

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACION: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	GIOVANNY ELIAS	
Apellido (s):	VALENZUELA OLARTE	
Código:	20112375039	
E-mail:	gevalenzuelao@gmail.com	
Teléfono fijo:	(57 +1) 7854467	
Celular:	(57) 3133204135	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	ERIK JAVIER	
Apellido (s):	PILPUD ROSERO	
Código:	20112375066	
E-mail:	Ejpil55@hotmail.com	
Teléfono fijo:	(57 +1)	
Celular:	(57) 3185337398	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE SOFTWARE BASADA EN METODOS DE OPTIMIZACION PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE EJES DE SECCION CIRCULAR	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto científico	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en Ingeniería Mecánica	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño, investigación documental	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Ing. Carlos Bohórquez	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Héctor Pinilla	

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO.....	1
1.1 Contexto Nacional	1
1.2 Contexto Local	2
1.3 Diagnóstico.....	3
1.4 Problema	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1 Diseño mecánico por medio de software.	5
2.2 Método de los elementos finitos	8
2.3 La simulación en ingeniería	11
2.3.1 HPC o informática de alto rendimiento.	11
2.3.2 Recursos centralizados.	11
2.3.3 Simulación distribuida.	12
2.3.4 –Interfaz para la gestión del ciclo de vida y del conocimiento del producto.	12
2.3.5 Soporte para la escalabilidad extrema en las grandes empresas.	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo General.....	15
4.2 Objetivos Específicos.	15
5. MARCO TEORICO.	15
5.1 Métodos de optimización.	15
5.2 Pos procesado de resultados.	16
5.3 Optimización bajo el entorno de MATLAB.....	17
5.4 Programación No Lineal	18
5.5 Optimización multiobjetivo	19
5.6 Diseño mecánico de un eje.....	19
6. METODOLOGÍA	22

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	23
8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	24
9. BIBLIOGRAFÍA.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades	23
Tabla 2. Presupuesto General del proyecto	24
Tabla 3. Recursos humanos.	24
Tabla 4. Recursos de Materiales.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Optimización de un eje por algoritmos genéticos.	16
Figura 2. Modelo de elementos finitos (FEM/FEA).....	17
Figura 3. Varios métodos de sujeción de elementos a flechas.....	20

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

1.1 Contexto Nacional

Las compañías de fabricación buscan productos de alta calidad, gastan mucho tiempo y dinero en el monitoreo y el control de algunas de las variables. La variación dimensional en las piezas de producción se acumula estadísticamente y se propagan a través del ensamble, causando características críticas en el producto final. Dichas características generan mayores costos durante el ensamble, requiriendo extensos reprocesos o piezas que desechar. También puede producir un desempeño no satisfactorio del producto final, incrementando drásticamente precios de garantía y creando clientes insatisfechos.

En Colombia se han desarrollado programas y parámetros para la optimización de ejes pero no por métodos matemáticos de optimización basados en optimización dimensional sino por medio de algoritmos genéticos en los cuales no aplican una herramienta interactiva sino que implementan algoritmos NSGA son una solución. Se le asigna un valor ficticio de adecuación, siendo mayor este valor para las soluciones clasificadas, estos algoritmos son mucho más complejos, los algoritmos genéticos a diferencia de los elementos finitos maximizan o minimizan más de una función las cuales permiten hallar en un tiempo corto soluciones óptimas a problemas con dos o más objetivos.

El problema consiste en minimizar simultáneamente el peso y la deflexión lateral máxima de un eje. Si el peso del eje disminuye, es porque su volumen también disminuye, así su sección transversal será más pequeña disminuyendo la rigidez y por tanto aumentando la deflexión lateral máxima. Mientras que los elementos finitos no tienen como grado de libertad la rotación de sus nodos; si no que esta rotación es calculada a partir de los desplazamientos relativos entre los mismos. Esto implica que la rotación de los nodos se encuentra penalizada y es constante dentro del elemento, es decir, es una consecuencia de los desplazamientos nodales relativos y no un grado de libertad.

A nivel industrial, en nuestro país, no se optimizan sólo piezas, es necesario, también, trabajar en la optimización de procesos que conlleven a obtener parámetros de diseño sofisticados.

En el de diseño de elementos de máquinas, las escuelas de ingeniería mecánica han utilizado tradicionalmente programas y técnicas matemáticas basados en la física mecánica y todas su ramas de aplicación que dan una visión amplia de los procesos de diseño y presentan las herramientas básicas para realizar los cálculos; pero no entregan elementos suficientes para la toma de decisiones en el momento de enfrentar

un problema real. Cada una de estas ramas ha contribuido al desarrollo de herramientas que permiten establecer apropiadamente los valores dimensionales en los ensambles mecánicos, pero ninguna ha abordado el proceso de dimensionamiento de partes mediante la optimización de geometrías siguiendo metodologías con procesos matemáticos de iteración para el análisis de un mecanismo o diseño en particular.

1.2 Contexto Local

En el contexto de la ciudad región, la Universidad Distrital y Bogotá presentan niveles de crecimiento significativo en los últimos años, se ha construido un entorno de innovación que ofrece ventajas competitivas y de desarrollo válidas para implementar estrategias de ciencia y tecnología¹, en las cuales se ha implementado en ingeniería mecánica políticas de investigación propuestas para el avance tecnológico por medio de software computacionales los cuales han sido adquiridos para el crecimiento y el desarrollo de proyectos en los cuales se implementen herramientas y se apliquen conocimientos obtenidos en asignaturas, en nuestro caso la optimización se está implementado en muchos de los proyectos con el fin de aprovechar las herramientas computacionales como ANSYS , MATLAB.

Esto abre un abanico bastante amplio que debe ser abordado en forma integral. Para ello es necesario integrar de forma adecuada las nuevas técnicas de diseño en pro de mejorar el trabajo como ingeniero.

Ya no basta sólo con hablar del diseño de un eje con sus fórmulas y procedimientos técnicos. Es necesario complementar este conocimiento con temas relacionados: los niveles de ruido que generan (ambiental), la responsabilidad de asegurar un diseño confiable que no traiga riesgos a quien lo implemente (lo humano), la necesidad de buscar en informes para datos actualizados, las modificaciones que permanentemente se hacen a los procedimientos de diseño además de fabricación (actualización permanente y aspectos socioeconómicos), todo con el propósito de incluir en nuestros cálculos, procedimientos incluso en procesos de ingeniería el concepto de un diseño óptimo.

Una de las herramientas efectivas para el control dimensional consiste en el análisis por medio de elementos finitos y el uso de métodos numéricos y operaciones matemáticas de maximización y minimización que nos permiten controlar y hallar resultados adecuados para el diseño.

Gracias a estas herramientas, es posible predecir y calcular dimensiones y simular comportamientos físicos; pero entre sus mayores dificultades, el manejo y entendimiento adecuado del uso de estas herramientas a limitado en gran medida la masificación de usuarios con capacidades altas de crear diseños óptimos.

En cuanto al uso de programas para desarrollar diseños por elementos finitos, en el mundo es bastante costoso trabajar bajo estos entornos siendo así, una de sus

¹UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016* (pp. 67). 2007. Bogotá, Colombia.

grandes desventajas. Para optimizar, se necesita además del software, un tiempo considerable para hallar una solución y lograr una correcta configuración para el análisis que se desea realizar; en el ámbito mundial muchas son las empresas y compañías que utilizan el método de optimización por medio de elementos finitos para reducir muchos factores que conllevan a un diseño de ingeniería. El concepto de optimización empleando técnicas matemáticas implica definir inicialmente una función objetivo, que relacione entre sí las variables de estado cuantificables en el aspecto que corresponda al problema por optimizar; luego aplicarle alguna técnica para calcular los máximos o mínimos, como el método simplex, la derivación matemática igualada a cero, el análisis del gradiente, etc. Con el propósito de restringir el conjunto universal de las soluciones al de las soluciones-factibles, es necesario establecer ecuaciones que relacionen las variables de diseño con las variables de estado.

