contener los siguientes datos:

Nombre del producto.

Material.

Cantidad de material a utilizar.

Costo unitario del material.

Especificaciones de diseño.

Problemas que se han reportado con piezas similares.

Dificultad para producirla.

Costo comercial.

Costo de manufactura.

Tipos de maquinas de CNC con que se cuenta.

Herramientas en almacén.

Costos de mano de obra.

Tiempo de fabricación.

Cantidad de procesos.

Donde la lista crecerá dependiendo de una buena recopilación de datos y variables que se quiera manejar, quedando por entendido que entre más información se tenga, mejor será el producto diseñado.

## 2. Cálculo de distribución de los esfuerzos mediante una simulación de elemento finito

### Secuencia para realizar el análisis por FEA:

- Modelar la estructura geométrica de la pieza con algún CAD.
- Definir las variables de diseño, como son: espesores, masa, fuerzas, etc.
- Seleccionar y mallar la geometría a ser analizada.
- Definir restricciones del movimiento de nodos.
- Realizar el análisis de elemento finito al modelo geométrico.
- Desplegar resultados.
- 

### Análisis por elementos finitos

La suspensión delantera de un vehículo prototipo de pista es uno de los sistemas principales, ya que su función es absorber las perturbaciones del camino, evitando así vibraciones y proporcionando el adecuado funcionamiento de la dirección; los elementos que componen el sistema de suspensión son los mostrados en la si figura 3.4.

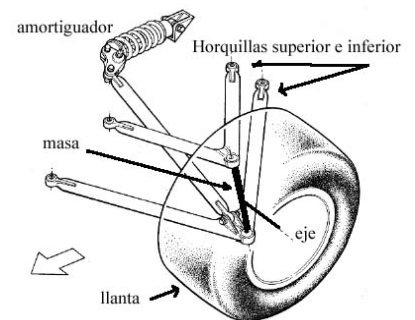


Figura 3.4. Componentes de la suspensión delantera

Una suspensión de un vehículo prototipo de pista, es mostrada en la figura 3.5, en ella, se observa su complejidad y depende de las necesidades del diseño del vehículo.



Figura 3.5. Suspensión delantera de un vehículo prototipo de un prototipo Fórmula uno.

### ***Descripción del problema***

En el caso del vehículo prototipo de pista, se buscó la resistencia y el bajo peso de los componentes de la suspensión, para ello se propuso la siguiente configuración del poste de la masa frontal, ver figura 3.6. El poste de la masa frontal es un componente de la suspensión que consiste de un alojamiento principal para el rodamiento que soporta al eje y de dos alojamientos más a los extremos para soportar las rotulas de las horquilla. Este soporte deberá cumplir la función estructural de soportar ciertas fuerzas, con la consigna de que los elementos estructurarles no deberán pesar más de 1 kg. He aquí dos parámetros de diseño, resistente y ligero.



Figura 3.6. Propuesta inicial del poste de la masa frontal

## *Desarrollo del problema*

### **Tipo de Análisis**

Deformación y esfuerzos en FEA y Optimización Estructural de forma.

### **Paquetería usada**

El software de elemento finito es Algor y ESO para la optimización estructural.

### **Tipo de elemento usado**

El elemento a usar es brick sólido.

### **Propiedades del material**

Para la propuesta inicial del poste de la masa frontal, se realizó el análisis en acero A36 y en aluminio, teniéndose las siguientes propiedades de los materiales (ver tabla 1).

<b>Acero A36</b>	<b>Aluminio 1100-H14 (99% Al)</b>
<b>Modulo de elasticidad 200 GPa</b>	Modulo de elasticidad 70 GPa
<b>Esfuerzo de tensión 400 MPa</b>	Esfuerzo de tensión a la fluencia 100 MPa
Esfuerzo de fluencia 250 MPa	Esfuerzo cortante a la fluencia 55 MPa
<b>Relación de Poisson's 0.3</b>	Relación de Poisson's 0.3

Tabla 3.1, Propiedades mecánicas del acero A36 y el Aluminio 1100-H14 (99% Al)

### **Modelado Básico**

El poste de la masa frontal es diseñado para soportar los componentes de la suspensión, dirección y componentes de frenos.

Las fuerzas que actúan por el contacto en las llantas, así como la fuerza vertical que actúa en el centro de la rueda, son transferidas al punto pivote del poste de la masa y al punto donde se montan los frenos. La fuerza que actúa en el brazo de la dirección es resultado de la carga de la cremallera de la dirección transmitida desde el tirón de la barra.

El modelo analizado implicó el aprovechamiento y simplificación de la geometría, así como minimización del número de elementos usados, el tiempo de solución y el espacio de

disco requerido, con la finalidad de estudiar el desempeño del análisis para cada caso de carga. Las unidades usadas para el análisis están en  $\text{N}/\text{mm}^2$  o MPa.

### *Análisis del punto pivote del poste de la suspensión*

#### **Mallado del modelo**

Un modelo simplificado del poste contiene solamente la estructura básica, alojamiento de valeros y soporte de frenos y rotulas. El mallado del modelo fue de elemento brick como se muestra en la figura 3.7.

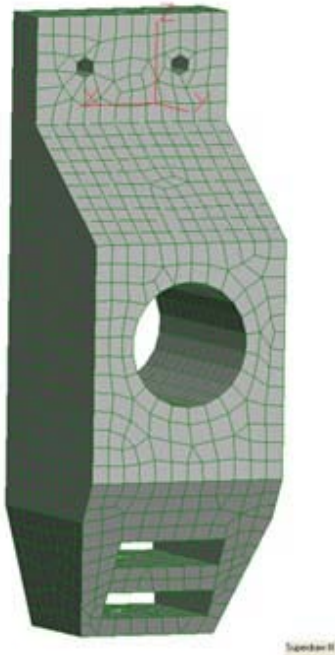


Figura 3.7. Mallado del modelo.

#### *Aplicación de las restricciones y fuerzas*

El modelo fue restringido a lo largo del alojamiento del rodamiento. Quedando todos los nodos que rodean al cilindro central de la masa (ver figura 3.7) en completa restricción de sus grados de libertad. Dentro del orden del cálculo de las fuerzas que fueron aplicadas en la parte superior e inferior del punto de pivote, primero las fuerzas que actúan en la rueda fueron determinadas y

posteriormente los momentos sobre el centro de la rueda, como se muestra en la siguiente figura 3.8.

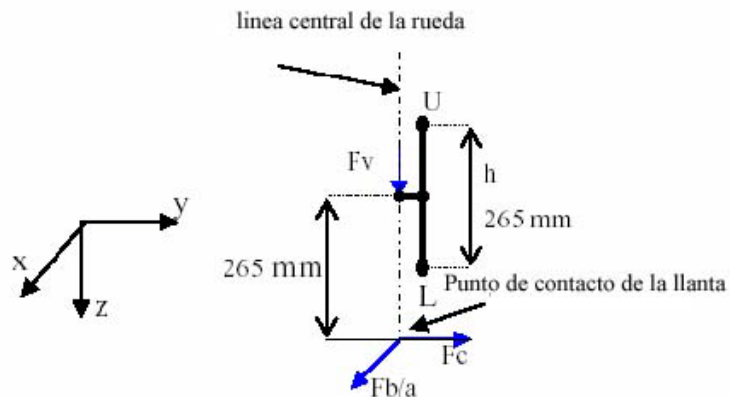


Figura 3.8. Fuerzas que actúan en el poste de la masa.

Las máximas aceleraciones que se presentaron en los puntos L, U indicados son:

- $\pm 3g$  vertical
- $\pm 1g$  lateral
- $\pm 1g$  longitudinal

Multiplicando la aceleración por un factor de seguridad de 1.5 los resultados de las cargas de diseño resultaron ser:

Las cargas de las ruedas son:

4500 N =  $F_v$  en la dirección vertical aplicadas al centro de la rueda;

1500 N =  $F_c$  en la dirección lateral en el centro de la llanta donde se realiza el contacto con el piso;

1500 N =  $F_{b/a}$  en la dirección longitudinal aplicada también en el centro de la huella.

Momentos sobre el centro de la rueda:

$$MO1 = MO2 = F_c \times 265 = F_b/a \times 265 = 1500 \times 265 = 397500 \text{ Nmm} = 397.5 \text{ Nm}$$

$$\text{Entonces las fuerzas en "U" son: } F_{xu} = F_{bu} = MO1/(h/2) = 397500/128 = 3105.5 \text{ N}$$

$$F_{yu} = F_{cu} = MO2/h/2 = 3105.5 \text{ N}$$

$$F_{zu} = F_{vu} = 0 \text{ N}$$

$$\text{Y las fuerzas en "L" son: } F_{xl} = F_{bl} = -3105.5 \text{ N}$$

$$F_{yl} = F_{cl} = -3105.5 \text{ N}$$

$$F_{zl} = F_{vl} = 4500 \text{ N}$$

Por lo que, la fuerza de mayor importancia que actúa en la pieza es de  $F_v = 4500$ .

### ***Solución con FEA***

En la solución de los esfuerzos en los elementos se usó el criterio de Von Mises. La solución se ilustra en la figura 3.9, tanto para la pieza de acero estructural A36, como para el aluminio 6061-T6.

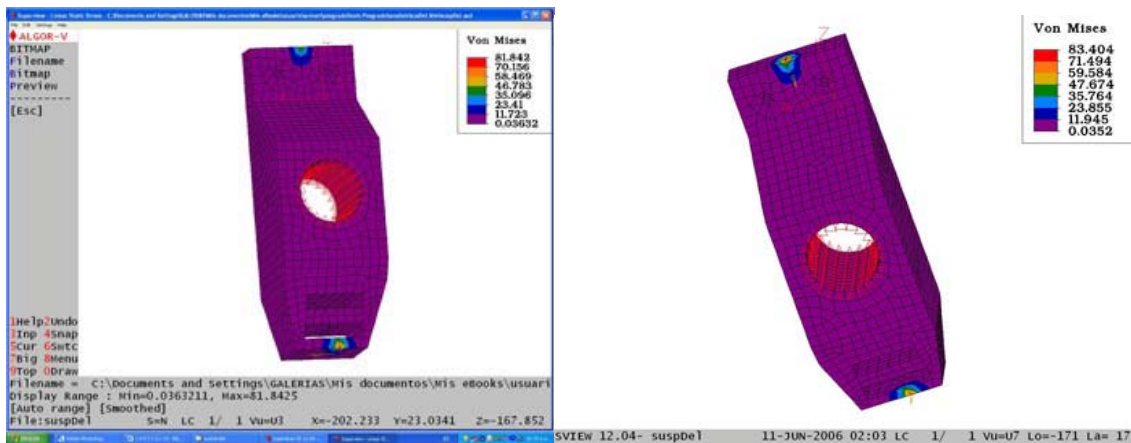


Figura 3.9. Solución del análisis, a la izquierda se presenta solución para pieza de acero A36 y la derecha se presenta la solución para el aluminio 6061-T6.

### ***Resultados del análisis de FEA***

La solución de los elementos obtenidos para el máximo esfuerzo fueron de: 83 y 81 MPa para el aluminio y el acero respectivamente. Como se puede observar en la figura anterior los esfuerzos en los componentes son en general bajos, al límite de fluencia para el



aluminio y muy por debajo para el acero, pero debido a que el acero es un material mecánicamente más resistente y podría soportar mayores esfuerzos, se optó por este, además es más fácil de trabajar con el proceso de soldadura, lo que permitirá reducir costos dentro de la manufactura. Por lo tanto, se procedió a realizar la optimización de la pieza en acero A36, a través del software ESO.

### 3. Remoción de elementos de mínimo esfuerzo con la optimización estructural ESO

#### *Procedimiento del Desarrollo de la Optimización con ESO*

En primer lugar se dibujó un rectángulo en 2D, el cual tendría un espesor de 100 mm, así mismo se seleccionó el material a estudiar, que en este caso fue el acero A36. Enseguida se produjo el mallado o la retícula para indicar el dominio del diseño y la aplicación de las restricciones y fuerzas como se muestra en la figura 3.10 (a), posteriormente se procedió a obtener los esfuerzos mostrándose a través de una banda de colores (b), ya teniendo el desarrollo hasta esta parte, se procedió a realizar la aplicación de la optimización, por lo que, los elementos que están por debajo del esfuerzo  $\sigma_{\max}^{vm}$ , serán eliminados por el método ESO como se puede observar en la figura 3.10 (c).

