

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Michael Stivens	
Apellido (s):	Cifuentes Yate	
Código:	20142375064	
E-mail:	michaelcifuentes@msn.com	
Teléfono fijo:	569 4952	
Celular:	304 429 3828	

Ejecutor 2

Nombre (s):	Johan Felipe	
Apellido (s):	Varón Peña	
Código:	20142375033	
E-mail:	jfvaronp@correo.udistrital.edu.co	
Teléfono fijo:	450 6800	
Celular:	301 423 9616	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA GENERACIÓN DE GEOMETRIA CAD EN LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN CAE	
Duración (estimada):	8 - Meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:	Semillero de investigación SIMEC	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	CAD, CAE, análisis estructural	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	Ing. Víctor Ruíz Rosas
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. Víctor Ruíz Rosas

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA GENERACIÓN DE GEOMETRIA CAD EN
LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN CAE

MICHAEL STIVENS CIFUENTES YATE	20142375064
JOHAN FELIPE VARÓN PEÑA	20142375033

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2015

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA GENERACIÓN DE GEOMETRIA CAD
EN LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN CAE

MICHAEL STIVENS CIFUENTES YATE	20142375064
JOHAN FELIPE VARÓN PEÑA	20142375033

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADO A:
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2015

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2.1 ESTADO DEL ARTE	8
2.2 JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. ALCANCE Y DELIMITACIONES	14
5. MARCO TEORICO	15
6. MARCO METODOLÓGICO.....	23
7. CRONOGRAMA	24
8. PRESUPUESTO	25
9. BIBLIOGRAFIA.....	27

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anteproyecto, se pretende plantear un estudio sobre la influencia del modelado CAD, en los resultados obtenidos en el software CAE, específicamente por el método de elementos finitos.

La necesidad del presente proyecto se plantea, puesto que, se ha evidenciado en el semillero de investigación SIMEC, de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; que ciertas variables en el modelado geométrico y en el tipo de archivo CAD, generan cambios significativos en los resultados que se obtienen en las herramientas de ingeniería asistida por computador, para este caso, el método por elementos finitos.

Para la ejecución del proyecto, se va a desarrollar un estado del arte, que permita establecer con claridad las bases teóricas del modelado CAD y las condiciones de su funcionamiento en CAE. Además, se realizarán modelos CAD, bajo diferentes variables de generación geométrica, teniendo en cuenta, la variación del software CAD como tal, y el tipo de archivo a exportar en la herramienta CAE.

Con base en el desarrollo de los resultados obtenidos en el software CAE, se llevará a cabo el correspondiente análisis, mediante la comparación de las distintas variables, tanto de forma experimental como teórica. Finalmente, se espera lograr un mejor entendimiento de la influencia que tiene el CAD en el CAE, mediante la determinación de las variables más adecuadas, que se estudiarán en el proyecto, para reducir la incertidumbre en los resultados obtenidos en el software CAE.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la industria en general y las diferentes áreas de conocimiento, se hace uso de las herramientas computacionales para resolver y corroborar soluciones a problemas de tipo: numérico, físico y químico. Hoy en día, una de las herramientas más utilizadas, es el análisis por el método de los elementos finitos; en el que se realiza la solución a un problema, mediante una aproximación numérica de sistemas de ecuaciones, posterior a una discretización del modelo de dicho problema.

A nivel mundial, los diseñadores hoy en día, generan archivos CAD (Diseño asistido por computador) y estos deben traducirse en geometrías de análisis adecuadas, enmalladas y en información de entrada a una gran escala de códigos de análisis por elementos finitos (FEA). Esta tarea está lejos de ser trivial y para diseños de ingeniería complejos, se estima que toma más del 80% del tiempo total del análisis y los diseños de ingeniería son cada vez más complicados. Por ejemplo, en la actualidad, un automóvil típico consiste en cerca de 3.000 piezas, un avión de combate en más de 30.000, el Boeing 777 más de 100.000, y un submarino nuclear moderno alrededor de 1.000.000. El diseño de ingeniería y el análisis no son esfuerzos separados. El diseño de sistemas de ingeniería sofisticados se basa en una amplia gama de análisis y simulación por métodos computacionales, tales como: mecánica estructural, dinámica de fluidos, acústica, electromagnetismo, transferencia de calor, etc. [1]