Desarrollar la optimización de ejes implementado métodos de optimización en una aplicación de software donde por medio de unos parámetros dados sea posible encontrar dimensiones de diámetros mínimos para ejes bajo cargas definidas, no se ha realizado hasta el momento en la universidad Distrital, lo cual nos motiva para llevar a cabo este proyecto.

1.3 Diagnóstico

Evidenciando que no se ha realizado investigaciones en base al tema de la optimización aplicada a los ejes de máquinas de sección circular, y que no se ha trabajado en la programación estructurada para la creación de aplicaciones sistematizadas basadas en métodos numéricos, la propuesta de implementar estas técnicas de diseño por el Ing. Carlos Bohórquez a través de sus trabajos en esta área y la intención de crear aplicaciones que faciliten el trabajo matemático del ingeniero permitiendo reducir la limitación frente al manejo adecuado de complejas estructuras matemáticas que nos acercan cada día a mejorar nuestro desempeño en el trabajo de diseños óptimos y de mejor desempeño.

1.4 Problema

El problema que asume el presente proyecto consiste en desarrollar una aplicación de software basada en métodos matemáticos aplicados a la optimización geométrica de ejes de sección circular teniendo en cuenta los tipos de cargas y comportamiento más comunes en este tipo de elementos mecánicos, con el fin de encontrar la geometría óptima de la pieza para las especificaciones requeridas. El problema consiste básicamente en la optimización de las dimensiones (b_1 y b_2) de eje de sección circular, de tal manera que se minimice la máxima deflexión presente en el extremo libre del eje. La inversión realizada en este software, por parte de la Facultad de la Universidad Distrital, y la necesidad de dominar un programa como Matlab, el cual permite el desarrollo y la difusión del conocimiento alrededor de temas de interés, justifican el hecho de hacer un proyecto y a su vez una investigación que permita presentar las herramientas básicas para la optimización de modelos matemáticos aplicados a un eje de sección circular. Concepción de un diseño utilizando el cálculo de engranes cilíndricos rectos y helicoidales

Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de presentar un nuevo método para facilitar la identificación y optimización de los perfiles para ejes de sección circular. El hecho de alcanzar los objetivos marcados en este proyecto representará un avance en la comprensión y parametrización del comportamiento en el fallo de dichos perfiles, la cual permitirá hacer unos cálculos más realistas y más precisos. Esto puede suponer en muchos casos una reducción del número de ensayos necesarios y una optimización del material y de la sección del perfil. Todo esto se traducirá, finalmente, en un ahorro económico.

2. ESTADO DEL ARTE

En el análisis de la diferente información recolectada para la delimitación del tema para este proyecto se encuentran varios tipos de fuentes, de las cuales se van a trabajar las académicas, tales como artículos, trabajos de grado, tesis, informes de investigación, entre otras. En el desarrollo del proyecto el estado del arte abrevia y organiza los resultados dentro de un marco conceptual y de tiempo definidos en una forma novedosa que integra y agrega claridad al campo específico en el que se está trabajando.

Las fuentes seleccionadas fueron de acuerdo a diferentes criterios, como la optimización dimensional, métodos matemáticos para maximizar y minimizar ecuaciones, el análisis de optimización dimensional basada en elementos finitos, aplicaciones de software que trabajen bajo métodos numéricos; también criterios tales como el conocimiento básico para la posterior selección de nuevas fuentes de información para el trabajo final.

Son pocos los autores que han abordado la optimización de dimensiones en software y sus procedimientos se han enfocado en tres ramas fundamentales:

- Optimización por elementos finitos utilizando herramientas computacionales complementarias al CAD que permiten al usuario representar modelos de un diseño y sus respectivos cálculos con la asignación apropiada de límites en las dimensiones. Desde la década de 1980, tres instrumentos han revolucionado el tratamiento de diseño en el mundo de la industria: CAD, CAE y CAM. En estas técnicas se eliminan prácticamente las tareas de dibujo y cálculo manual, gracias a lo cual diseñadores y fabricantes cometen menos errores en los diseños de la pieza, la selección del material y las configuraciones de las herramientas.
- Resistencia de materiales en el cual se verifican los efectos de un valor determinado de una estructura o pieza en la funcionalidad del ensamble (acumulación de tolerancias) así como en otras variables asociadas como costo, calidad y cantidad de material.
- Diseño por elementos finitos donde a partir de la información y requerimientos funcionales del producto se estructuran modelos matemáticos.

En Latinoamérica en Chile, Argentina y México se han desarrollado programas de optimización por medio de algoritmos genéticos, éstos programas pero estos programas no son interactivos puesto que el algoritmo genético es de gran valor, pero lo tienes que usar con criterio y partiendo al menos de DOS o TRES puntos de partida diferentes, para buscar tu óptimo. Es decir muestras estadísticas de diferente cantidad de datos. Preferentemente conjuntos y subconjuntos de los mismos datos. Estos programas son más usados en los ingenieros electrónicos y en los ingenieros de sistemas. El Análisis Experimental de Esfuerzos en la Optimización de Diseños Mecánicos² es un proyecto realizado en México puesto que al diseñar productos mecánicos estos se conciben primero para satisfacer su destino de uso al menor costo posible; enseguida se calculan y optimizan sus componentes para evitar su falla considerando los límites de sus variables de estado, aplicando los criterios de diseño que correspondan al caso que se trate. Las teorías de falla por esfuerzos son uno de los criterios de diseño más utilizados, las cuales en esencia requieren determinar de inicio deformaciones.

2.1 Diseño mecánico por medio de software.

Se ha probado que el uso de métodos numéricos es una herramienta muy importante para solucionar problemas complejos en distintos campos de la ingeniería, su capacidad de aproximar soluciones de ecuaciones diferenciales sobre ámbitos complejos de espacio y tiempo, puede ser utilizada con éxito para obtener soluciones numéricas de modelos complejos. Al momento de aplicar las Matemáticas a situaciones del mundo real nos encontramos a menudo con problemas que no pueden ser resueltos analíticamente o de manera exacta y cuya solución debe ser abordada con ayuda de algún procedimiento numérico. Un método numérico es un procedimiento mediante el cual se obtiene, casi siempre de manera aproximada, la solución de ciertos problemas realizando cálculos puramente aritméticos y lógicos.

Varias recopilaciones a nivel mundial en cuanto a optimización por modelos de elementos finitos son aplicadas al análisis estructural, concretamente estas técnicas son aplicadas a un modelo computacional, implementando métodos numéricos; así por ejemplo, el software ANSYS permite definir restricciones, cargas y parámetros físicos.

En el diseño mecánico, definir la geometría correcta para una pieza que requiere de diversos cálculos y aplicación de métodos numéricos y matemáticos que permitan conocer el comportamiento real de un diseño, mejorar y optimizar el funcionamiento de una pieza es el trabajo del diseño mecánico con el propósito de crear y producir cada día equipos con mejor rendimiento y menores costos.

Sin embargo, para determinar teóricamente los esfuerzos puntuales en objetos con forma, propiedades y condiciones de frontera complejas, el Método del Elemento Finito

²[HTTP://WWW.CICATAQRO.IPN.MX/ES/TECNOLOGA/V1N3A3.PDF](http://www.cicataqro.ipn.mx/es/tecnologia/v1n3a3.pdf) R. Torres-Martínez, E. D. Carro-Hernández, Espinoza-Bustos, J. A. Huerta-Ruelas Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN. Unidad Querétaro, 76001, Querétaro, Qro., México, consultado noviembre 9 de 2012.

es una opción que permite obtener resultados con exactitud admisible y factibilidad técnico-económica en constante aumento. Aunque el análisis no es en todos los puntos, da información de campo completo, ya que se divide geométricamente el objeto en pequeños elementos, a través de los cuales la propagación de esfuerzos es relativamente fácil de establecer usando una función de interpolación o y métodos numéricos para el cálculo.