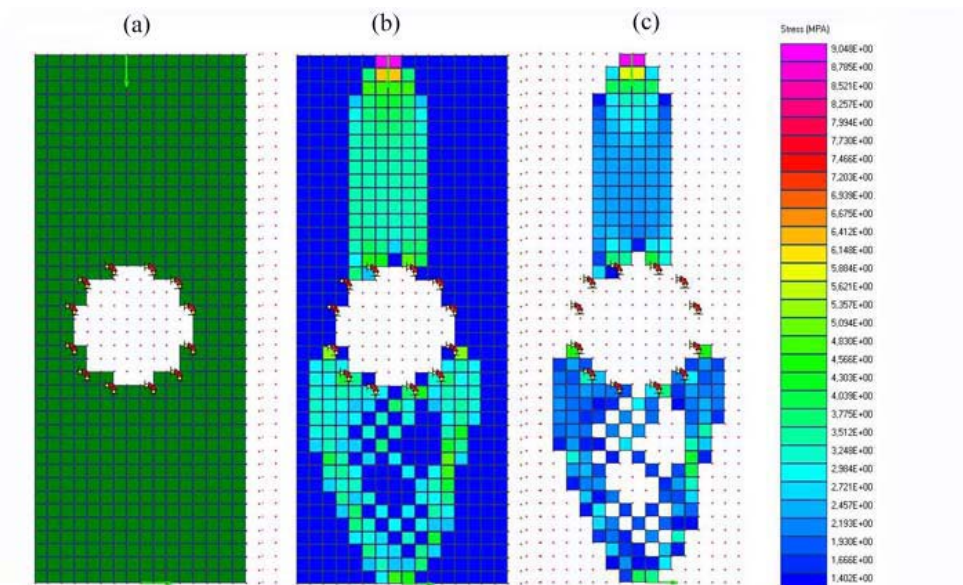


Figura 3.10. (a) representación del dominio de diseño con las condiciones de frontera y las fuerzas, (b) obtención de esfuerzos, (c) proceso de eliminación de elementos con bajo esfuerzo.

Como se mencionó en el capítulo 1, el nivel de esfuerzos de cada elemento es determinado por la comparación del esfuerzo de Von Mises en el elemento  $\sigma_e^{vm}$  y el máximo esfuerzo de Von Mises de la estructura completa  $\sigma_{max}^{vm}$ , al final de cada análisis de esfuerzo, todos los elementos que satisfacen la siguiente condición son eliminados del modelo.

$$\frac{\sigma_e^{vm}}{\sigma_{max}^{vm}} < RR_i$$

Para este análisis los parámetros iniciales fueron: Relación de remoción de material  $RR_o = 1\%$ , relación de la evolución  $ER = 1\%$  y los parámetros al terminar el proceso fueron: Máximo remoción de volumen, 90 % y máxima remoción de material  $RR = 15\%$ , como se muestra en la tabla 3.2. A continuación en las figuras 3.11 y 3.12 se presentan los

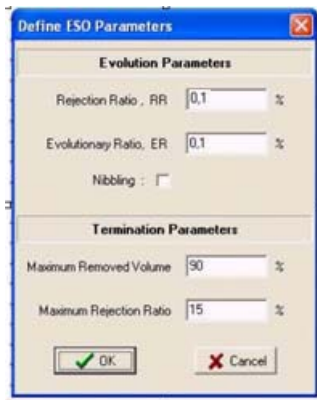
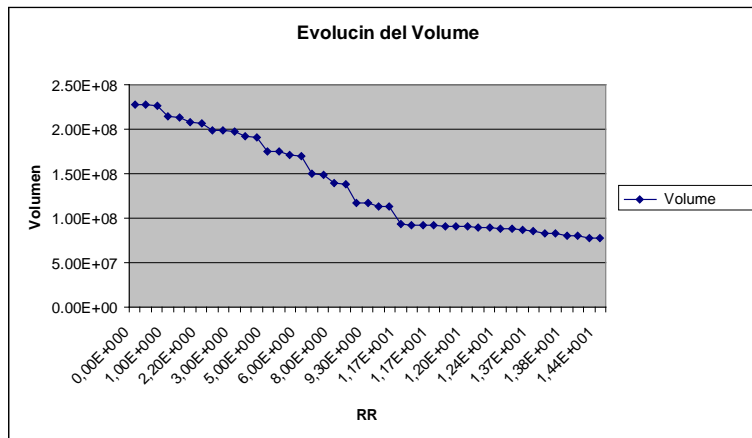
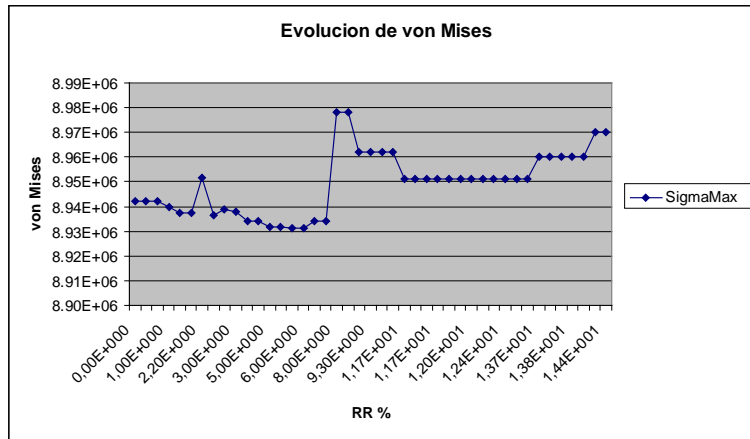


Tabla 3.2. Valores de evolución

resultados del comportamiento del volumen con respecto a  $RR$  y el comportamiento del esfuerzo contra el  $RR$ . Conforme el  $RR$  se incrementa el volumen disminuye, así mismo conforme el  $RR$  tiende al valor de 15%, el esfuerzo máximo se incrementa hasta presentar una zona constante, que es la que se elige para poder diseñar la nueva propuesta.



Gráfica 3. 11. Representación de la evolución del volumen contre  $RR$ .



Gráfica 3.12. Representación de la evolución de Von Mises contra **RR**.

### ***Resultado de la Optimización Estructural***

En la representación gráfica 2D podría no ser tan representativa como la representación 3D, pero con el método ESO como herramienta de optimización se puede explotar su versatilidad y aunado a la experiencia del diseñador se pueden lograr diseños confiables. De acuerdo al comportamiento de la evolución del volumen y el esfuerzo, se propuso rediseñar la geometría inicial, pasando de una figura prismática de dimensiones 100 mm x 100mm x 245 mm a una más simple. Este rediseño tuvo que ver también con la experiencia del diseñador, ya que la interpretación de la nueva forma puede variar desde un prisma más compacto hasta la unión de dos cilindros huecos, como se muestra en la siguiente figura 3.13. Esta interpretación debe de quedar muy clara, ya que la forma que arroja el proceso de optimización es una solución cercana a lo óptimo. También, en este momento a la par, se empieza a realizar el análisis para su posible fabricación a través de la revisión de tablas que contienen los datos de cantidad de piezas a fabricar, procesos, cortes, maquinados, uniones, ensambles, etc. Todo ello para obtener los elementos necesarios que permitiría más adelante a elegir un sistema de manufactura flexible.

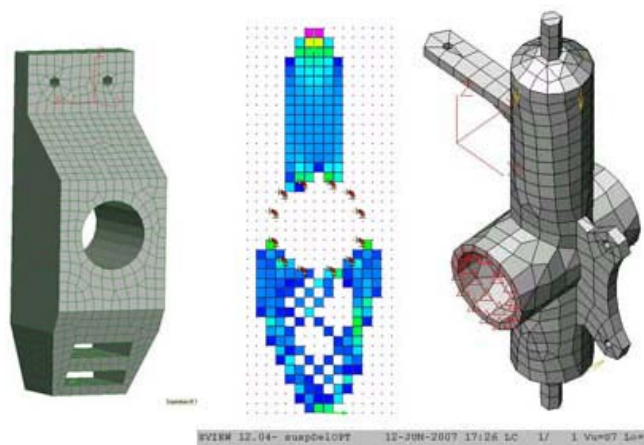


Figura 3. 13. Evolución del poste de la masa delantera.

#### 4. Reanalizar y comparar los resultados geométricos antes y después de la optimización

Posteriormente de haber obtenido la nueva geometría, se procedió a realizar nuevamente el análisis FEA a la nueva propuesta representada en la figura 3.14, la cual ha sido definida de un proceso de optimización.

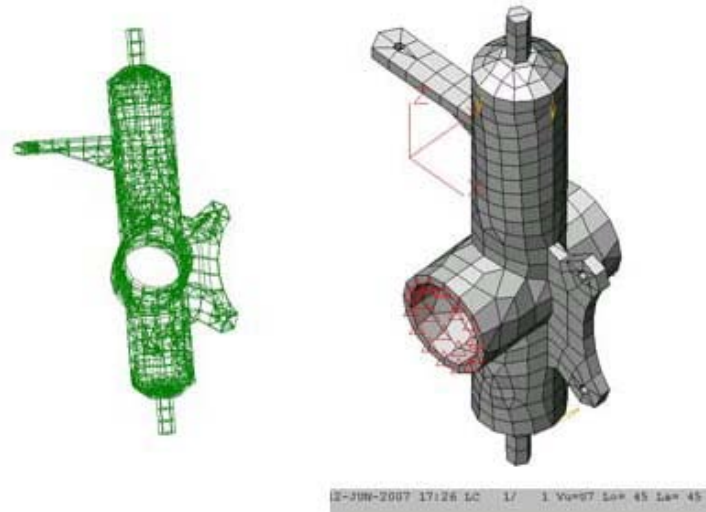


Figura 3.14. Representación de la nueva propuesta, en elemento brick.

Después se siguió la misma metodología de FEA aplicados en los pasos del 1 al 5, aplicación de mallado, aplicación de restricciones y fuerzas (cabe aclarar que estas son las mismas condiciones que se aplicaron al primer análisis) tipo de análisis y el postproceso, con lo que finalmente se obtuvieron los resultados siguientes (ver figura 3.15).

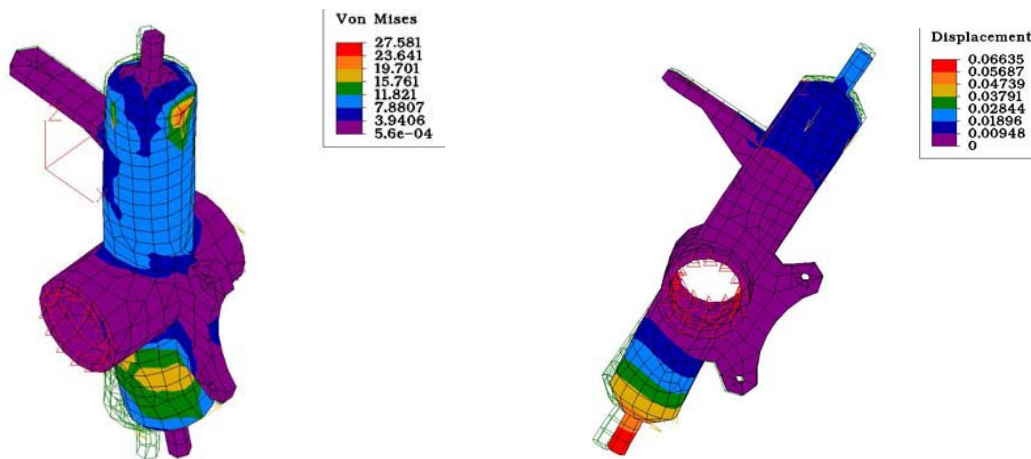


Figura 3.15. Reporte de resultados FEA de la propuesta optimizada previamente.

### ***Resultados de la evolución***

Lo que se realizó con este análisis fue, comparar los resultados geométricos antes y después de la optimización, lográndose los objetivos de optimización que en este caso fueron, obtener una estructura resistente y ligera. En la figura 3.15 se observan los esfuerzo de Von Mises muy por de bajo del límite de fluencia del material, por lo que, se cumple el objetivo de reducir la concentración de esfuerzos al máximo aplicando la optimización.

Por otra parte, la reducción de volumen es del 35% en comparación de la primera propuesta , por lo que, se logró reducir el peso. Estos datos obtenidos fueron registrados en la tabla de resultados.

### **5. Interacción de la información del proyecto y los sistemas de manufactura flexible**

- En esta etapa el diseñador interactúo con las diferentes tablas que conformaron la base de datos del producto, por ejemplo la tabla de manufactura que permitió al diseñador hacer arreglos de posibles sistemas de manufactura para realizar la producción de 8000 piezas la año con un costo final por pieza de 160 dólares, por lo que se buscó optimizar recursos, tiempos y movimientos. Este paso fue de suma importancia porque de aquí dependió el éxito del diseño.

- 

Para ello se analizó la información del producto como la mostrada a continuación siguiente:

- Que hay en el mercado.
- Comparación de costos.
- Cantidad de procesos a realizar.
- Herramientas que necesarias para la fabricación.
- Tipo de soportes.
- Cantidad de procesos.
- Tiempos de implementación de las maquinas de CNC (torno y fresa).
- Sistemas de banda transportadora.
- Asistencia robótica.
- Asistencia de operador.

- El sistema de manufactura flexible más adecuado para la producción del producto de acuerdo a mínimos requerimientos de máquinas y herramientas.
- Etc.