Para el marco nacional, en el semillero de investigación SIMEC, de la Facultad Tecnológica, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; se ha realizado el estudio de algunos modelos CAD, utilizados posteriormente en una interfaz de simulación CAE. Dichos modelos, fueron generados a partir de diferentes variables, y se pudo evidenciar que esas variables afectaban directamente los resultados de la solución de las simulaciones ejecutadas en la interfaz CAE.

Surgen entonces, los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo aumentar la confiabilidad de las simulaciones en CAE, a partir del CAD? y ¿Qué tipo de

información y procedimientos, deben tenerse en cuenta para generar un análisis adecuado en CAE?

Para este contexto, con el presente proyecto se pretende realizar un estudio de la influencia de la geometría CAD en CAE, a partir de simulaciones y resultados que permitan evidenciar, analizar y mejorar, la confiabilidad de los resultados en CAE.

2.1 ESTADO DEL ARTE

La sincronización entre el diseño con sistemas CAD y sistemas CAE se ha convertido en un reto significativo, gracias a la diferencia que existe entre las operaciones de modelado y la estructura de datos entre diferentes sistemas de herramientas informáticas. Una de las soluciones que se han propuesto es la de una aproximación macro-paramétrica para intercambiar modelos entre diferentes sistemas CAD, por medio del análisis de comandos generales de algunos sistemas CAD, ellos construyen una serie de comandos neutros de intercambio de información de operación entre diferentes sistemas CAD basados en archivos de macro comandos. [2]

Partiendo de lo anterior, se abarcará principalmente con referencias internacionales donde se han realizado la mayor cantidad de estudios: como es el caso en el que se propone un lenguaje de comandos de modelado neutral [3], desarrollado por *Nanjing Normal University* y por *School of Computer Science and Technology*, en China, en la que se presenta un lenguaje de modelado neutral usado para ayudar a trazar las operaciones entre sistemas CAD, además, se construye por medio de técnicas con características de modelado y diferentes análisis de comandos de operación.

En esta estructura colaborativa que funciona en tiempo real, y en la que interactúan dos o más sistemas CAD en distintos lugares geográficos, se comunican por medio de un sistema de software de operaciones que responde a la transferencia de información. Además, se usa un módulo denominado Adaptador CAD, que es el que captura el tipo de eventos u operaciones del sistema CAD, lleva a cabo un filtro de información y acumula la secuencia de eventos, al mismo tiempo que debe transferir las operaciones locales al software de operaciones y debe recibir y ejecutar las operaciones de otro sitio por medio del respectivo software de operaciones. El set de comandos neutros propuestos incluye 19 características básicas de operación acorde con la geometría básica, la ayuda geométrica y las características de referencia.

Por otro lado, a pesar del uso generalizado de sistemas CAD para el diseño y sistemas CAE para el análisis, estos dos procesos no están bien integrados porque los modelos CAD y CAE usan diferentes tipos de modelos geométricos. En el *Department of Mechanical Engineering Worcester Polytechnic Institute* [4], en *Worcester, MA, USA*. Según *Zhang Yi y LiHua*, se propone un método de integración de datos basados en la técnica de XML para la resolución de problemas de transmisión de datos entre CAD y CAE. En el cual se diseña un modelo paramétrico de un puente a través de la plataforma 3D CAD, el análisis CAE conduce explícitamente a un análisis dinámico de elementos finitos en el diseño de puentes estructurales. Las funciones CAD y CAE se logran a través de arquitectura C/S. Y se logra una conexión de diseño-análisis basado en XML y servicios web, que es desarrollada para mantener la consistencia entre el modelo CAD y el modelo de análisis de elementos finitos.