Respecto al Análisis Experimental de Esfuerzos (AEE), éste se hace principalmente donde es posible simplificar el caso general a otro con menos incógnitas y puntos de medición. Dado que en la mayoría de los problemas prácticos los esfuerzos relevantes tienen lugar en la superficie del cuerpo, el problema se reduce a dos dimensiones y está accesible a los medios de medición; adicionalmente se requiere determinar la dirección alrededor del punto de medición en la cual el valor del esfuerzo es el máximo, para compararlo con el admisible por el material o por el destino de uso del componente.

Ye y Salustri³, introdujeron un nuevo método de ingeniería concurrente para la asignación de tolerancias y construyeron un modelo de optimización no lineal para implementarlo. El modelo minimizaba las pérdidas de calidad y los costos de manufactura simultáneamente en una función uni-objetivo ajustando las tolerancias de diseño y las del proceso. Singh et al.⁴ Exploraron la aplicación de algoritmos genéticos para obtener la solución óptima de un set de problemas de diseño de tolerancias con conjuntos con la participación de cadenas de una dimensión de procesos alternativos. Prabhakaran et al. Usaron algoritmos genéticos para la asignación de tolerancias óptimas para superar las deficiencias en el análisis convencional de tolerancias amontonada y el sistema de asignación. Prabhakaran et al.⁵ Introdujeron un algoritmo de colonia de hormigas, algo así como un enfoque metaheurístico como una herramienta de optimización para minimizar la desviación de la dimensión crítica y asignando las tolerancias óptimas basadas en costo.

Un eje es un componente mecánico rotacional cuya función principal es la transmisión de un movimiento, potencia y momento torsor, la importancia de estos componentes mecánicos está en que su presencia es necesaria en la mayoría de las máquinas. Todo diseñador de maquinaria debe tener todos los conocimientos y técnicas necesarias para el diseño y fabricaciones de estos elementos.

El diseño de ejes es una tarea muy compleja y sistemática en la cual se consideran mínimo dos tipos de características.

³ YE, B. SALUSTRI, F. Simultaneous tolerance synthesis for manufacturing and quality. 2003. Res Eng Des 14(2). p. 98–106.

⁴ SINGH, Pradeep. JAIN, SC. JAIN Pramod. Tolerance allocation with alternative manufacturing processes- suitability of genetic algorithm. 2003. Proceeding Inst Mechanical Engineers. p. 22– 34.

⁵ PRABHAKARAN, G. ASOKAN, P. RAJENDRAN, S. Sensitivity-based conceptual design and tolerance allocation using the continuous ants' colony algorithm (CACO). 2005. p. 516–526.

- Criterios de Resistencia de Materiales: incluye el análisis de la resistencia del material bajo cargas estáticas y el comportamiento de los elementos bajo cargas constantes, considerando los concentradores de esfuerzo, lo que se busca es prevenir las fallas del elemento generadas por la presencia de cargas estáticas y dinámicas.
- Criterios de Rigidez: Se refieren a las deformaciones sufridas por la geometría del elemento sometido a cargas externas, el objetivo es mantener las deformaciones del elemento dentro de los rangos permitidos.

Es por esto que es necesario e importante tener los parámetros de selección en un nivel óptimo, es decir que sea seguro pero que a su vez sea económico, lo que se busca con este proyecto es lograr encontrar la geometría adecuada pero que está a si mmo cumpla con todos los parámetros de diseño y de resistencia.

Uno de los caminos efectivos para mejorar la eficiencia de diseño y reducir el tiempo y los costos de manufactura es integrar las dos diferentes etapas en una. En un sistema de desarrollo concurrente, podemos hacer uso de la información del proceso de planificación en la etapa del diseño de la estructura del ensamble.

El método tradicional de diseño de ejes, luego de un trabajo arduo de iteración, permite hallar una única configuración geométrica para un diseño adecuado del eje. Con la aplicación que se va a desarrollar, el objetivo principal permite hallar rápidamente configuraciones geométricas distintas para las mismas condiciones iniciales de carga, todas ellas son configuraciones óptimas.

En el mundo actual de desarrollo y diseño de ingeniería es obligatorio disponer de una plataforma de software que acelere la exploración profunda del diseño de producto diversos y complejos, dijo Sandeep Sovani⁶, director del sector de la automoción de ANSYS, la arquitectura del software de ANSYS es intencionadamente adaptativa, abierta y flexible, diseñada de modos que pueda interactuar dentro de ambientes de simulación de ingeniería más amplios de CAD. En la actualidad, el método de los elementos finitos está ampliamente aceptado como la técnica más eficaz para obtener soluciones numéricas de problemas estructurales.

En los tiempos antiguos el diseño de ejes consistía simplemente en repetir lo que se había hecho en el pasado, con muy poco conocimiento del comportamiento del material o de la teoría estructural. El éxito o el fracaso se determinaban simplemente según la resistencia y la carga real en el eje. En aquella época la experiencia era el único maestro; en la actualidad todavía es un elemento importante de un buen diseño.

⁶ Manager - Global Automotive Strategy en [ANSYS, Inc.](#)
Founder en Hybrid Electric Vehicles Michigan
Technical Session Organizer and Chair (Aerodynamics) en Society of Automotive Engineers International (SAE)

2.2 Método de los elementos finitos

El proceso de diseño y fabricación de cualquier sistema mecánico es un proceso largo y complejo. Antes de plantearse el diseño de cualquier elemento o parte de una máquina es imprescindible intentar predecir el comportamiento de cada una de las piezas por separado así como las posibles interacciones entre ellas. Esta etapa debe ser el punto de partida de todo ingeniero para conseguir un diseño lo más eficiente posible. Este primer paso consiste en la creación de un modelo que tenga en cuenta los diferentes conceptos matemáticos y físicos que rigen el funcionamiento del sistema a construir. El resultado es un sistema de ecuaciones con diferentes incógnitas que determinan el comportamiento del objeto de estudio. En multitud de ocasiones los modelos están formados por infinidad de ecuaciones diferenciales⁷.

La dificultad resultante para obtener soluciones analíticas de estas ecuaciones se manifiesta en el uso habitual de modelos más simples que se basan en resultados experimentales. La experiencia o ciertas soluciones matemáticas concretas son, en otras ocasiones, las que referencian un patrón más fiel.

A lo largo de la historia se ha llevado a cabo esta simplificación de los sistemas reales a modelos más simples constantemente. Actualmente se siguen simplificando los modelos pero gracias a los avances tecnológicos cada vez se tiende a realizar modelos más acordes con la realidad. La técnica numérica más utilizada por presentar mayores y mejores resultados son los denominados elementos finitos.

El método de elementos finitos consiste en la simulación de un proceso físico real (con su geometría y cargas) mediante un modelo matemático. Se aproxima la realidad mediante simplificaciones matemáticas. El concepto básico del método consiste en la discretización de la región continua objeto de estudio, dividiéndola en pequeños elementos interconectados entre sí (llamados elementos). De esta forma se consigue pasar de las infinitas incógnitas de un modelo físico real a un número finito de incógnitas del modelo de elementos finitos.

En cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- Dominio: espacio geométrico en el cual se analiza el sistema.
- Condiciones de contorno: variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas...
- Incógnitas: variables del sistema que se deseen conocer después de que las condiciones de contorno hayan actuado sobre el sistema.

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, discretizar el dominio en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (caso tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total se aproxime mediante

⁷http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/8304/1/SIMULACION_MEDIANTE_LS-DYNA_ENSAYO.pdf.

Consultado el 9 de noviembre de 2012

un conjunto de elementos. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se calculan las incógnitas del problema. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo. Una vez se han obtenido los valores de las incógnitas (únicamente calculados en los nodos), la función de forma es la encargada de calcular los valores de los grados de libertad en otros puntos diferentes a los nodos del sistema.