Con la información obtenida de las tabla de manufactura se exploró la posibilidad de verificar equipos, maquinas, herramientas, etc., para realizar la manufactura del producto. Con ello y la ayuda del software Promodel se logró realizar una serie de simulaciones de los posibles escenarios de manufactura flexible propuestos por el diseñador con la finalidad de optimizar tiempos y movimientos del proceso, así mismo, se generaron los costos del proceso y se logró encontrar el óptimo gracias a la interacción de la información del producto, análisis, y manufactura flexible.

En la figura 3.16, se muestra la nueva geometría de la pieza a fabricar, la cual se propuso construirla de dos maneras diferentes.

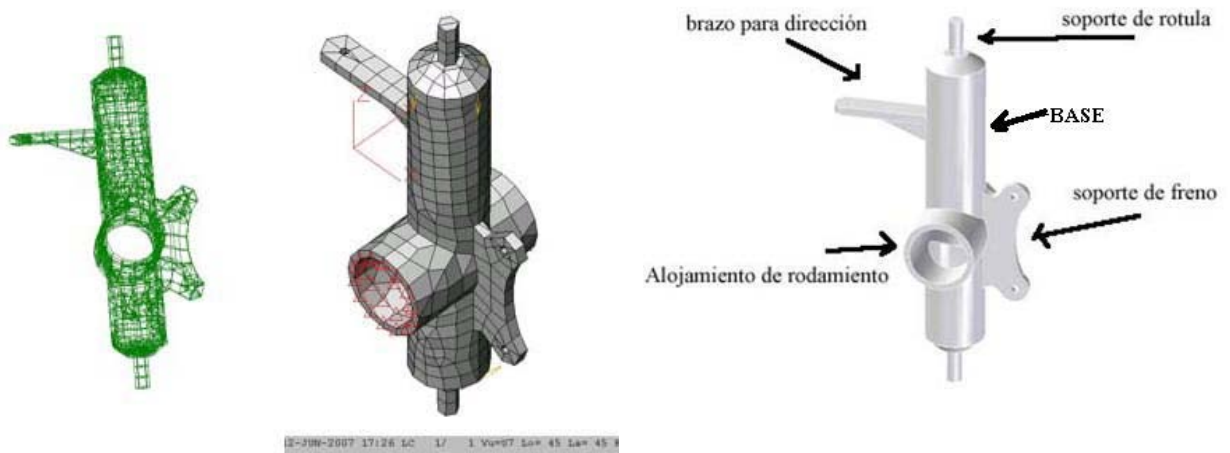


Figura 3.16. Pieza optimizada y modelada en CAD, para su manufactura.

Dentro de los sistemas de manufactura propuestos por el diseñador se mencionan los siguientes:

Para la primera opción del mecanizado de pieza completa en un centro de maquinado de CNC de 5 ejes para realizar el torneado y el fresado de la pieza a partir de un tocho de

material de acero, para ello se propuso el Sistema de Manufactura Flexible compuesto por nueve estaciones de trabajo, así mismo el desplazamiento del material de una estación a otra se realizó por un operario.

Dentro de esta primera opción, la verificación de tolerancia de las piezas mecanizadas se llevó a cabo con un bloque patrón, con la finalidad de detectar posibles desajustes en la máquina y así proceder a hacer las correcciones pertinentes para mantenerse dentro de tolerancias.

Para la segunda opción del mecanizado de la pieza a partir de 6 elementos, se escogió un torno y una fresa de CNC para el mecanizado, y para realizar la unión de las piezas se utilizó el proceso de soldadura MIG (Micro alambre en atmósfera de gas inerte, por sus siglas en inglés). Este Sistema de Manufactura Flexible fue compuesto por ocho estaciones de trabajo.

Para la segunda opción de mecanizado, se utilizó una mesa con una plantilla de ensamble (Ver figura 3.17) un brazo robot para ensamblar y otro brazo robot para realizar la unión con una antorcha MIG. Las tolerancias que se manejaron estuvieron en el orden de 0.020 mm para los alojamientos de los rodamientos, mientras que para las demás piezas la tolerancia fue de 0.300 mm. En los anexos se muestran los planos de construcción y su respectiva tolerancia geométrica.

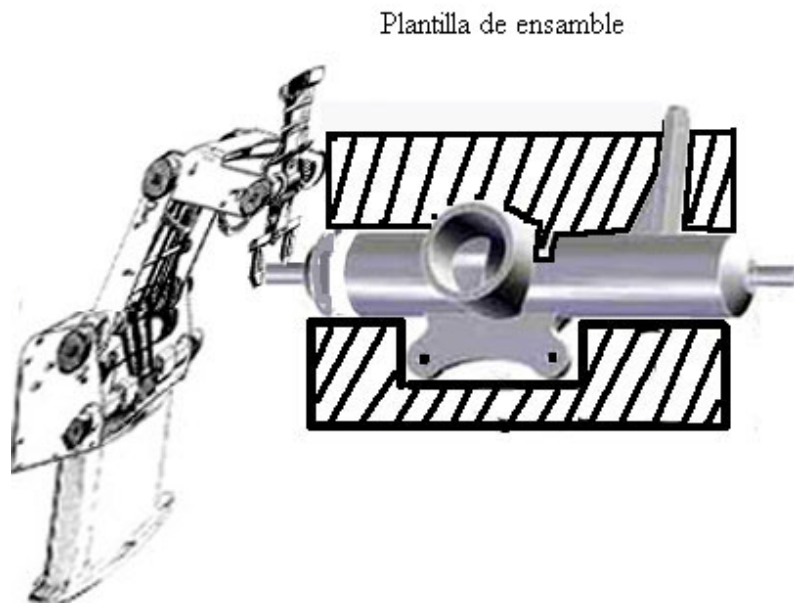


Figura 3.17. Plantilla de ensamble para fijar tolerancias geométricas.



## Generación de costos de material y procesos de manufactura

Con el apoyo del software Excel se procedió a realizar el análisis de costos de la pieza a manufacturar. En la tabla 3.3, se contempla en una primera parte el material, cantidad utilizada, y costo por unidad de material. Mientras que en la segunda parte, se establece el proceso de manufactura, tiempo empleado durante el proceso, y costo por proceso. En esta tabla se analizó el maquinado de la pieza a partir de un tocho de material de acero con dimensiones de 3.5x4.5x9 pulgadas y procesada en un centro de maquinado de torneado y fresado de 5 ejes. En cuanto a los parámetros de corte y tiempo de mecanizado se procedió a realizar una simulación en Master CAM para su obtención. Al final de la tabla se muestra la lista de costo de referencia del proceso de manufactura, así como se indica la máquina de CNC que se utilizaría para esta operación, además se muestra una imagen de ejemplo del mecanizado con este modelo de máquina.

Line	Formato "A" Desarrollo del subsistema de suspensión por pieza								
<b>Material:</b>									
	<b>Nombre de la parte</b>	<b>Material</b>	<b>Densidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso</b>	<b>\$Unit</b>	<b>Cost</b>	
1	Poste de suspensión	4140 tocho	0.284	in3	144	40.90	\$0.60	\$24.54	
2						0.00	\$0.60	\$0.00	
3						0.00	\$0.60	\$0.00	
4						0.00	\$0.60	\$0.00	
5						0.00	\$0.60	\$0.00	
Subtotal:								\$24.54	
<b>Labor:</b>									
	<b>Proceso de Manufactura</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>\$Unit</b>	<b>Cost</b>				
4	Torneado y fresado en CNC modelo CTX	4.3	hora	\$ 70.00	301.00				
5				\$ -	0.00				
6				\$ -	0.00				
7				\$ -	0.00				
8				\$ -	0.00				
9				\$ -	0.00				
10				\$ -	0.00				
Subtotal:					301.00				
Material Total								24.54	
Labor Total								301.00	
Subensamble Total								325.54	
Formato "A"									
CTX beta Mecanizado en 5 ejes Husillo de torneado y fresado potente y con eje B controlado por CN Disco con 24/36 herramientas Sistema de medición directa en X,Y,Z Controlador Siemens www.dmgmoriiseiki.com									
Mecanizado de formas libres. componente del tren de aterrizaje material acero dimensiones 130 x 290 mm Tiempo de mecanizado 165 min.									

Costo de referencia del proceso de manufactura	
Otras actividades	\$ 35.00 /hour
Tiempo de maquinado en CNC	\$ 70.00 /hour
Soldadura	\$ 0.35 /in
Corte con sierra cinta, bocardado	\$ 0.40 /in
Doblado de tubo	\$ 0.75 /bend
corte de material no metalico	\$ 0.20 /in
acabado de tubos	\$ 0.75 /end
Taladrado de barrenos	\$ 0.35 /hole
Remachado	\$ 0.35 /hole
Estampado de barrenos	\$ 0.35 /hole
Corte de cizalla de lamina	\$ 0.20 /cut
Repujado de lamina	\$ 0.20 /hole
Doblado de lamina	\$ 0.05 /bend
Estampado de lamina	\$ 0.05 /sq in
Fundicion de metal	\$ 3.00 /lb
Inyección de plástico	\$ 2.75 /lb

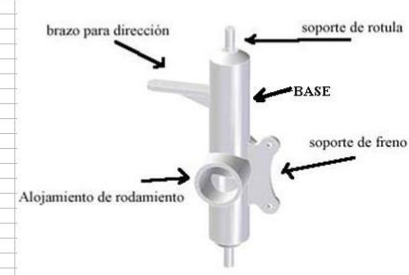


Tabla 3.3. Análisis de costos de pieza fabricada a partir de un tocho de material.



En la tabla 3.4, se muestra un segundo análisis de la pieza fabricada en 6 elementos y unidos con el proceso de soldadura MIG en este análisis se contemplo el proceso de torneado , fresado y soldadura, así mismo se utilizo una estación de ensamblado con una plantilla para evitar errores de tolerancia y un robot soldador.

Analizando los resultados se observa en la tabla 3.3., que la fabricación para una pieza a partir de un tocho de material cuesta 352.54 dólares, mientras que en el segundo análisis (ver tabla 3.4) el costo de una pieza realizada en seis elementos es de 130.58 dólares. Siendo el último análisis el más aceptable. Posteriormente se analizó el sistema de manufactura flexible y se verificó que el costo final de producción estuviera dentro del parámetro solicitado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2		Line	1	Formato "B" Desarrollo del subsistema de suspensión por pieza										
3		Descripción:												
4		Material:												
5		Nombre de la parte	Material	Densidad	Unidad	Cantidad	Peso	\$/Unit	Cost					
6	1	Base	4140 tubo	0.284	in3	13.52	3.84	\$0.60	\$2.30					
7	2	Soporte de rotula	4140 barra	0.284	in3	2	0.57	\$0.60	\$0.34					
8	3	Alojamiento rodamiento	4140 tubo	0.284	in3	2.76	0.78	\$0.60	\$0.47					
9	4	Soporte de freno	4140 placa	0.284	in3	4	1.14	\$0.60	\$0.68					
10	5	Soppor terotula	4140 placa	0.284	in3	12.5	3.55	\$0.60	\$2.13					
11	6	Brazo dirección	4140 placa	0.284	in3	1.5	0.43	\$0.60	\$0.26					
12								Subtotal:	\$6.18					
13		Labor:												
14		Proceso de Manufactura			Cantidad	Unidad		\$/Unit	Cost					
15	4	Corte con sierra cinta			6	in		\$ 0.40	2.40					
16	5	Torneado en CNC			1.0	hora		\$ 70.00	70.00					
17	6	Fresado en CNC			0.5	hora		\$ 70.00	35.00					
18	8	Soldadura			10	in		\$ 0.35	3.50					
19	9	Ensamblado			4	in		\$ 0.75	3.00					
20	10	Labor de otras actividades			0.3	hora		\$ 35.00	10.50					
21								Subtotal:	124.40					
22														
23														
24														
25								Material Total	6.18					
26								Labor Total	124.40					
27						a Formato Line	1	Subensamble Total	130.58					
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														

Costo del proceso de manufactura	
Otras actividades	\$ 35.00 /hour
Tiempo de maquinado en CNC	\$ 70.00 /hour
Soldadura	\$ 0.35 /in
Corte con sierra cinta, bocardado	\$ 0.40 /in
Doblado de tubo	\$ 0.75 /bend
corte de material no metalico	\$ 0.20 /in
acabado de tubos	\$ 0.75 /end
Taladrado de barrenos	\$ 0.35 /hole
Remachado	\$ 0.35 /hole
Estampado de barrenos	\$ 0.35 /hole
Corte de cizalla de lamina	\$ 0.20 /cut
Repujado de lamina	\$ 0.20 /hole
Doblado de lamina	\$ 0.05 /bend
Estampado de lamina	\$ 0.05 /sq in
Fundicion de metal	\$ 3.00 /lb
Inyección de plástico	\$ 2.75 /lb

Tabla 3.4. Análisis de costos de pieza fabricada a partir de cinco elementos de material y unidad con soldadura.

### *Análisis de manufactura*

La propuesta del análisis fue la elaboración de 8000 piezas al año con un costo final por pieza de 160 dólares.

Enseguida se muestra como se procedió a realizar los análisis para obtener el sistema de manufactura flexible más apropiado que cumpliera con los criterios de reducción de recursos, movimientos y mantener costos bajos.

Tomando los datos correspondientes a cada tabla de información que integra la tabla de datos de manufactura del producto, se obtuvo materia prima, tiempos de preparación de máquinas, manejo de material, estaciones de trabajo disponibles, herramental, manipuladores, etc., y con el apoyo del software Promodel se procedió a realizar una serie de simulaciones con diferentes posibilidades del proceso de manufactura (ver figura 3.15). Para ello, se inició con la configuración de localidades que componen el sistema de manufactura, enseguida se estableció materia prima y su transformación en cada estación de trabajo implicada. Posteriormente se indicó como debe de arribar el material a cada estación de trabajo, la frecuencia y el tiempo, por último, se indicó la secuencia del proceso a realizar, así como tiempos y movimientos utilizados durante cada proceso. Ya habiendo obtenido la preparación del sistema propuesto, se procedió a realizar el procesamiento de las 8000 piezas. Dependiendo de la pieza, ésta deberá pasar a diferentes estaciones de trabajo para ser transformada, ensamblada, y llegar hasta la estación de empaquetamiento o almacenamiento.

En este primer análisis se puede observar que el proceso de manufactura se hizo con cinco estaciones de trabajo, que son: almacén de materia prima, cierra cinta, centro de maquinado de torneado y fresado de 5 ejes, área de inspección y calidad, área de empaquetado. Además el proceso es lineal, la forma más simple de operar un sistema. Este primer arreglo muestra un tiempo total de 37328.67 horas de procesamiento de las 8000 piezas. Este tiempo es demasiado grande para el sistema propuesto, ya que se tardaría aproximadamente 4 años laborando en tres turnos de 8 horas, por lo que no es viable. De este hecho se fue iterando con la adquisición de otros centros de maquinado hasta lograr la siguiente propuesta.

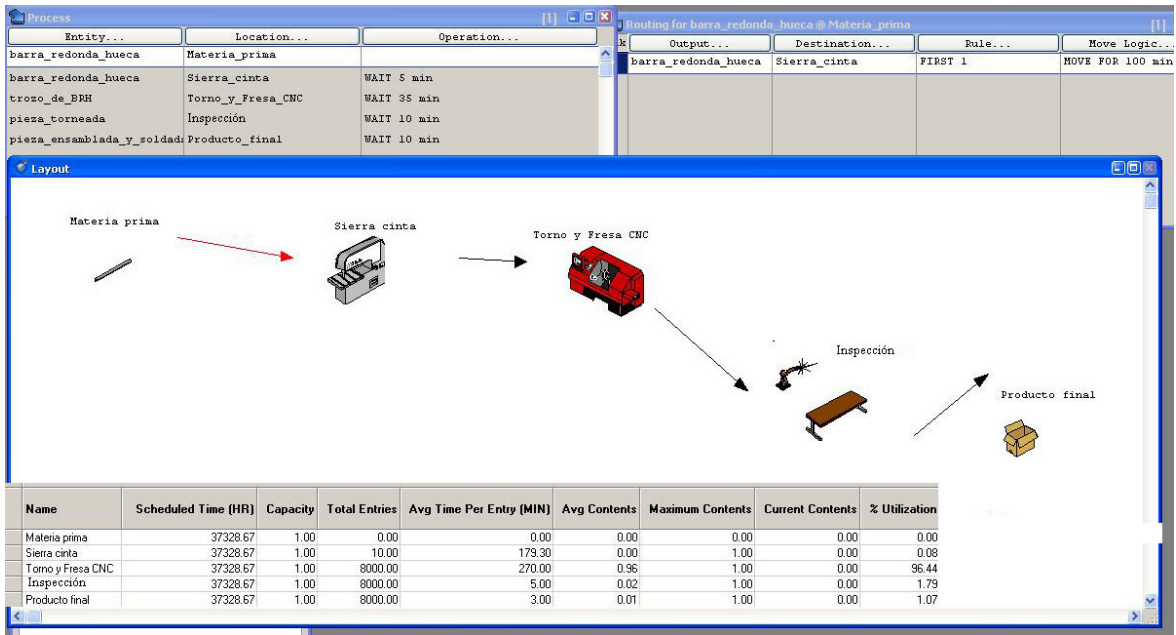


Figura 3.15. La imagen muestra un cuadro de la simulación del proceso de fabricación de la pieza optimizada, en esta primera simulación se logra un tiempo de 37328.67 Hrs.

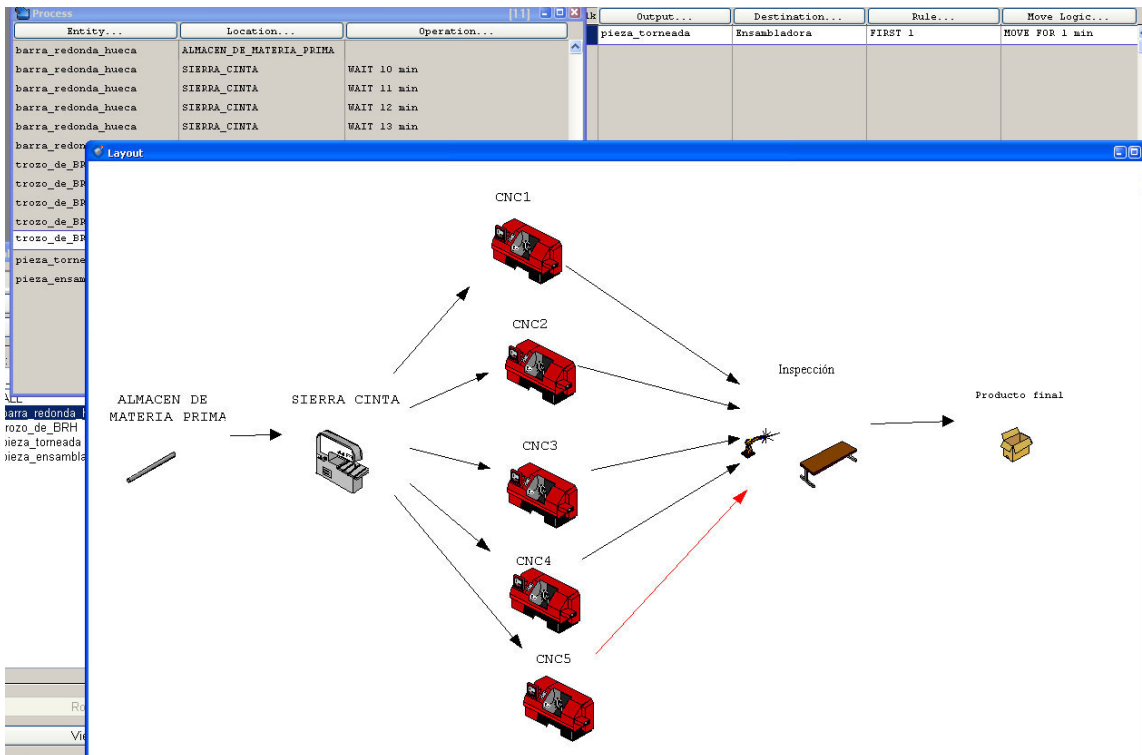


Figura 3.16. La imagen muestra un arreglo diferente para realizar la manufactura de las 8000 piezas en un menor tiempo.

En la siguiente propuesta se muestra el desarrollo del análisis de manufactura con 5 centros de maquinado, permitiendo la reducción del tiempo total del proceso para elaboración de las 8000 piezas. El tiempo obtenido ahora es de 7465.7 Hrs. que da un total de un año en jornadas de 8 Hrs. durante tres turnos, teniendo algunos márgenes de días de descanso. Con este esquema se logró obtener el tiempo más aceptable para la producción de las 8000 piezas. Inicialmente el costo de inversión se incremento considerablemente por la adquisición de 4 centros de maquinado, pero con este escenario se logra obtener la producción a tiempo, competir con calidad y dar una respuesta de entrega rápida, pero el costo del proceso para la producción queda muy por encima de lo especificado.

Ahora se muestra el análisis de manufactura para la fabricación de la pieza a través de 5 elementos y unidos con el proceso de soldadura. El sistema de manufactura propuesto fue de ocho estaciones de trabajo, el cual estuvo conformado por un almacén, una cortadora, dos tornos de CNC, una fresadora de CNC, una estación de ensamblado y solado, por último una estación de empaquetado, así mismo el manejo de material se hizo a través de operarios. (Ver figura 3.17).

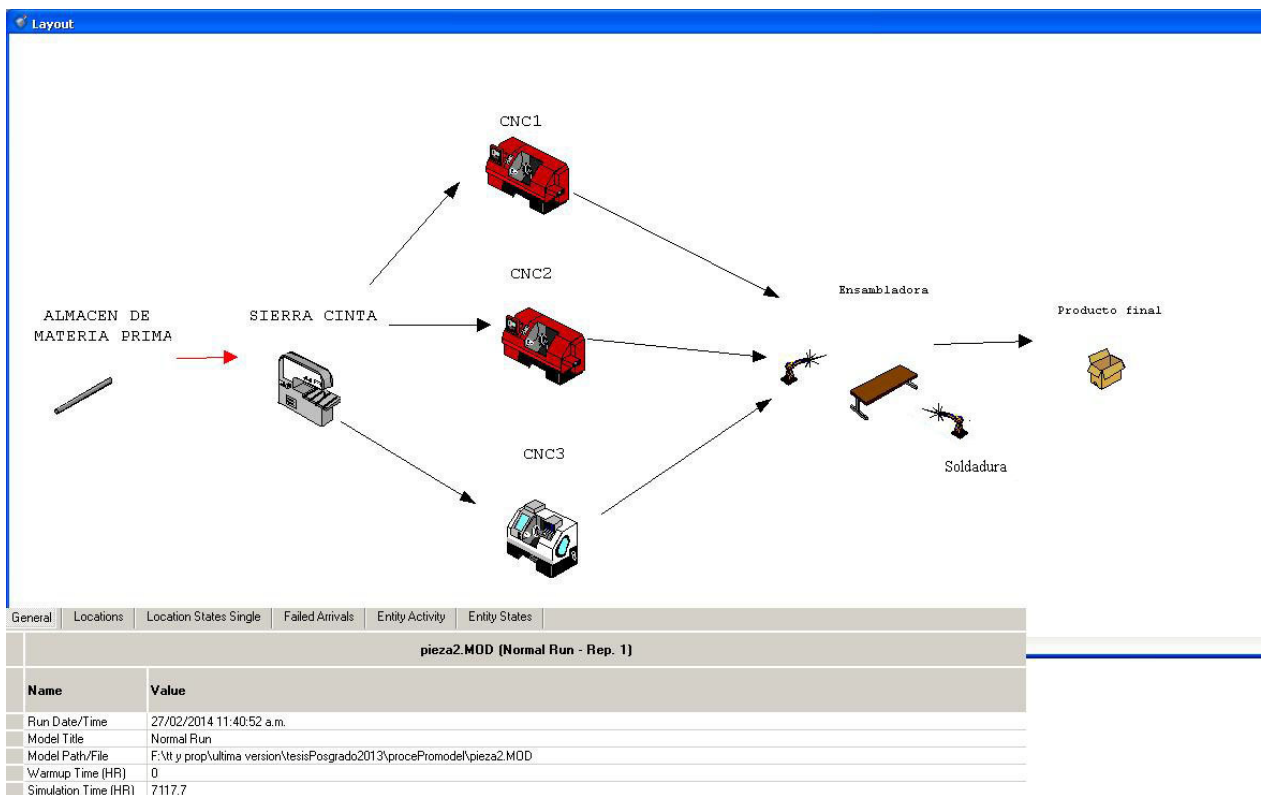


Figura 3.17. Sistema de manufactura flexible con 8 estaciones de trabajo.

Con este escenario de manufactura flexible se logró obtener un tiempo de fabricación de 7117 horas de producción. Tiempo que representa aproximadamente 1 año, con jornadas de 8 horas durante 3 turnos, por lo que, es viable para el propósito establecido.

Por lo tanto, con el costo de fabricación de 130 .58 dólares, y el proceso de manufacturar a partir de 5 elementos y unirlos con el proceso de soldadura, así como el tiempo arrojado por el sistema de manufactura flexible compuesto por 8 estaciones de trabajo, se logró obtener una óptima propuesta, cumpliéndose la reducción de costos, y tiempos.