El principal inconveniente del FEM, aparte de que resulte más o menos costoso construir el modelo de elementos finitos, es el número relativamente alto de elementos necesarios (y por lo tanto de grados de libertad), lo que implica tiempos de cálculo importantes y un elevado número de posibles modos de pandeo que el FEM no es capaz de distinguir y clasificar automáticamente. Como consecuencia, es el usuario quien debe clasificar los modos obtenidos haciendo un análisis visual de las deformadas, lo que implica consumo de tiempo y convierte el proceso en altamente subjetivo.

El manejo de las hipótesis anteriores referentes a las relaciones entre las deformaciones y los desplazamientos junto a la introducción de unas funciones de forma elíptica y de acuerdo con las leyes constitutivas del material, se puede llegar a demostrar la ecuación de equilibrio que acaba resolviéndola.

La función de forma se asume en el momento de la elección del tipo de elemento, es decir, cada tipo de elemento lleva implícita una determinada función de forma. Por tanto, la exactitud de los resultados dependerá tanto del número de nodos que se definan como de la correcta elección de la función de forma.

La herramienta ANSYS WORKBENCH ofrece un potente entorno para la automatización de tareas, pudiéndose además combinar con programas externos (SOLIDWORKS y MATLAB en este caso), mediante la utilización de macros definidos.

La estructura del parche y todos los datos que necesita el paquete ANSYS para realizar las simulaciones se pueden definir desde WORKWENCH, se crea un fichero base, con todos los parámetros utilizando los macros y este software realiza las simulaciones, se le pasa como parámetro a ese fichero.

Una vez ha sido realizada con éxito la simulación de individuo en cuestión y debido a las instrucciones recibidas en el fichero que se creó como parámetro y este deposita los resultados obtenidos en ciertos ficheros que posteriormente serán procesados en este software, cuando el algoritmo ha evaluado la función, realiza la selección de individuos y las operaciones de cruce y mutación de los mismos con el fin de obtener la siguiente generación y repetir de este modo el proceso.

Para que el proceso de diseño se desarrolle de forma satisfactoria es importante que introducir un cambio y analizarlo no suponga demasiado tiempo ya que el número de

modificaciones a analizar será importante. Bajo esa idea se realiza un modelado en ANSYS que permite estudiar el prototipo y obtener resultados de una forma rápida y utilizando la mayor cantidad de parámetros posibles.

La optimización del diseño es una técnica que permite determinar el mejor diseño o el diseño óptimo, un diseño óptimo, es que reúne toda una serie de requisitos específicos, pero con un costo mínimo de ciertos factores, tales como el peso, el área el volumen, los esfuerzos, etc. En otras palabras, el diseño óptimo es normalmente aquel que logra ser lo más eficaz posible.

El programa ANSYS ofrece dos métodos de optimización que son adaptable a una amplia gama de problemas. El método de aproximación del problema, que es un método de orden cero avanzado que se puede aplicar eficazmente a la mayoría de problemas de ingeniería; y el método de primer orden, que se basa en la sensibilidad del diseño y está recomendando para problemas que se requiere gran exactitud .

La base de datos de optimización contiene el último entorno de optimización, e incluye las definiciones de las variables de optimización, los parámetros, todas las especificaciones de optimización y los conjuntos de diseño acumulados. Esta base de datos puede ser salvada o resumida a cualquier tiempo en el optimizador.

El diseño de Optimización representa una herramienta de competitividad extremadamente eficiente para las empresas dedicadas al diseño de maquinaria e infraestructura, dada la gran variedad de posibilidades de optimización flexible y adaptable por medio de la parametrización de modelos. El caso estudiado demuestra el potencial de estas aplicaciones de la informática en el diseño estructural óptimo.

Matlab es un lenguaje técnico computacional y un ambiente interactivo para el desarrollo de algoritmos, visualización y análisis de datos, y computación numérica. Es usado en una gran variedad de aplicaciones, como el procesamiento de señales e imágenes, comunicaciones, modelado y análisis, entre otros. Se pueden añadir toolbox, los cuales son colecciones de funciones para un propósito en especial, que extienden las funcionalidades de Matlab. Uno de estos, es el toolbox de Optimización, el cual provee algoritmos para resolver diferentes tipos de problemas de optimización, con restricciones o sin ellas; los cuales incluyen programación lineal, programación cuadrática, minimización (maximización) de funciones de una o varias variables, solución de sistemas de ecuaciones no lineales, entre otros⁸.

El toolbox de optimización de Matlab es un conjunto de funciones (almacenadas en m-files) que proveen algoritmos para solucionar diferentes tipos de problemas. Además, posee una interfaz gráfica que facilita a los usuarios menos experimentados usar fácilmente el toolbox, sin necesidad de hacer uso de código.

⁸ Tomado de: <http://www.mathworks.com/products/optimization/> consultado el 11 de noviembre de 2012

El toolbox de optimización consta de distintos solver que solucionan gran variedad de problemas. Con el propósito de ayudar al usuario a seleccionar el solver para un problema específico, que proporcionan, a partir de los tipos de funciones objetivo y de restricciones, las funciones que deben usarse.

2.3 La simulación en ingeniería

La simulación en ingeniería puede consumir un gran número de recursos informáticos cuando se trabaja en el diseño óptimo de un producto. En algunos casos, como el análisis de fluidos en un reactor nuclear o en los vasos sanguíneos de un ser humano, realizar pruebas virtuales es el único método eficaz para hacerlo. Para sacarle el mayor partido a las inversiones que se realizan en I+D+i es necesario disponer del entorno informático y el software más adecuados para ello⁹.

Ansys, empresa especializada en el desarrollo y comercialización de software y tecnología para la simulación en distintos sectores industriales, ha elaborado una lista con los cinco elementos claves que las compañías más punteras están persiguiendo para acelerar sus trabajos de ingeniería en el diseño de nuevos productos, consiguiendo agilizar su puesta en el mercado a un menor coste:

2.3.1 HPC o informática de alto rendimiento.

Las empresas están reemplazando el uso de ordenadores personales independientes por el de grandes ordenadores multiprocesadores. Esto es especialmente importante a la hora de llevar a cabo grandes simulaciones con un alto nivel de detalle y precisión, así como para realizar rápidamente análisis de múltiples escenarios de diseño (DOE). La informática de alto rendimiento puede ser un factor estratégico en la expansión del uso de la simulación para obtener éxitos comerciales. Utilizar HPC para la simulación en ingeniería ofrece una ventaja competitiva, al mejorar el proceso de desarrollo de productos y aumentar la productividad de los usuarios que trabajan con simulación.

2.3.2 Recursos centralizados.

Para ahorrar costes y optimizar recursos, muchas empresas están volviendo a usar los centros de datos centralizados que garantizan un acceso controlado de analistas e ingenieros en todo el mundo.

⁹<http://www.muycomputerpro.com/2012/04/19/claves-simulacion-ingenieria-diseno-productos/> consultado el 11 de noviembre de 2012.

2.3.3 Simulación distribuida.

Las preferencias de los usuarios se inclinan cada vez más hacia opciones tales como el multi-core, el multiprocesador y el cloud computing, frente a grandes procesadores de gran potencia. Al ser el software de simulación en ingeniería cada vez más escalable, y debido al aumento de la demanda para el diseño de experimentos y la optimización, las empresas necesitan llevar a cabo un gran número de simulaciones de forma simultánea. Cada una puede ejecutarse en paralelo en varios procesadores o cores a la vez para acelerar el proceso de diseño y el tiempo de comercialización. Esta tendencia implica tener la flexibilidad informática necesaria para ejecutar simulaciones de gran importancia en cientos de cores, realizar múltiples simulaciones en paralelo en un grupo reducido de procesadores y/o realizar numerosas simulaciones sistemáticamente.

2.3.4 –Interfaz para la gestión del ciclo de vida y del conocimiento del producto.