## **6. Formulación de las ventajas obtenidas con este estudio**

Con el manejo de información del producto durante el desarrollo del mismo, se logró obtener un resultado apropiado a las condiciones de requerimiento, lográndose generar y documentar información de los diferentes análisis, así como interactuar con la manufactura flexible para proponer un sistema óptimo para realizar la producción de la pieza. También se logró obtener una optimización estructural de la pieza, manteniendo el esfuerzo mínimo permisible para esta pieza y logrando disminuir su volumen y por ende el peso, llegando a desarrollar una pieza mecánicamente óptima y funcional. Así mismo, se exploraron los diferentes posibles escenarios de manufacturar a través del apoyo del software Promodel, obteniéndose tiempos y movimientos, así como el trazo del sistema de manufactura flexible más adecuado para la producción.

Como se pudo observar en este ejercicio aplicando el diagrama propuesto de interacción entre el manejo de información del producto, el análisis estructural y la manufactura flexible, se logró visualizar más a detalle las variables y elementos necesarios para obtener un óptimo diseño total. Ya que éstas tres áreas involucradas dentro del desarrollo del producto propuesto: el área de manejo de información, el área de análisis numérico con la optimización estructural y el área de fabricación con la manufactura flexible, se centra el éxito del producto, y manejarlas desde un principio ha permitido al autor tener más habilidad para gestionar el producto y encontrar una solución más rápida y viable.

Enseguida se presenta un segundo estudio aplicando la misma mecánica del diagrama de integración e interacción, para validar nuevamente la guía utilizada.

### 3.2 Segundo análisis de estudio

Análisis de la masa delantera de la suspensión de un vehículo prototipo todo terreno, el cual es un elemento que soportará a la rueda y al disco del freno. Ver figura 3.18.

Este elemento mecánico se analizó con la ayuda del diagrama de integración e interacción del manejo de información, análisis estructural y la manufactura flexible. Lográndose optimizar estructuralmente y reducir el peso, factores de suma importancia para contribuir en el desempeño del vehículo. También se le realizó la generación de información del producto que involucra parámetros de diseño, material, propiedades mecánicas, estudio de mercado, entre otras, así mismo, se hizo un análisis de manufactura para su posible producción.



Figura 3.18, Masa delantera de un vehículo prototipo todo terreno.

#### 1. Descripción del problema

En este vehículo prototipo todo terreno, se busca la resistencia y el bajo peso de los componentes, para ello se propone la siguiente configuración de la masa frontal, ver figura 3.18, esta masa es un componente de la suspensión y consiste de un alojamiento para el balero que soporta al eje y de 4 orificios que alojaran a los birlos que sostendrán a la rueda. En lo subsiguiente, se aplicaran los mismos pasos de análisis que se describieron en el primer caso. La propuesta inicial se muestra en la figura 3.19 y las fuerzas que interactúan en ella son las siguientes.

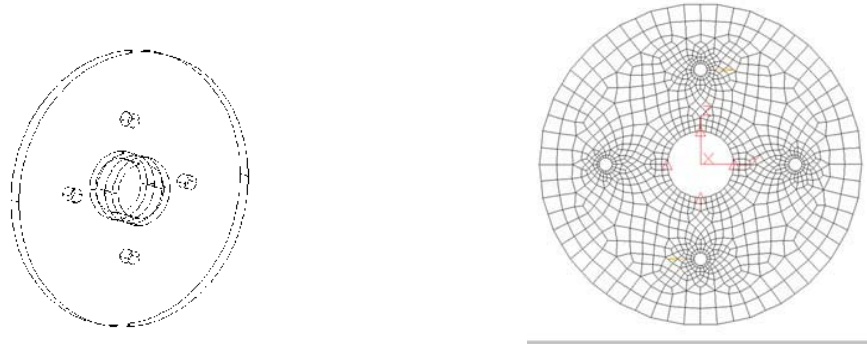


Figura 3.19. Propuesta inicial de la masa frontal.

## 2. Desarrollo del problema

### Tipo de Análisis

Análisis estructural y de deformación

### Paquetería usada

El software de elemento finito algor y el de optimización estructural ESO.

### Tipo de elemento usado

El elemento a usar es brick sólido.

### Propiedades del material

Para la propuesta inicial de la masa trasera, se hará el análisis en acero blando, teniéndose las siguientes propiedades de material.

<b>Acero A36</b>	<b>Aluminio 1100-H14 (99% Al)</b>
<b>Modulo de elasticidad 200 GPa</b>	Modulo de elasticidad 70 GPa
<b>Esfuerzo de tensión 400 MPa</b>	Esfuerzo de tensión a la fluencia 100 MPa
Esfuerzo de fluencia 250 MPa	Esfuerzo cortante a la fluencia 55 MPa
<b>Relación de Poisson's 0.3</b>	Relación de Poisson's 0.3

Tabla 3.5, Propiedades mecánicas del acero A36 y el Aluminio 1100-H14 (99% Al)

## Modelado Básico

La masa trasera es diseñada para soportar a la rueda, las fuerzas que actúan por el contacto en las llantas, así como la fuerza provocada por la transferencia de peso al tomar una curva, son de consideración para el diseño de esta masa, es por ello que se consideraron las siguientes fuerzas y se aplicó el diagrama de fuerza cortante y momento máximo, ver figura 3.20.

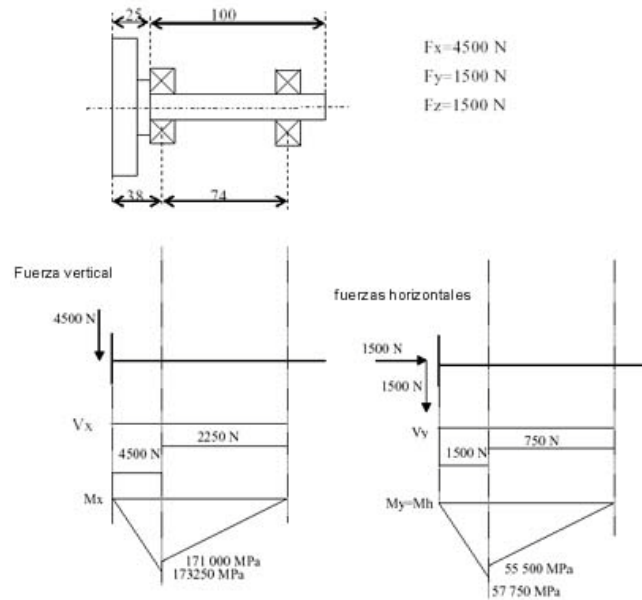


Figura 3.20. Fuerzas que actúan en la masa.

Considerando que las máximas aceleraciones que se presentaron dentro de las condiciones de trabajo fueron:

- $\pm 3g$  vertical
- $\pm 1g$  lateral
- $\pm 1g$  longitudinal

Multiplicando la aceleración por un factor de seguridad de 1.5 los resultados de las cargas de diseño resultaron ser:



Las cargas de las ruedas resultaron ser:

4500 N =  $F_v$  en la dirección vertical aplicadas al centro de la rueda;

1500 N =  $F_c$  en la dirección lateral en el centro de la llanta donde se realiza el contacto con el piso;

Posteriormente se aplicaron las fuerzas y restricciones correspondientes al modelo, ver figura 3.21.

### Proceso de Optimización con ESO

Para realizar el proceso de optimización, se procede a dibujar un círculo en 2D figura 3.21, el cual tendrá un espesor de 100 mm, el material a estudiar es el Aluminio 6061-T6, enseguida se procede a realizar el mallado o una retícula para indicar el dominio del diseño y la aplicación de las restricciones y las fuerzas (a), posteriormente se aplico el método de elemento finito mostrando la interacción de las fuerzas en la pieza (b), ya teniendo el desarrollo hasta esta parte, se procedió a la aplicación de ESO, Que actuó eliminando elementos que mostraron bajo esfuerzo, como se puede observar en (c) .

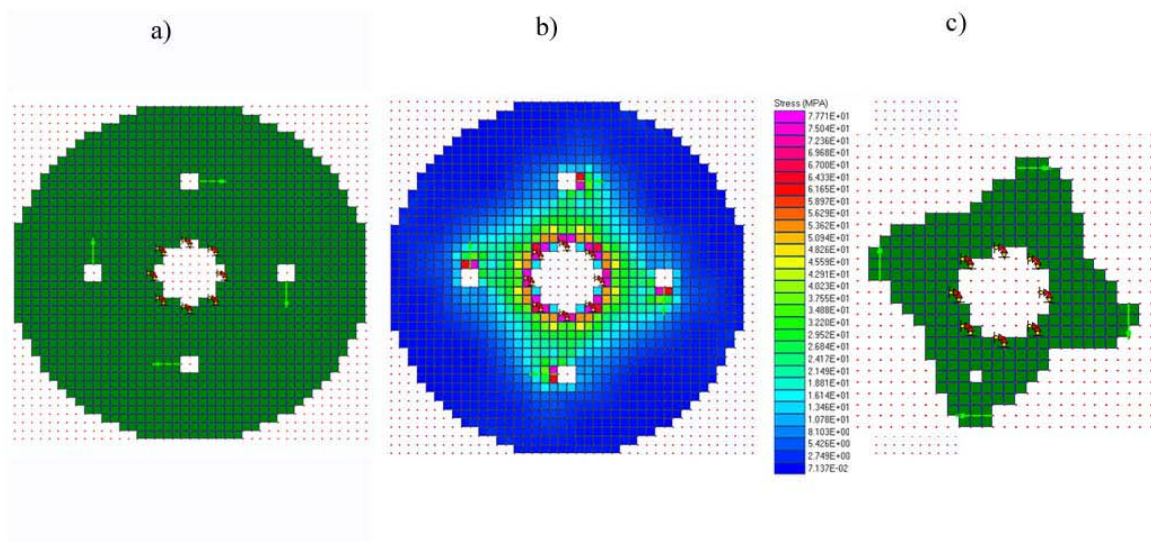


Figura 3.21, aplicación del método ESO.

Ya teniendo la forma optimizada, el diseñador la interpreto y la rediseño como se muestra en la figura 3.22. Enseguida se procedió a realizar el análisis FEA a la nueva propuesta, la cual ha sido definida de un proceso de optimización.

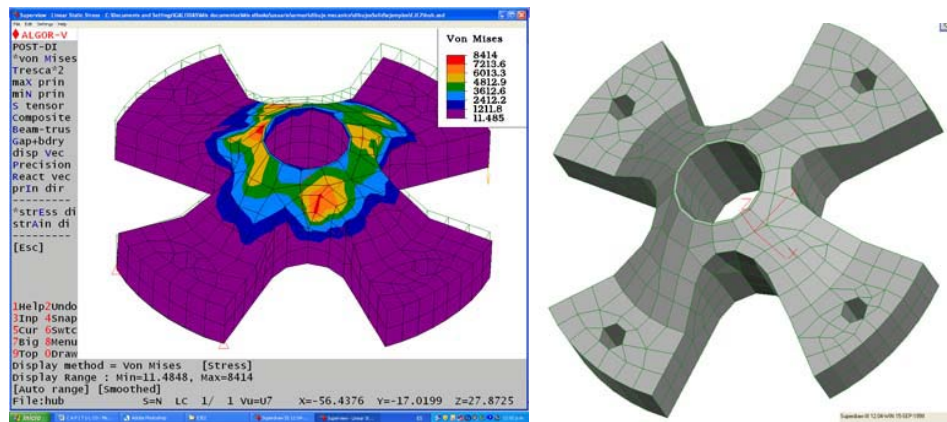


Figura 3.22. Resultados del análisis de optimización.

Lo que se ha realizado con este análisis es, comparar los resultados geométricos antes y después de la optimización, lográndose optimizar su forma y peso, creando una estructura resistente y ligera.

Durante todo el desarrollo del diseño se fueron capturando datos de los resultados obtenidos, así como se pudo realizar la interacción de la información del producto como propiedades del material, condiciones de trabajo, entre otras. Ver figura 3.23.

#### BASE DE DATOS DEL PRODUCTO

<b>DATOS GENERALES</b>
<b>MATERIAL</b>
<b>ANALISIS</b>
<b>MANUFACTURA</b>
<b>COSTOS</b>



Figura 3. 23. Información del producto.

Por otro lado, ya hecho el análisis de optimización se procedió a realizar el análisis de manufactura, a través del manejo de la información y con la ayuda del software Promodel, se estableció las estaciones de trabajo, el como se desplazaría la materia prima, y tiempos de procesamiento entre otros, logrando el modelado virtual para observar los tiempos y movimientos del proceso. Ver figura 3.24.