Los aumentos en la capacidad de cálculo y potencia de almacenamiento impulsan una mayor adopción de la simulación en ingeniería. El valor de esto, sin embargo, puede ser limitado si la gran cantidad de datos no se gestiona de forma adecuada. Un buen sistema de gestión de datos debe estar integrado con el software de ingeniería y operar en un entorno de hardware que permita el acceso remoto y controlado, y que ofrezca un retorno significativo de las inversiones tanto a nivel de hardware como de costes de la simulación. Entre las herramientas de gestión de datos podemos encontrar las de gestión de conocimiento de ingeniería (EKM), gestión de proceso de datos (PDM) o gestión de ciclo de vida del producto (PLM).

2.3.5 Soporte para la escalabilidad extrema en las grandes empresas.

El aumento en la capacidad de cálculo impulsa el despliegue de tecnología en el proceso de diseño: modelado avanzado, integración automática y análisis multifísico. Estas herramientas pueden reducir el tiempo de puesta en marcha del proyecto, proporcionar resultados más precisos para los prototipos virtuales finales y reducir la necesidad de usar prototipos físicos. Pero esto implica una infraestructura que pueda soportar el pre-procesamiento, la solución y el post-procesamiento a gran escala.

El uso de software permite al ingeniero, efectuar los cálculos de diseño de elementos de máquinas según las normas internacionales ISO, DIN etc. determinando los valores de resistencia y vida de manera rápida y segura. Además, para los ingenieros diseñadores que tienen exigencias más especiales, MATLAB y ANSYS, estos programas ofrecen unas herramientas de optimización adicionales.

En este proyecto les mostraremos las herramientas de Optimización complejas como el análisis de contacto que permite combinar varias correcciones en la forma del diente y la geometría de los ejes, o cómo relacionar el factor de anchura con la flexión del eje, o cómo determinar las correcciones en un sistema planetario. Así ofrecemos una vista de la situación actual de la tecnología además de las más recientes prácticas de trabajo en el área del cálculo para optimización de ejes y engranes.

Cómo realizar con éxito un proyecto de diseño utilizando herramientas de optimización. Para ello se debe tener en cuenta, definición de parámetros, optimización de la geometría, Optimización de los parámetros de diseño, bombeado y modificación del perfil. Estrategias modernas para determinar perfiles que reduzcan vibraciones y ruidos, rigidez de contacto, contacto de un par de engranes bajo carga errores de transmisión, deformación elástica bajo carga e impacto en inicio de engrane Resistencias de pie y de flanco bien equilibradas. La forma y las dimensiones de la sección de los perfiles para los ejes pueden ser muy variadas ya que no existen unas dimensiones normalizadas como pasa, por ejemplo, con las secciones típicas de los perfiles de ejes laminados en caliente, sino que cada fabricante tiene su propia gama de perfiles.

En la optimización como una habilidad básica del ingeniero se engloba muchas variables en las cuales el ingeniero debe estar muy pendiente para mejorarlas por tanto estudiaremos algunos de ellos, a continuación unos problemas típicos a los que se enfrenta un ingeniero.

Entre los problemas más comunes que se puede encontrar un ingeniero durante su carrera profesional están:

- Problemas económicos (falta de presupuesto).
- Problemas de personal (falta de personal capacitado para desempeñar una función).
- Disponibilidad de los materiales necesarios para concluir la obra.

En referencia a los problemas económicos la optimización se da tratando de hacer que el presupuesto que se maneja alcance de la mejor manera para cubrir todos los costos previsto. Con respecto a los problemas de personal el ingeniero, optimiza este campo escogiendo al personal más idóneo para realizar las diferentes labores que deban realizar el trabajo, con respecto al problema de disponibilidad de materiales el ingeniero optimo, se asegura que el material este completo y a tiempo, ya sea en la obra o en la empresa o en el caso mismo que haya el material necesario para la fabricación de equipos o reparación de los mismos.

Este trabajo nos ayuda a encontrar un estado del arte acerca de hasta dónde se ha llegado con los procesos de optimización en ejes para reducir el costo, optimizando desde el diseño, pero teniendo en cuenta la manufactura, las diferentes software que se utilizan y todas sus aplicaciones.

3. JUSTIFICACIÓN

En la idea de un proceso de optimización cada vez es más importante la sistematización, el uso de herramientas computacionales y organización de toda la información a la que se puede recurrir para encontrar una solución al problema planteado, y para eso la construcción de un estado del arte en una etapa preliminar otorga ventajas competitivas como el conocimiento general del área, la clasificación bibliografía existente, el desarrollo de un aspecto y evaluación previa de las principales preferencias.

El planteamiento sobre temas relacionados con la optimización y el usos de diversos software en diseño mecánico bajo resistencia de materiales y elementos finitos ayudará en la investigación, teniendo en cuenta que permitirá identificar claramente los procesos necesarios en el desarrollo de los temas involucrados como resistencia de los materiales, funciones que nos conlleven a mejorar el costo de manufactura evitando pérdida de material y con mejor calidad, diseño óptimo de ejes y parámetros de optimización necesarios para ser usados en el diseño óptimo.

En este proyecto lo que se busca con la implementación de un software es determinar el comportamiento rotacional de la unión, Evitar la necesidad de ensayos experimentales, Generar estudios paramétricos. Posibilitar el estudio de efectos locales difícil de determinar experimentalmente con suficiente precisión.

El entorno ANSYS Workbench puede utilizarse como un laboratorio virtual, que proporciona al diseñador unas herramientas eficientes, que posibilitan un mejor conocimiento del problema y la obtención de mejores diseños. La utilización de Meta-modelos se ha mostrado como una solución eficaz para reducir el coste computacional de procesos de diseño con modelos de elementos finitos complejos. De esta forma, resuelven necesidades de la industria tales como la optimización global, multidisciplinar o probabilista. Para la aplicación desarrollada, la utilización de Meta-modelos proporciona mayor información acerca del comportamiento de la unión y de los modos de fallo involucrados en la misma.

En conclusión, un proceso de generación de conocimiento que incorpora herramientas actuales de investigación documental tiene ganancias en cuanto a la robustez de sus resultados y la confiabilidad con respecto al desempeño, lo cual lo sitúa en un punto de vanguardia. La construcción del estado del arte quedara sujeta entonces al proceso posterior en la elaboración de la investigación puesto que sentará las bases que ayudaran en la toma de decisiones al momento de establecer la ruta a seguir.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General.

Elaborar una aplicación de software basada en métodos matemáticos de optimización para el análisis, cálculo y optimización de parámetros dimensionales en ejes de sección circular.

4.2 Objetivos Específicos.

- Describir el procedimiento matemático y técnicas de optimización para lograr el dimensionamiento óptimo de una pieza.
- Identificar cuáles son los métodos que aplican en el diseño de ejes que permitan redimensionar correctamente sus parámetros dimensionales.
- Conocer la estructura de programación y cómo puede realizarse la aplicación sistematizada.
- Identificar aplicaciones prácticas en diseños reales y funcionales de estos elementos para validar resultados de desempeño.

5. MARCO TEORICO.

5.1 Métodos de optimización.

Optimización dimensional y topológica: Dentro del campo de la optimización dimensional, para modelos no paramétricos es necesario implementar métodos matemáticos que permitan hallar una geometría óptima, teniendo en cuenta parámetros externos determinantes en la geometría como cargas y apoyos del elemento.

En general, la Optimización Topológica permite obtener la distribución óptima de material en un espacio dado para crear un diseño óptimo, en base a las cargas y condiciones de contorno impuestas al diseño. Típicamente, este tipo de optimización elimina material del modelo original creando agujeros, recortes o hendiduras, y/o cambiando radicalmente la forma general de la pieza.

En este tipo de trabajos, las Variables de Diseño que se pueden optimizar son:

- Peso (masa).
- Frecuencias naturales de vibración.
- Rigidez.

Dentro de la optimización topológica, los Objetivos de Optimización son los siguientes:

- Maximizar Rigidez y reducir Volumen.
- Maximizar Frecuencias y reducir Volumen.
- Minimizar Volumen y satisfacer las Restricciones de Desplazamiento.

Geoméricamente, una optimización requiere establecer cierto tipo de condiciones que sirven como restricciones de cálculo, una vez se considere cuáles son nuestras variables principales en el tamaño de la pieza se puede iterar matemáticamente para hallar la solución adecuada del sistema que este dentro de los parámetros de restricción pre establecidos.

Por otro lado, se permite prescribir Restricciones de Fabricación, tales como Simetría, o definir espesores de pared máximos o mínimos, así como aplicar restricciones de desmolde. También se pueden designar áreas del modelo para que permanezcan sin cambios, y hacer que los elementos que tengan aplicadas cargas y restricciones se mantengan sin cambios. Este tipo de restricciones permiten lograr un diseño óptimo particular; es decir, un modelo que se ajusta de la mejor manera al mayor número de necesidades especificadas.

5.2 Pos procesado de resultados.

Los resultados generados por el módulo de Optimización Topológica deben incluir la forma optimizada del modelo así como varios vectores de datos.

A continuación se muestran resultados de optimización dimensional y topológica lograda matemáticamente mediante el uso del método de elementos finitos integrado con funciones de optimización.

Como resultados principales es notable observar la reducción dimensional y reducción de masa y volumen.

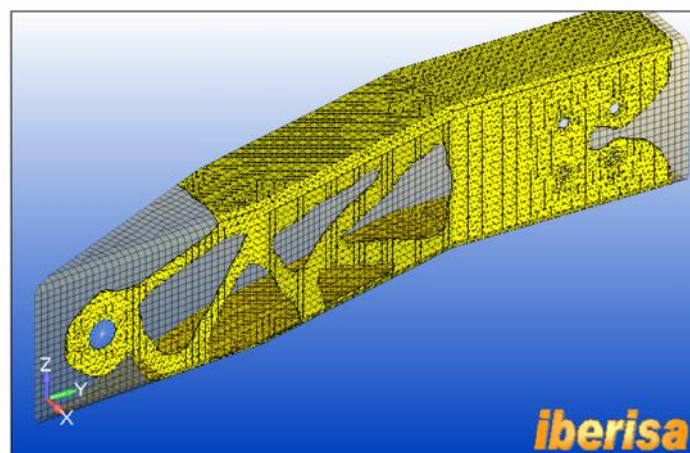


Figura1. Optimización de un eje por algoritmos genéticos.
Fuente: Femap <http://www.iberisa.com/>. consultado 29 octubre.

Modelo de elementos finitos.

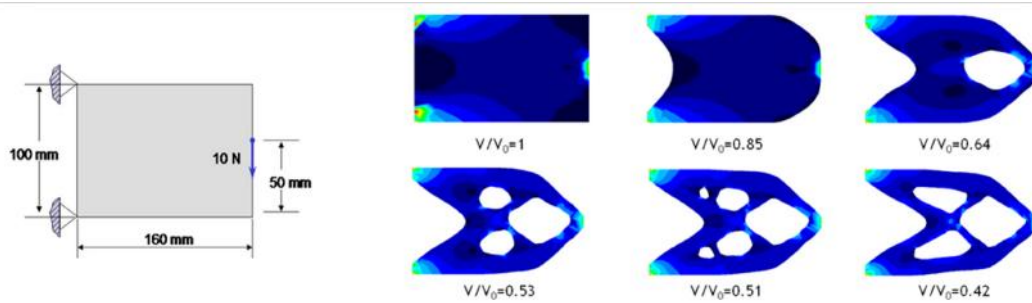


Figura 2. Modelo de elementos finitos (FEM/FEA).

<http://www.iberisa.com/>.consultado 29 octubre

Fuente: Femap

5.3 Optimización bajo el entorno de MATLAB

La optimización, es una herramienta matemática poderosa que emplea el enfoque científico para la asignación de recursos económicos y materiales para el logro de un determinado objetivo al resolver problemas prácticos y reales. El toolbox de optimización de Matlab, es una herramienta computacional interesante para resolver problemas de optimización lineal y no-lineal. Lo interesante de la solución de un problema de optimización, no es la solución misma, lo importante son los multiplicadores de Lagrange-Karush-Kuhn-Tucker asociados con cada restricción, es decir, los precios duales. Estos últimos permiten tomar decisiones para mejorar la solución o considerar el cambio de las restricciones que pueden mejorar la solución hallada.

Optimización Toolbox TM ofrece algoritmos utilizados para la optimización estándar ya gran escala. Estos algoritmos resolver problemas y sin restricciones continuas y discretas. El software de la caja de herramientas incluye funciones para la optimización de programación lineal, programación cuadrática, programación entera binaria, optimización no lineal, no lineal por mínimos cuadrados, sistemas de ecuaciones no lineales, y la optimización multiobjetivo.

Usted las puede utilizar para encontrar soluciones óptimas, realizar análisis de relaciones de intercambio, equilibrar múltiples alternativas de diseño e incorporar métodos de optimización en los algoritmos y modelos¹⁰.

¹⁰<http://www.mathworks.com/products/optimization/index.html>, página oficial de MATLAB, consultado Octubre 30 de 2012.

5.4 Programación No Lineal

La optimización o la programación matemática es un instrumento fundamental en el campo de la ingeniería. Un problema de optimización queda formulado como un modelo de optimización mediante la expresión:

$$\min f(x) \quad (1)$$

s. a:

$$g(x) = 0 \quad (2)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (3)$$

Dónde $f()$ Función objetivo $g()$ Restricción de igualdad $h()$ Restricción de desigualdad y X Variable de decisión.

Las funciones $f()$, $g()$ y $h()$ pueden ser funciones lineales y/o no lineales. Las restricciones de igualdad y de desigualdad pueden ser lineales y/o no lineales, entonces, el modelo se puede explicitar con mayor detalle, por ejemplo para trabajar con Matlab, se utiliza la formulación siguiente:

$$\min f(x) \quad (4)$$

s. a:

$$C_{eq}(x) = 0 \quad (5)$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq} \quad (6)$$

$$C(x) \leq 0 \quad (7)$$

$$A \cdot x \leq b \quad (8)$$

$$L \leq x \leq U \quad (9)$$

Dónde:

- $C_{eq}()$ Restricciones de igualdad, estrictamente no lineales.
- A_{eq} Matriz de las restricciones de igualdad lineales.
- $C()$ Restricciones de desigualdad, estrictamente no lineales.
- A Matriz de las restricciones de desigualdad lineales.
- b_{eq} Lado derecho de las restricciones de igualdad.
- b Lado derecho de las restricciones de desigualdad.
- L, U Vectores de límites inferior y superior de las variables de decisión x .
- x Variables de decisión del problema.

Este modelo, se puede clasificar como un problema de optimización no lineal que corresponde al ámbito de la programación matemática. Se tienen varios métodos de la programación matemática para su resolución.

5.5 Optimización multiobjetivo

Optimización multiobjetivo se refiere a la minimización de las funciones objetivo múltiple que están sujetos a un conjunto de restricciones. Optimización Toolbox proporciona funciones para la solución de dos formulaciones de problemas de optimización multiobjetivo.

- El problema de la consecución de objetivos consiste en reducir el valor de una función vectorial lineal o no lineal para alcanzar los valores objetivo dado en un vector objetivo. La importancia relativa de los objetivos se indica usando un vector de peso. El problema de la consecución de objetivos también podrán ser objeto de restricciones lineales y no lineales.
- El problema mínima x consiste en minimizar el valor del peor caso de un conjunto de funciones multivariantes, posiblemente sujetas a restricciones lineales y no lineales. Optimización Toolbox transforma ambos tipos de problemas multiobjetivo estándar en problemas de optimización restringida y luego resuelve utilizando un enfoque activo-set.