El análisis de manufactura se realizo para 4000 piezas realizadas al año con un costo final de 70 dólares

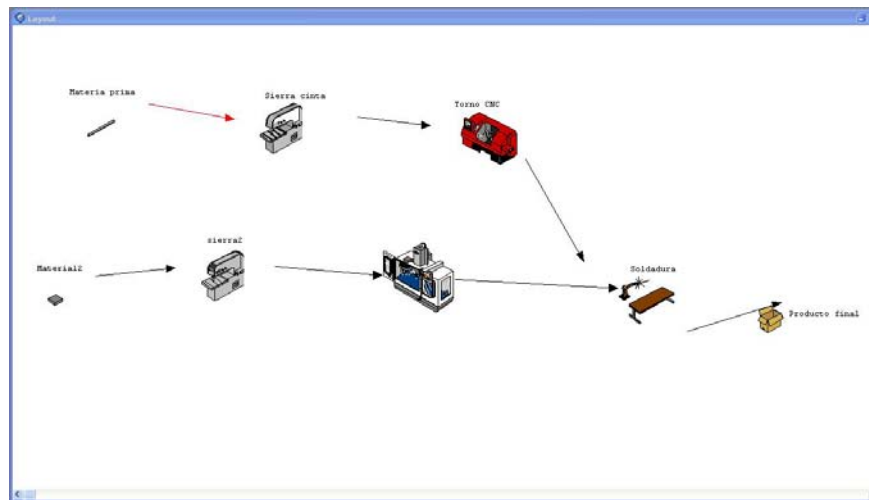


Figura 3.24. . La imagen mostrada, es un cuadro de la simulación del proceso de fabricación de la pieza optimizada.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo del análisis de manufactura, mostrándose, tiempo total del proceso, tiempos de desplazamiento de las piezas a las diferentes estaciones de trabajo, costo por proceso y el total, así como el porcentaje de utilización en cada estación, todo ello para elaborar 12 piezas, que es la cantidad de piezas que se obtienen de un tramo de barra redonda de 3 metros como materia prima inicial y con el cual se hizo el estudio para que posteriormente se adecue a las 4000 piezas. Ver tabla 3.6.

proceso2.rdb - Output Viewer 3DR

File View Tools Window Help

Views: <undefined view>

**General Report (Normal Run - Rep. 1)**

General Locations Location States Single Failed Arrivals Entity Activity Entity States Location Costing Entity Costing

**proceso2.MOD (Normal Run - Rep. 1)**

Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Materia prima	11.55	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sierra cinta	11.55	1.00	12.00	5.25	0.09	1.00	0.00	9.09
Torno CNC	11.55	1.00	12.00	30.83	0.53	1.00	0.00	53.39
Soldadura	11.55	1.00	24.00	5.00	0.17	1.00	0.00	17.32
Producto final	11.55	1.00	12.00	10.00	0.17	1.00	0.00	17.32
Material2	11.55	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sierra2	11.55	1.00	12.00	18.75	0.32	1.00	0.00	32.47
Fresadora CNC	11.55	1.00	12.00	51.08	0.88	1.00	0.00	88.46

General Locations Location States Single Failed Arrivals Entity Activity Entity States Location Costing Entity Costing

**proceso2.MOD (Normal Run - Rep. 1)**

Name	Value
Run Date/Time	26/07/2013 02:59:29 a.m.
Model Title	Normal Run
Model Path/File	C:\Program Files (x86)\ProModel\Models\varman eje\proceso2.MOD
Warmup Time (HR)	0
Simulation Time (HR)	11.55

General Locations Location States Single Failed Arrivals Entity Activity Entity States Location Costing Entity Costing

**proceso2.MOD (Normal Run - Rep. 1)**

Name	Explicit Exits	Total Cost Dollars	% Total Cost
barra redonda hueca	0.00	0.00	0.00
trozo de BRH	0.00	0.00	0.00
pieza torneada	0.00	0.00	0.00
pieza ensamblada y soldada	24.00	1234.00	100.00
Raw Material	0.00	0.00	0.00
pieza	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.6. Resultados del análisis para la manufactura de 12 piezas.

Como se puede observar con este análisis, se hace notar que el proceso fue más rápido, estructurado y se llegó a un resultado casi óptimo. Casi óptimo porque nada es infalible y además la intervención de estadísticas influyen mucho en estos tipos de análisis.

Además se logró interactuar con el manejo de información del producto, análisis estructural y la manufactura flexible para llegar a un producto óptimo.

En el capítulo de las conclusiones se detallan los beneficios y ventajas que aporta este diagrama de integración e interacción. Así mismo se explica que sigue para un desarrollo futuro, referente al tema.

## Análisis de resultados

A través de los análisis presentados en el capítulo anterior, se logra interactuar con el manejo de información, el análisis estructural y la manufactura flexible, logrando buscar siempre, la generación de información, la reducción de peso, la reducción de tiempos y movimientos, así como la optimización en el proceso de maquinado, para obtener un producto óptimo digital. Por otro lado con la ayuda del diagrama, que sirvió como guía, permitió desarrollar el análisis con mejor entendimiento y facilidad. Cada análisis presentado fue realizado bajo el siguiente diagrama de integración e interacción, ver figura 4.1.

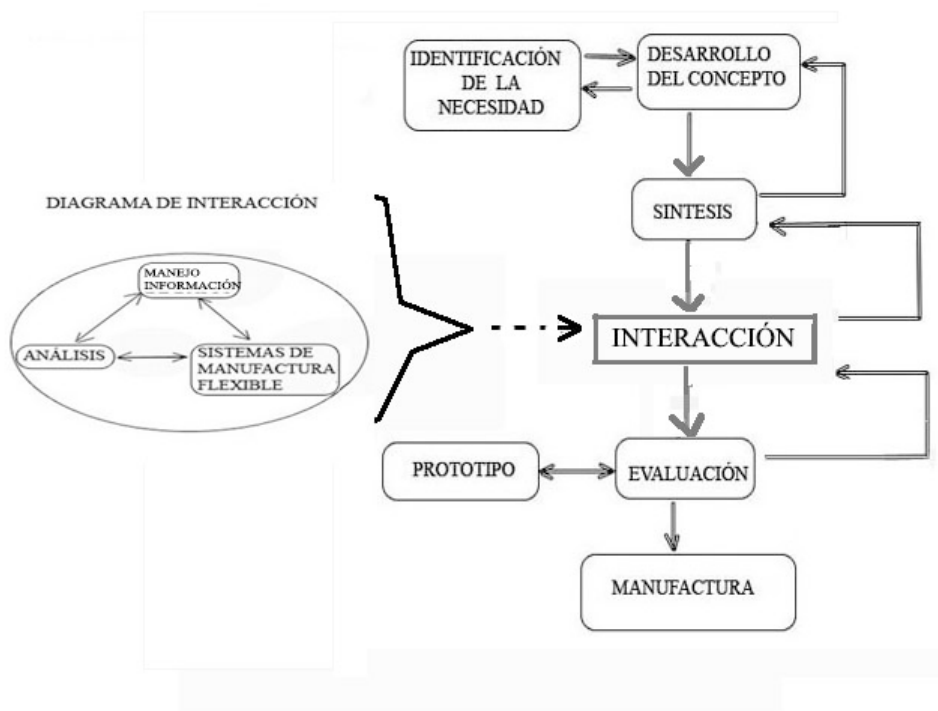


Figura 4.1. Diagrama Propuesto de integración e interacción de Base de Datos, Optimización Estructural y Manufactura Flexible.

El proceso de integración e interacción se llevo a cabo iniciando con la obtención de información del producto, la cual fue construida en diferentes tablas que se encontraban relacionadas entre si. Tablas de propiedades del material, costos, procesos de fabricación, etc, entre otras. Estas tablas fueron construidas desde el inicio del estudio y durante el estudio conforme se obtenían resultados de los análisis.

Para el desarrollo de la optimización estructural, se siguió el siguiente diagrama de flujo, el cual permitió obtener la nueva geometría optimizada. Ver figura 4.2.

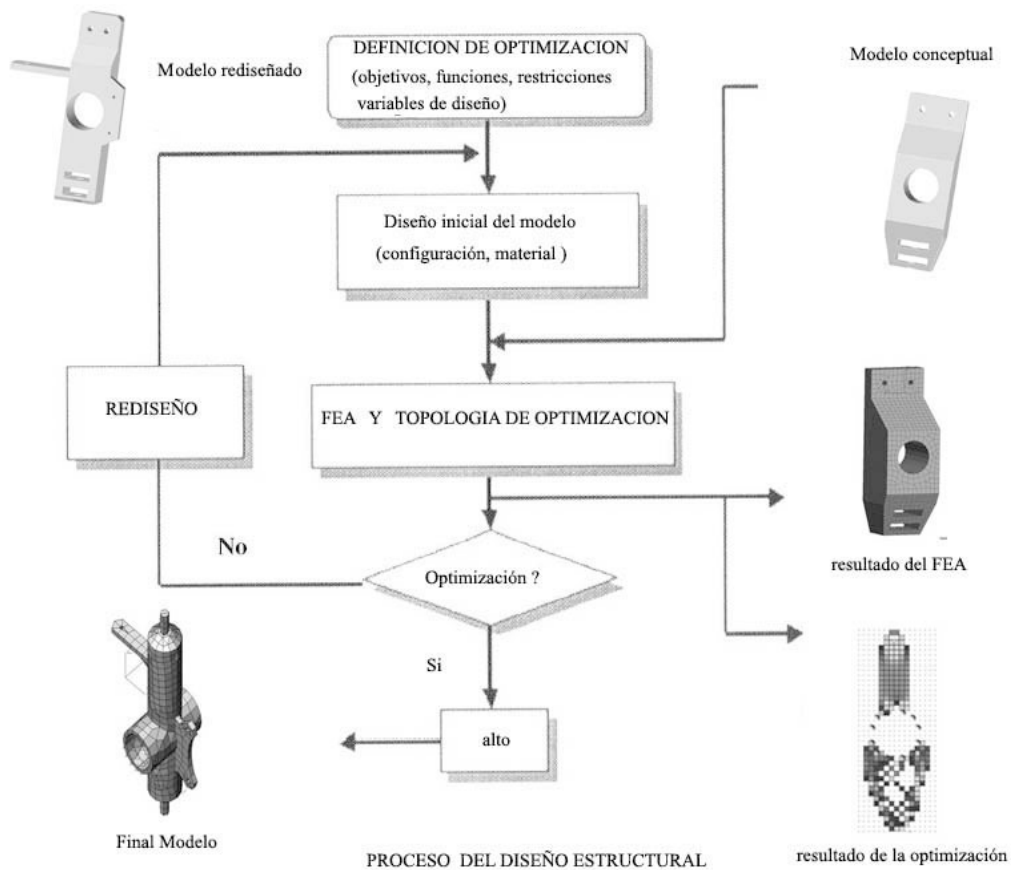


Figura 4.2 . Diagrama de flujo del proceso de diseño estructural.

Para lo cual, en primer lugar en la etapa de optimización se requieren definir objetivos, variables, restricciones, etc., entre otros, estos datos son proporcionados por el manejo de información del producto previamente formulada en tablas que estan relacionadas con un estudio de mercado previo para saber si es factible económicamente y funcionalmente su análisis.

En el paso dos, que es el diseño inicial, se genera el modelo 3D a estudiar con sus respectivas propiedades del material, las cuales, también son obtenidos de la base de datos. Posteriormente en el paso tres, se procede a aplicar el análisis FEA y la topología de optimización, valorando el modelo conceptual a través de un análisis de elemento finito y posteriormente se le aplica la optimización estructural con ESO, buscando un factor **RR** (relación de material removido) que mantenga los esfuerzos por debajo del límite de fluencia y conforme aumenta la **RR** el volumen se reduce al removerse el material que mecánicamente no afecta la pieza, lo que implica equilibrar este punto para una aproximación de la forma casi óptima, la cual, si no es satisfactoria se procede a realizar un rediseño. Aquí hay que hacer un gran énfasis en la experiencia del diseñador o de quien aplica el método, ya que si se tiene conocimientos de fabricación, la interpretación de la forma arrojada por ESO se puede establecer de una forma más rápida y precisa, ya que se podrían haber obtenido otras geometrías como las mostradas en la figura 4.3., las cuales tienen un factor de seguridad sobrado mecánicamente hablando, y además contienen una mayor masa con respecto a la configuración óptima deseada.



Figura 4.3. Posibles propuestas arrojadas del proceso de optimización.

En cierta forma estas propuestas son válidas pero sobradas mecánicamente. Lo que hay que interpretar en el proceso de optimización es, el valor del volumen arrojado, ya que es un buen parámetro para acercarse a la forma óptima. De aquí se desprende que interiormente la pieza puede quedar hueca, por tal razón se elige el modelo geométrico de dos cilindro

huecos unidos a un tercero donde se alojaran los rodamientos para soportar el eje y que adicionalmente estos dos cilindros terminan con una cubierta por la parte superior e inferior para dos apoyos que sostendrán las rotulas, así mismo se sueldan los soportes para sostener la mordaza de los frenos y la dirección, ver figura 4.4. Posiblemente se complica el proceso de fabricación y podrían elevarse los costos pero gracias a la simulación de la manufactura flexible, se logra mantener un costo viable.