5.6 Diseño mecánico de un eje

Un eje es un componente mecánico rotacional cuya función principal es la transmisión de movimiento, potencia y momento torsos. La importancia de estos componentes mecánicos radica en que su presencia es necesaria en la mayoría de máquinas. Todo diseñador de maquinaria de estar al tanto de los cocimientos y técnicas necesarias para el diseño y fabricación de estos elementos.

Casi toda la maquinaria rotatoria está dotada de flechas de transmisión o simplemente flechas, con el fin de transferir movimiento y par de torsión rotatorios de un sitio a otro. Por lo tanto, el diseñador de máquinas tiene la tarea de diseñar flechas. Este capítulo explorara algunos de los problemas comunes que se presentan en esta tarea.

Por lo general, una flecha transmite a la maquina por lo menos un par de torsión proveniente de un dispositivo impulsor. Algunas veces, las flechas servirán de soporte para engranes, poleas o ruedas dentadas, mismas que transmiten un movimiento rotatorio de una a otra flecha, vía engranes, bandas o cadenas. La flecha podría ser parte integral del impulsor, como la flecha de un motor eléctrico o el cigüeñal de un motor de combustión internan.

Las cargas en las flechas de transmisión rotatoria son principalmente de uno de dos tipos: torsión debido al par de torsión transmitido o de flexión proveniente descargas transversales por engranes, poleas o ruedas dentadas. Estas cargas suelen ocurrir

combinadas, ya que, por ejemplo, el par de torsión transmitido puede estar asociado con fuerzas en los dientes de engranes o ruedas dentadas de las flechas. El carácter de las cargas por par de torsión y de las de flexión puede ser uniforme (constante) o variar con el tiempo. Uniformes y variables en el tiempo, las cargas por par de torsión y a flexión también pueden ocurrir en una misma flecha en cualquier combinación.

Aunque a veces es posible diseñar flechas de transmisión útiles que en toda su longitud no tenga modificaciones en el diámetro de la sección, lo más común en las flechas es que tengan una diversidad de escalones o resaltos u hombros donde cambia el diámetro, a fin de adaptarse a elementos sujetos como cojinetes, ruedas dentadas, engranes, etcétera, como se aprecia en la figura 3, que también muestra todo un abanico de procedimientos de uso común para sujetar o localizar elementos sobre una flecha. Los escalones o los hombros son necesarios para conseguir una ubicación axial, precisa y consistente de los elementos sujetos, así como para obtener el diámetro correcto, adecuado a piezas estándar como los cojinetes. Se suele recurrir a cuñas, chavetas circulares o espigas ahusada para asegurar elementos que deban ir sujetos a la flecha, con el fin de transmitir el par de torsión requerido o para fijar la pieza axialmente.

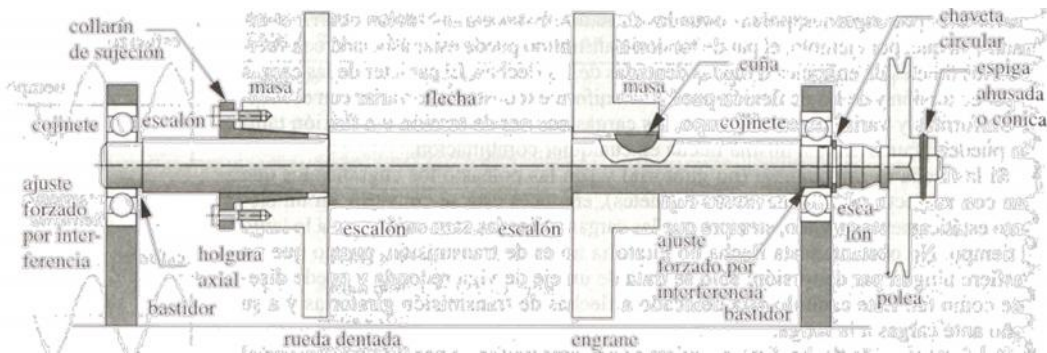


Figura 3. Varios métodos de sujeción de elementos a flechas
 Diseño de ejes <http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/EJES.pdf>

Fuente:

Las cuñas requieren una ranura tanto en la flecha como en la pieza, y pudieran necesitar un tornillo prisionero para impedir cualquier movimiento axial. Las chavetas circulares ranura las flechas, y las espigas transversales generan perforaciones en estas. Cada uno de estos cambios de contorno contribuirá ciertas concentraciones de esfuerzos.

La mayor parte de las flechas de máquinas se fabrican a partir de un acero al bajo o medio carbono, ya sea rolando en frío o en caliente, aunque también cuando se requiera de su superior resistencia, se aplican aceros de aleación. En flechas de diámetros más pequeños (menores de alrededor de 3 pulg. de diámetro), se recurre más al acero rolando en frío, y en tamaños mayores se utiliza acero rolando en caliente. La misma aleación, rolando en frío, tiene propiedades mecánicas superiores a las que tienen rolando en caliente, por el trabajo en frío, pero esto se obtiene a costa de esfuerzos residuales a tensión en la superficie.

El maquinado para formar cuñeros, ranuras o escalones libera estos esfuerzos locales residuales, pudiendo provocar distorsión. Las barras roladas en caliente deben ser maquinadas en toda su superficie para eliminar la capa exterior carburizada.

El factor crítico para determinar si se trata de esfuerzos multiaxiales simples o complejos es la dirección del esfuerzo alternante principal en un elemento dado de una flecha. Si su dirección es constante con el tiempo, entonces se considera como un caso de esfuerzo multiaxial simple. Si varía con el tiempo, entonces se trata de un caso de esfuerzo multiaxial compuesto o complejo. La mayor parte de las flechas en rotación cargadas tanto a flexión como a torsión estarán en la categoría de complejos. Aun cuando la dirección del componente de esfuerzo a flexión alternante tendrá tendencia a ser constante, la dirección del componente torsional varía conforme el elemento gira alrededor de la flecha, Al combinarlos en el círculo de Mohr, se verá que el resultado es un esfuerzo principal alternante, de dirección variable. Una excepción a lo anterior es el caso de un par de torsión constante, superpuesto sobre un momento que varía con el tiempo. Dado que el par de torsión constante no tiene componente alternante que cambie la dirección del esfuerzo alternante principal, esto se convierte en un caso de esfuerzo multiaxial simple.

ANSYS DesignSpace es un potente software de simulación, fácil de usar y que ofrece a los diseñadores e ingenieros la capacidad de modelar, diseñar y validar sus ideas sobre su ordenador de trabajo de forma rápida y eficaz. Su núcleo de cálculo es ANSYS, el programa FEM que no ha dejado de evolucionar desde que apareció en el mercado hace 32 años.

Tanto para piezas aisladas, como para ensamblajes o sistemas completos, ANSYS DesignSpace convierte los sistemas CAD 3D en entornos de desarrollo virtual de producto que permiten a los equipos de desarrollo obtener mejores productos en menos tiempo y con menos errores. ANSYS DesignSpace le permitirá conocer el comportamiento y la respuesta de los diseños mientras los está diseñando, y tomar las decisiones del diseño con argumentos.

ANSYS DesignSpace Es un paquete de simulación básico está concebido para el análisis de piezas aisladas. Incluye todas las herramientas de cálculo necesarias para realizar análisis de tensiones, deformaciones, de transferencia de calor, modales y de optimización de forma.

Mediante el uso del entorno ANSYS Workbench, los usuarios de DS pueden beneficiarse de la posibilidad de ampliar los análisis iniciales con simulaciones avanzadas con una facilidad no alcanzada por ningún otro producto del mercado. Cualquier proyecto puede comenzarse en DS, salvarse y reabrirse posteriormente en cualquier producto de la gama superior de ANSYS para incluir capacidades superiores como materiales no-lineales, análisis armónicos, grandes deformaciones, contactos avanzados, etc.¹¹

¹¹ANSYS WORKBENCH http://www.infociber.com/productos/soluciones_ansys/designspace.php consultado 06 de noviembre de 2012.