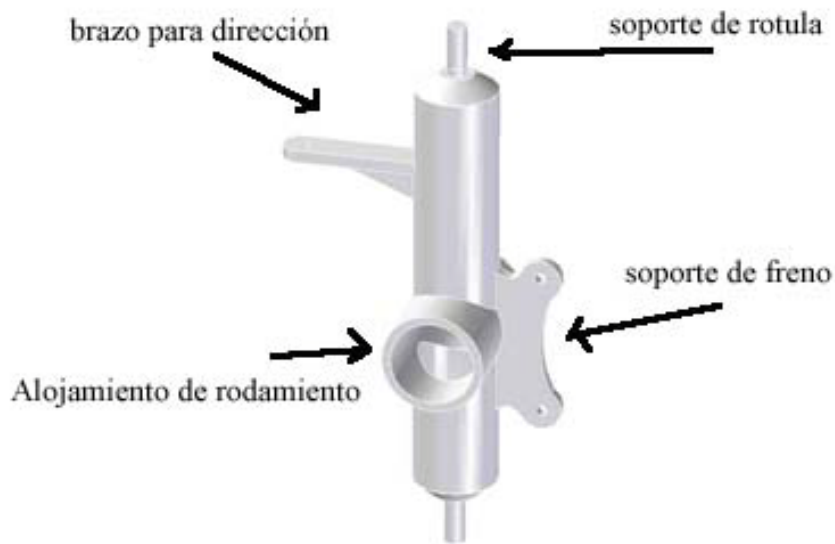


Figura 4.4. Modelo final del proceso estructural aplicado.

La interpretación de las soluciones mostradas a través de los gráficos, son aproximaciones, ya que el software utilizado (ESO) solo modela en 2D, por lo que la interpretación de piezas complicadas es más difícil de visualizar.

Pero aún así, ESO es una herramienta sumamente potencial para la optimización estructural a través de la eliminación de material, permitiendo reducir el peso a través de la remoción de elementos de bajo esfuerzo. Hoy en día, hay algoritmos de optimización que generan modelos en 3D.



Cualquiera que sea el método para realizar el análisis estructural, la importancia de aplicarlo a una integración e interacción con base de datos y la manufactura flexible, nos proporciona una herramienta de apoyo para contemplar el diseño desde una visión más productiva y eficiente.

En cuanto a los costos de producción, este se pudo disminuir evaluando algunos procesos de fabricación a través de la integración del software Promodel. Cuya herramienta tiene un potencial en la gestión de procesos, tiempos y movimientos, ver figura 4.7.



Figura 4.7. Simulación del proceso de fabricación.

Con esta herramienta se lograron realizar una serie de simulaciones donde se permitió establecer , la cantidad de líneas de producción, cantidades de máquinas, materiales, recursos, movimientos y tiempos, entre otros. Obteniendo diferentes escenarios y costos. También la planeación de la manufactura tuvo que interactuar con el manejo de información y el análisis de optimización arrojado, como se propuso en el diagrama de interacción, ver figura 4.8.

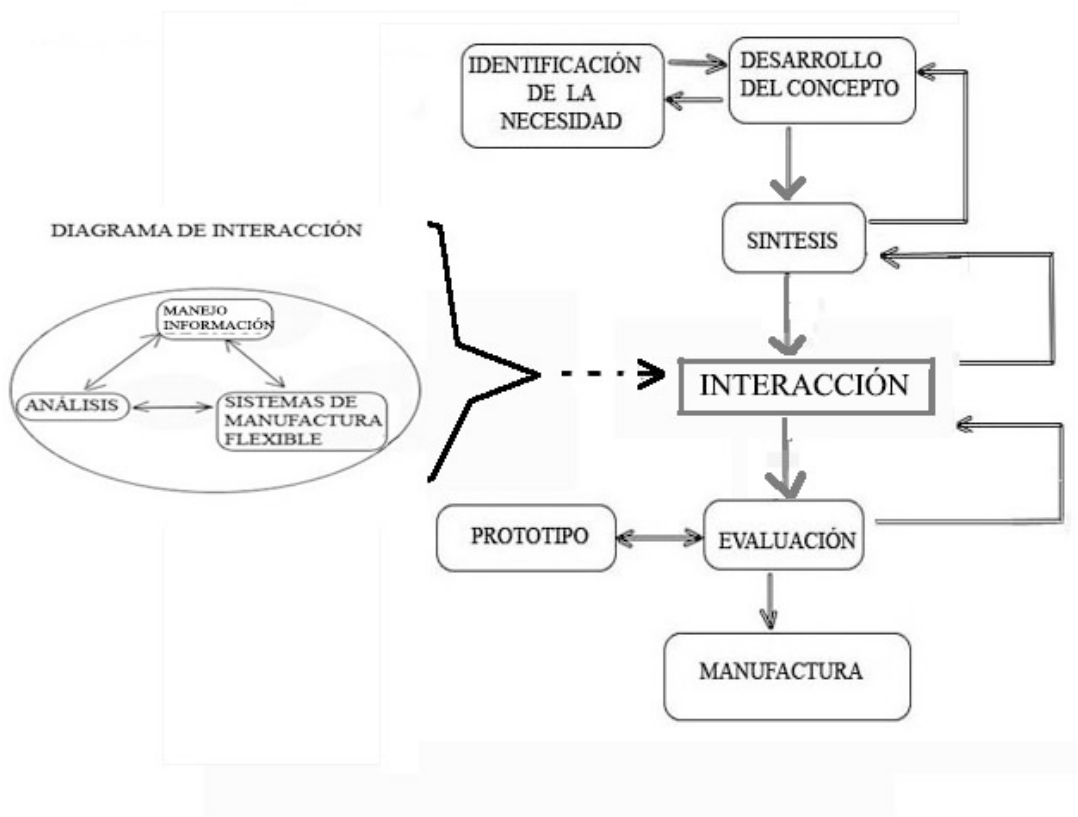


Figura 4.8 Diagrama de integración e interacción.

En cuanto a la parte de evaluación y prototipado, estas etapas se realizan siempre y cuando sea aprobado el diseño digital, decisión que no será complicada ya que teniendo una validación digital donde se puede apreciar el ahorro de recursos, tiempos y costos, simplifica la decisión.

## CONCLUSIONES

Con los análisis presentados en el capítulo 3, se logró demostrar la interacción entre el manejo de información, el análisis estructural y la manufactura flexible. Obteniéndose un detallado proceso del diseño virtual, lográndose los siguientes puntos:

1. Variar algunos contornos del modelo diseñado con el fin de mejorar su comportamiento mecánico como, por ejemplo, reducir altas concentraciones de esfuerzos que normalmente aparecen en las esquinas de las piezas o en aquellas zonas donde ocurren cambios bruscos en la forma de la sección.
2. Reducción del material de la pieza gracias al análisis de optimización a través de ESO, donde se removió lentamente el material ineficiente de la estructura, permitiendo obtener una nueva configuración de la geometría y por ende menos peso.
3. En el análisis de la manufactura de la pieza con la simulación del software Promodel, permitió interactuar con diferentes configuración del proceso permitiendo reducir tiempos y movimientos, así como la administración del herramental y maquinaria. Incidiendo esta etapa en la reducción de costos.
4. Con los datos involucrados como: variables, constantes, propiedades del material, condiciones de trabajo, costos, procesos de manufactura, herramientas, etc. entre otros, se logra crear un manejo de información del producto importante, que en un futuro le permitirá al diseñador innovar con mayor rapidez.

Por otro lado, este trabajo intenta aportar una serie de elementos, y a la vez, ser una guía para crear un puente entre el manejo de información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible dentro del Proceso de Diseño, permitiendo al diseñador tomar mejores decisiones a la hora de optimizar y elegir a través de una serie de escenarios el sistema de manufactura más adecuado para la producción de componentes mecánicos, así como, generar información para futuros desarrollos.

Además, este trabajo aporta a los estudiantes de licenciatura y postgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el procedimiento que se siguió para diseñar el poste masa de la

suspensión delantera de un vehículo prototipo para pista, así como la masa delantera de un vehículo prototipo todo terreno, a través de la ayuda de una guía o diagrama de interacción entre el manejo de información, la optimización estructural y los sistemas de manufactura flexible.

Finalmente, la importancia del diagrama de integración e interacción entre el manejo de información, el análisis estructural y los sistemas de manufactura flexible, como herramienta de apoyo dentro del proceso de diseño en las primeras etapas del proyecto hasta el producto final del diseño de piezas mecánicas para vehículos prototipo, ha permitido desarrollar un modelo virtual óptimo, de bajo costo y que ha permitido establecer el sistema de manufactura más adecuado como se mostró en los diferentes escenarios ilustrados en el capítulo 3 para la producción de las piezas analizadas.

Después de observar la aplicación del diagrama de integración e interacción propuesto en este trabajo de tesis, se puede tomar conciencia de la importancia que puede aportar el diagrama al servir como guía para reducir el tiempo consumido en el diseño y el desarrollo de un nuevo producto, así como, implicar la mejora significativamente de la calidad al utilizar los sistemas de manufactura flexible para su producción. Sobre todo la consideración debida a los requisitos industriales de la producción que es uno de los grandes desafíos.

Aún hay mucho trabajo por hacer en cada una de las áreas en las que se interactúa dentro del diagrama propuesto, pero la iniciativa de integrarlas e interactuar ha permitido dar un paso más en la innovación del conocimiento para intentar lograr mejorar el proceso del diseño planteado en este trabajo de tesis.

Por otro lado, una de las tareas posteriores a este trabajo de tesis será la inclusión de la manufactura adictiva (impresoras 3D) para la obtención de piezas prototipo para su validación física. Así como la implementación de un algoritmo que integre las bases de datos dinámicas y estáticas y pueda ser más automatizado la integración e interacción con

el análisis numérico y la manufactura flexible, como lo hace el software PLM de Siemens, que no sólo integra varios campos de la ingeniería y la administración de datos , si no que además su interacción se da en tiempo real.

En el anexo "A" se muestran algunas imágenes del diseño del poste masa de la suspensión delantera para un vehículos prototipo de pista Estadounidense, y se puede observar la comparación del diseño hecho en este trabajo y el de ellos.

En el Anexo "B" se presentan los planos de construcción, así como las tolerancias geométricas para el ensamble del poste masa, también se muestra la nomenclatura para la colocación de la soldadura.



## REFERENCIAS

### Referencias del capítulo de Introducción

[1] A W COURT, S J CULLEY AND C A MCMAHON

The Influence of Information Technology in New Product Development: Observations of an Empirical Study of the Access of Engineering Design Information.

*International Journal of Information Management*, Vol. 17, No. 5, pp. 359-375, 1997

© 1997 Elsevier Science Ltd. All rights reserved, Printed in Great Britain 0268-4012/97.

[2] STUART PUGH (1990).

Total design, Integrated Methods For Successful Product Engineering

Library of Congress Cataloging in Publication Data, First printed 1990, pp 278.

[3] STEVEN GP (1993).

" Evolutionary Structural Optimization with FEA"

Computational Mechanics, Vol 1, pp 27-34, 1993.

## Referencias del Capítulo 1

[1] ABET , (2001).

Consejo de acreditación de la ingeniería y tecnología (ABET por sus siglas en inglés) Baltimore, MD, (2001). <http://www.abet.org>.

[2] M. P. Bendsøe y N. Kikuchi, (1988).

Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method, *Comp. Meth. Appl. Mech. Engrg.*, 71, 197–224 (1988).

[3] XIE, Y.M., STEVEN, G.P., (1997).

“Evolutionary Structural Optimization”, 1ª ed., Ed. Springer, Great Britain 1997, pp. 1-40.

[4] Annicchiarico W., Cerrolaza M., (1999).

A Structural Optimization Approach and Software Based on Genetic Algorithms and Finite Elements. *Journal of Engineering Optimization*, Vol. 32: 1-31, 1999.

[5] QUERIN O.M. (2000).

“Evolutionary Structural Optimisation Using an Additive Algorithm. Finite elements in Analysis and Design”, 2000; 34: 291-308.



## Referencias del capítulo 2

[1] Drejer, I. (2002):

"Situation for innovation management: towards a contingency model", *European Journal of Innovation Management*, vol. 5, n° 1, pp. 4-17.

[2] OECD, (1992):

OECD Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data-  
Oslo Manual, Paris

[3] Forrest, J.E. (1991):

"Models of the Process of Technological Innovation". *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 3, , n° 4, pp. 439-453.

[4] Cooper, R. G. (1983):

"The new product process: an empirically-based definition scheme", *R&D Management*, vol. 13, n° 4, pp. 1-13.

[5] Bathe, K, J.;Wilson, E.L. (1976):

*Numerical Methods in the Finite Element Analysis*; Prentice Hall, Inc., London, 1976

[6] König, W.;Eversheim, W.; Celi, I.; Noken, St.; Ullmann, C. (1993),

*Rapid Prototyping - Bedarf und Potentiale*; VDI-Z135 (1993), No. 8-August,pp. 92-97

[7] Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik- Aachener Perspektiven; Hrsg. (1993),

*Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium*, VDI-Verlag Dusseldorf 1993.

[8] Berardinis, L. A.: (1994),

*Denken wie ein Ingenieur*; Tr Transfer No. 42/94.

*TECHNISCHER RUNDSCHAU*, Hallwag AG Bern, 1994

[9] S. Axsäter. (2006),

*Control de inventario*, (2<sup>a</sup> ed) Springer (2006).

[10] Baker, (1993),

*Planificación de necesidades*, SC Graves (Ed.) *et al.* , *Manuales de Investigación de Operaciones y Ciencias de la Gestión, Logística de Producción e Inventario*, vol. 4North-Holland, Amsterdam (1993), páginas 571-628

[11] P. Zipkin, (2000)

*Fundación de Gestión de Inventario*, McGraw-Hill (2000).

- [12] Tempelmeier H., (2006).  
Gestión de inventario en las redes de abastecimiento: Problemas, modelos, soluciones,  
Books on Demand GmbH.
- [13] Louly, MA, Dolgui, A., (2010).  
Fase de tiempo óptimo y la periodicidad de MRP con la política POQ. Revista  
Internacional de Economía de la Producción, doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.042 .
- [14] Graves, SC, (2011).  
La incertidumbre y la planificación de la producción. En: Kempf, KG, Keskinocak, P.,  
Uzsoy, R. (Eds.), Planificación de la Producción e Inventarios de la empresa extendida. Un  
Estado del Manual de Arte. Series: Serie Internacional en Investigación de Operaciones y  
Gestión de la Ciencia, vol. 151, pp 83-102.
- [15] SCL Koh, SM Saad, (2003).  
Ambiente de fabricación controlados por el MRP perturbado por la incertidumbre Robótica  
y Computer Integrated Manufacturing, 19 (2003), pp 157-171
- [16] DC Whybark, JG Williams, (1976).  
Requisitos de los materiales en condiciones de incertidumbre  
Ciencia Decisión, 7 (1976), pp 595-606.
- [17] A. Molinder, (1997).  
Optimización conjunta de Lot-tamaños, stocks de seguridad y los plazos de entrega de  
seguridad en un sistema MRP  
Revista Internacional de Investigación sobre la Producción, 35 (1997), pp 983-994
- [18] JA Buzacott, JG Shanthikumar, (1994).  
Stock de seguridad frente a la seguridad de tiempo de espera en los sistemas de producción  
MRP controlados.
- [19] Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. (2014).  
<http://www.plm.automation.siemens.com>. 2014
- [20] Resouce Biblioteca de Epic Data ... (2014).  
<http://www.epicdata.com/what-is-collaborative-manufacturing/>

Copyright © 2014 Epic Data, a division of Sylogist Ltd. All Rights Reserved. Call us:  
USA/Canada: 604 273 9146 or 1 877 332 3742 Europe: +44 (0) 1635 521140 - See more  
<http://www.epicdata.com/what-is-collaborative-manufacturing/#sthash.NHf1qGCL.dpuf>.

[21] Amazing AM, LLC

<http://additivemanufacturing.com/basics/>

Copyright © 2014 Amazing AM, LLC. All Rights Reserved. Product of California, USA.  
AMazing® is a trademark of Amazing AM, LLC. Use of this trademark is strictly  
prohibited unless authorized. Use of the Additive Manufacturing website constitutes  
acceptance of our Terms, Conditions and Privacy Policy.

### Referencias del capítulo 3

[1] Beer y Russell, (1988):

Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston. *Mecánica de Materiales*. 1ª Ed. Mc. Graw Hill, 1988, 618 pp.

[2] Shigley, (1990):

Shigley Joseph Edward. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. 5ª Ed., Mc. Graw Hill, 1990, 736 pp.

[3] Spyrakos, (2000):

Constantine Spyrakos, *Finite Element Modeling in engineering practice*. Distributed by Algor, Publishing Division Pittsburgh, PA. 2000.

[4] Mompín, (1988):

Mompín Poblet José, *Sistema de Fabricación CAD/CAM/CAE*, 1ª Ed., edición en castellano, publicaciones Marcambo, 1988, 386 pp.

[5] Mompín, (1996):

Fenton John, *SAE Handbook of Vehicle Design Analysis*. 1ª Ed., Mechanical Engineering Publications, 1996, 751 pp.

[6] SAE Handbook, (1990):

SAE Handbook, 1990, Vol 4 Pag. 40.03

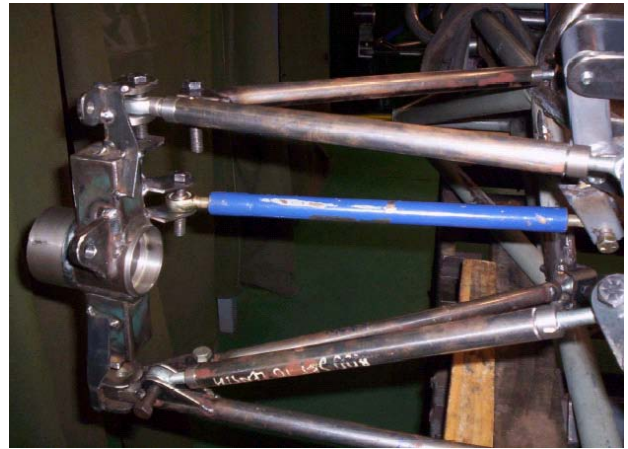
# ANEXOS

## ANEXO A

Las siguientes imágenes muestran un poste masa de una suspensión de un vehículo prototipo de pista de la University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, fabricado a partir de un perfil rectangular y un alojamiento redondo hueco para colocar un rodamiento, así como diversas piezas prefabricadas que servirán como soporte de la dirección, rotulas y los frenos, todo el conjunto unido con soldadura. Éste modelo se toma de referencia para buscar una solución mejorada y más simple para la propuesta de este trabajo.



Diseño en CAD de la propuesta del poste masa de la University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying , figura a la derecha muestra el análisis del modelo en 3D.



A la izquierda se muestra la pieza construida , mientras que a la izquierda se puede apreciar su instalación en ele sistema de suspensión delantera del vehículo prototipo de pista.

Referencia de las imágenes

Topic: System and Suspension Design

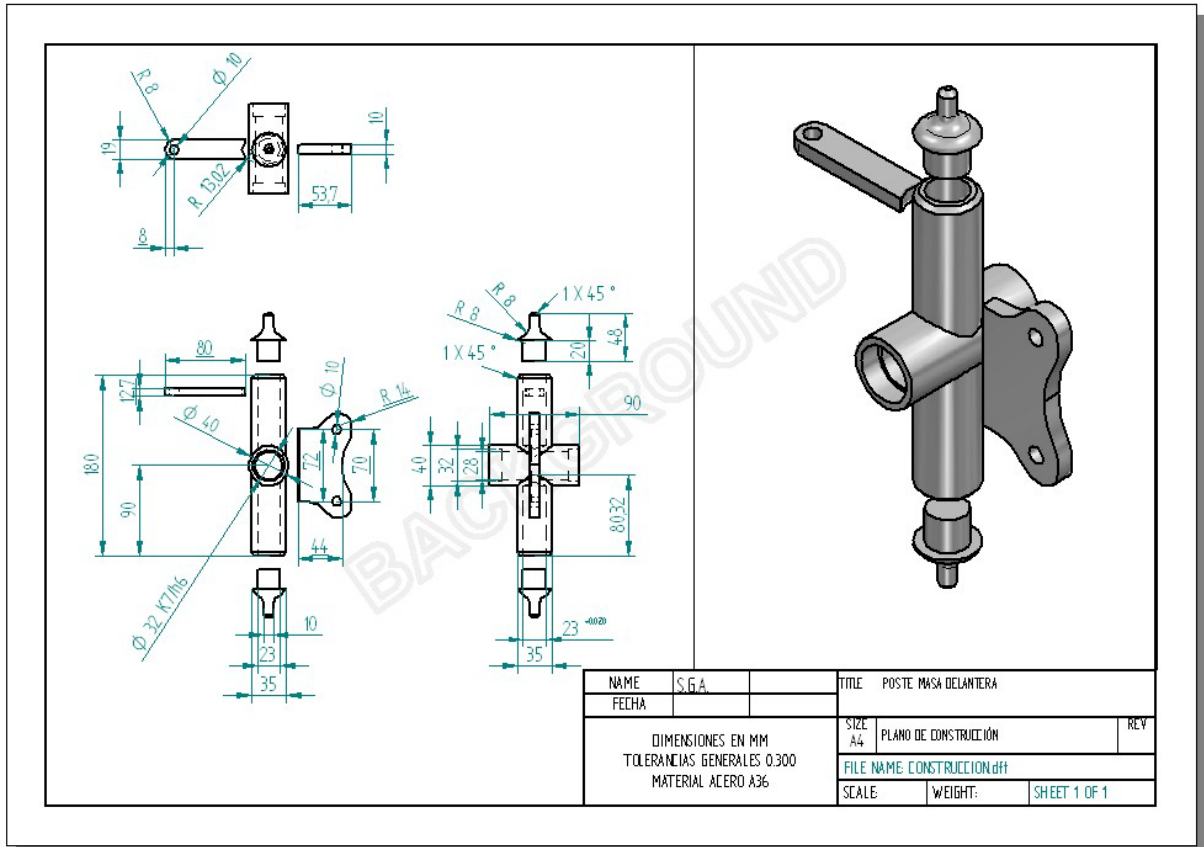
For: Cristina Elena Popa

University of Southern Queensland

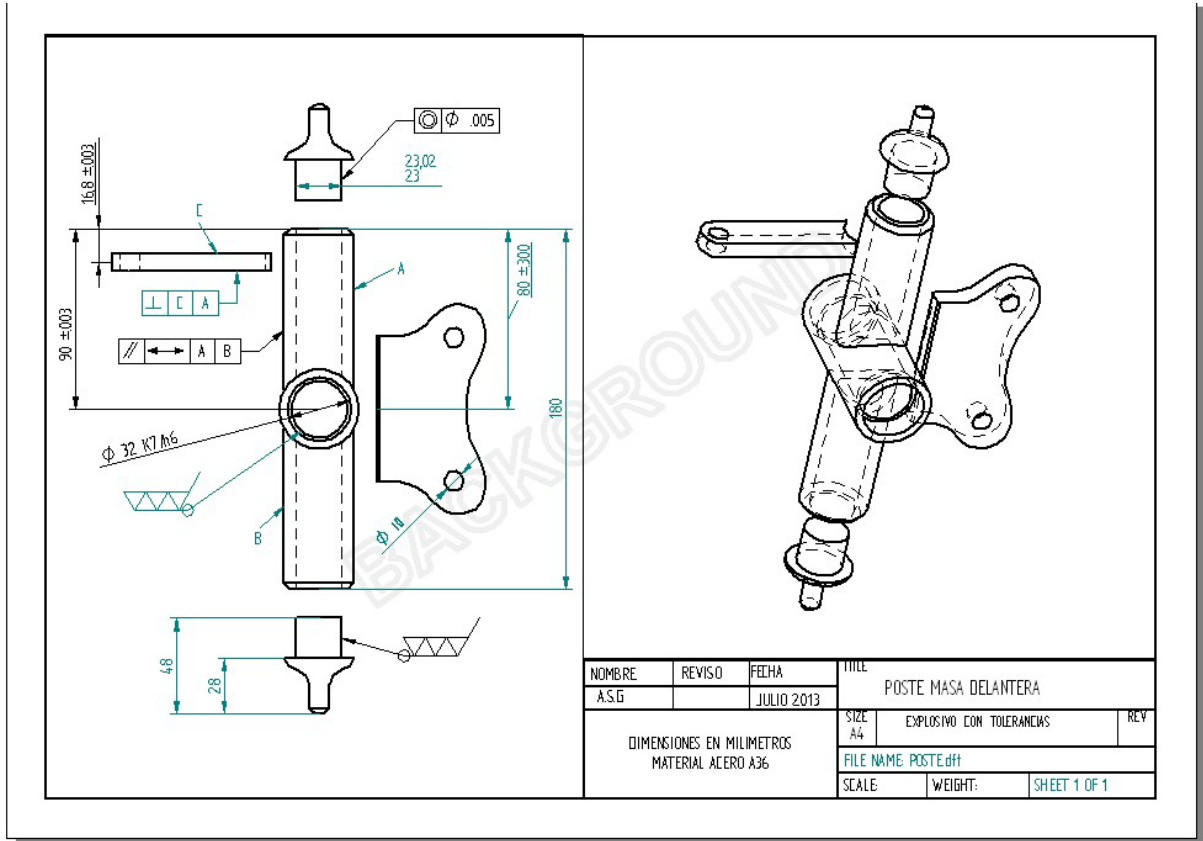
Faculty of Engineering and Surveying

# ANEXO B

## Plano de construcción



Plano de tolerancias geométricas para la unión de las diferentes piezas que componen el poste masa.





Plano indicando los diferentes tipos de unión así como su nomenclatura.