6. METODOLOGÍA

En la metodología haremos hincapié en una fase de documentación en la cual el objetivo principal es conocer el funcionamiento del software que decidamos utilizar para la optimización de engranes y ejes con herramientas computacionales, saber cómo operan, de qué manera se le puede incorporar un diseño que cumpla con varias características dadas en nuestros parámetros de diseño, basándose en conocimientos adquiridos y cuales condiciones especificar para el desarrollo de esta aplicación. Para el desarrollo este proyecto se asume una metodología la cual cumplirá con varias etapas:

1. Recolección de toda la bibliografía básica sobre el tema: se realiza una búsqueda extensa de bibliografía y de referencias sobre los temas que permiten contener de manera amplia y suficiente los temas de interés para el desarrollo del trabajo. En esta etapa se realiza la identificación clara y precisa de cada fuente a partir de datos incluidos en la publicación o en la base de datos de donde proviene.
2. Lectura rápida del material: Se hace una selección de la documentación definitiva que servirá de referente conceptual y se escogen los archivos más importantes, para ubicar ideas, reconocer el terreno e identificar los argumentos de mayor calidad después de una indagación bibliográfica.
3. Organización definitiva de la información: Con el material que se tiene se realiza una organización de la información para saber si faltan datos esenciales, se hace de acuerdo con el último esquema de trabajo, ya cuando esté organizada se puede enumerar por categorías para no alterar cualquier orden preestablecido.
4. Se estudiarán diversas alternativas en cuanto a software, puesto que con el desarrollo de nuestra aplicación escogemos la más adecuada para que cumpla con los objetivos planteados, donde se pondrá como principal criterio de selección, diseño más factible, economía, y el que mejor se identifique como una aplicación y también una herramienta de solución en diseño.
5. Se trabajarán los conocimientos de la estructura de programación y cómo puede realizarse la aplicación sistematizada.
6. Se procederá a identificar aplicaciones prácticas en diseños reales y funcionales de estos elementos para validar resultados de desempeño.
7. Se harán pruebas y de análisis para así determinar la mejor opción de una aplicación de optimización; se mirará cómo funciona el programa, empezando con el respectivo análisis de datos.

8. Redacción del trabajo (Redacción final): Una vez terminado el borrador procedemos a la redacción final. El objetivo es claro, comunicar con la mayor claridad y coherencia posible, los resultados, comprobaciones o reflexiones logrados a través del proceso de investigación.
9. Se formularan las posibles prácticas que podrán realizar los estudiantes; en este caso serían de análisis de funcionamiento de nuestra aplicando los temas mencionados en nuestro documento.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (meses)					
		1	2	3	4	5	6
Fase Inicial	Búsqueda de información relacionada con el tema.						
Fase de Sistematización	Selección de la documentación definitiva que servirá de referente conceptual y se escogen los archivos más importantes, para ubicar ideas.						
	Elaboración de la bibliografía básica.						
	Estudio de los programas seleccionados para su desarrollo.						
Fase de Diseño	Describir el procedimiento matemático y técnicas de optimización para lograr el dimensionamiento óptimo de una pieza.						
	Se harán pruebas y de análisis para así determinar la mejor opción de una aplicación de optimización.						
Fase de análisis	Selección de material para incluir en el trabajo final.						
	Identificar aplicaciones prácticas en diseños reales y funcionales de estos elementos para validar resultados de desempeño						
	Selección de los archivos importantes.						
Fase de organización de la información	Organización de las notas y anotaciones.						
	Revisión de los resultados de la optimización.						
	Organización definitiva de la información.						
	Unificación de resultados y análisis final.						
Fase final	Pruebas y análisis finales.						
	Redacción final del trabajo.						

Tabla 1. Cronograma de actividades.

8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		6	
Semanas		30	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado		\$	
2	Autores del proyecto	\$ 1.800.000	Personal
1	Director o tutor (interno)	\$ -	Institucional
0	Director o tutor (externo)	\$ -	
0	Profesor (responsable interno)	\$ -	
0	Apoyo técnico	\$ -	
0	Apoyo administrativo	\$ -	
0	Asesor	\$ -	
Software o equipo de apoyo		\$ 1.990.400	Presupuesto del proyecto
Gastos Generales		\$ -	Presupuesto del proyecto
Condiciones específicas		\$ -	Empresarial
Subtotal		\$ 3.790.400	
2%	Imprevistos	\$ 75.808	
Total presupuestado		\$ 3.865.808	

Tabla 2. Presupuesto General del proyecto

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	8	-	\$ 1.800.000
Director o tutor (interno)	1	2	-	\$ 0
Director o tutor (externo)			-	\$ 0
Profesor (responsable interno)			-	\$ 0
Apoyo técnico			-	\$ 0
Apoyo administrativo			-	\$ 0
Asesor			-	\$ 0
				\$ 1.800.000
Carga Prestacional			51,30%	\$ 923.400
				\$ 2.723.400

Tabla 3. Recursos humanos.

Generales	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias	Hoja	350	\$ 50	\$ 17.500
Libros	Libros	2	\$ 80.000	\$ 160.000
Impresión documentos	Hoja	200	\$ 100	\$ 20.000
Suministros de oficina	kW/h	650	\$ 350	\$ 227.500
Gastos Generales asociados al proyecto				\$ 425.000
Software	Costo referencia	Cantidad	Costo Uso	Total
Digitación 1	-	-	-	-
Digitación 2	-	-	-	-
Computador	-	-	-	-
Internet	\$ 867	180	\$ 156.000	\$ 936.000
Costos de licencias, conexión y computador				\$ 936.000

Tabla 4. Recursos de Materiales.

9. BIBLIOGRAFÍA

ARMENGOL, Benito. *Guía optimización con MATLAB*. Universidad técnica de Oruro, facultad nacional de ingeniería, ingeniería eléctrica y electrónica 2008

BENDSOE, Martin P.; SIGMUND, Ole, *Topology optimization: theory, methods, and applications*, Springer, 2003

CAMACHO, Carlos. *Optimización topológica estructural de ensambles*. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica Bogotá D. C., Colombia 2011.

CHAPMAN, SAITOU K. JAKIELA, M.: *Genetic Algorithms as an Approach to Configuration and Topology Design*. En: Transactions of ASME, Journal of Mechanical Design 116(4) (1994), p. 1005-1012.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES. Consultado el 15 de octubre de 2012, de <http://www.uestructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/fernandomejia/4link.pdf>.

FERNÁNDEZ, I. AGUIRREBEITIA, J. AVILÉS, R. LÓPEZ, D. *Optimización dimensional de mecanismos incluyendo objetivos de velocidades*. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica (2010). Dpto. Ingeniería Mecánica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Bilbao. Universidad del País Vasco.

HENRY O. CORTÉS R., JOSÉ D. M.: *Optimización Topológica de Estructuras tipo Armadura usando Autómatas Celulares con Aceleramiento de Análisis y Diseño Simultáneos*, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Tesis de Maestría, 2005.

HERNÁNDEZ IBÁÑEZ, Santiago: *Método de diseño óptimo de estructuras*. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 1990.

INGENIERIA E INVESTIGACION, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Optimización de ejes por medio de algoritmos genéticos, consultado 27 octubre de 2012. disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/643/64325203.pdf>.

KUNJUR, A. KRISHNAMURTY, S. *Genetic algorithms in mechanism synthesis*, en: ASME-Fourth Applied Mechanisms and Robotics Conference, AMR 95-068- 01-07, December 1995.

NARVÁEZ, Carlos. TOVAR, Andrés. GARZÓN, Diego. *Diseño de mecanismos flexibles empleando optimización topológica de dominio continuo*. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

OPTIMIZACION TOPOLOGICA CON FEMAP Y NX NASTRAN, consultado el 25 de octubre de 2012 <http://iberisa.wordpress.com/2011/08/28/optimizacion-topologica-con-femap-y-nx-nastran/>

TOVAR, A. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño*. En Ingeniería 4 (2005).

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016* (pp. 67). 2007. Bogotá, Colombia.