Acorde con la interface de la transformación del modelo que se describe, el modelo de elementos finitos fue correctamente transformado desde un sistema CAD a un sistema CAE. El esquema XML se usa para describir etiquetas, para definir estructuras, contenido y la semántica de los documentos XML, estos esquemas son auto descriptivos y son creados para estructurar, almacenar y para exportar y compartir el diseño de productos y parámetros de análisis en metadatos. El proceso de integración comienza con los parámetros de diseño CAD, sigue con la integración CAD/CAE basada en XML, luego el modelo de elementos finitos en el sistema CAE, y por último el análisis por elementos finitos y computación en sistemas CAE. Cuando los parámetros de diseño son modificados, el sistema CAD busca el servicio de integración del parámetro de diseño, luego llama la integración de servicios en sistemas CAE que recibe y modifica los valores de los parámetros de diseño y los actualiza correspondiendo con el valor del parámetro de análisis vía XML. El sistema se ha usado para desarrollar varios sistemas de puentes. Comparado con sistemas CAD/CAE anteriores, el sistema propuesto a reducido los fallos de diseño causados por la interrupción en la comunicación y las inconsistencias de diseño. La eficiencia en el desarrollo por lo tanto también ha sido mejorada.

En el *Department of Mechanical Engineering Alberta University*, se propone usar un método de integración CAD/CAE, usando un modelo común de información (CDM), conteniendo toda la información paramétrica de ambos modeladores CAD

y de análisis CAE. El CMD es usado como un repositorio de información de modelo y la fuente de las entradas para las entidades de asociación y así se manteniendo las dependencias asociativas entre ellas. La Estructura, así como el flujo de datos en el CMD, se rige de acuerdo a los procesos de diseños generales y ampliamente usados. Por lo tanto los diseñadores pueden relacionar los escenarios esperados con los cambios de ingeniería propuestos y pueden tomar las medidas paramétricas en consecuencia. El CDM actúa como entrada paramétrica centralizada para herramientas de software de modelado por computador. Durante todo el proceso de diseño el modelo común de información es modificado durante cada ciclo de desarrollo de acuerdo a la intención de los diseñadores, los cambios en éste, se reflejan constantemente en ambos modelos CAD y CAE, a través de regeneraciones e iteraciones de análisis semi-automáticamente.

La integración paramétrica de CAD y CAE, usando un modelo de información común, permite resolver el problema de la asociación de la función basada en el conocimiento semántico y las iteraciones de CAD y los ciclos de interacción CAE. Con la ayuda del CMD, es factible integrar los procesos de diseño y análisis a través de las relaciones asociativas y mediante las interfaces con los modelos CAD y CAE. Con este enfoque generativo del diseño, los ciclos de diseño pueden ser inherentemente modelados con un mecanismo de actualización sistemática con la reutilización de los conocimientos de ingeniería y la experiencia en diseño. Todo lo anterior es posible, debido a las API de las interfaces CAD y CAE, por lo tanto, pueden ser utilizados para automatizar todo el proceso de modelado. Entonces, la complejidad, la precisión y la calidad del diseño depende de los conocimientos y experiencia, así como la creación de una plantilla de API adecuada para CAD y CAE; un sistema bien desarrollado de CMD, puede manejar de manera eficiente los problemas de diseño complejos. [5]

En la *Zhejiang University* en China, se propone un método, para editar las mallas generadas en el análisis por elementos finitos mediante operaciones CAD. El enfoque, logra la modificación compleja y precisa sobre la malla de elementos finitos, a través de operaciones CAD, y limita el remallado a la región modificada de todo el modelo, con el fin de hacer que el enfoque sea eficiente.

En primer lugar, la operación de barrido y operación booleana se utilizan para construir la nueva geometría en el modelo de malla, de acuerdo con los requisitos de modificación, teniendo los elementos de malla como la referencia de las operaciones. A continuación, se lleva a cabo la fusión geométrica de la malla, por lo que los elementos de malla relacionados alineados, a través de reposicionamiento de nodos, con las líneas de intersección entre el modelo de malla original y la geometría recién añadida.

El algoritmo que se aplicó, es un sistema de integración CAD-CAE de simulación impulsada de desarrollo propio, usando el núcleo de modelado ACIS-AROS. En este sistema, el resultado del análisis, se utiliza para la optimización del diseño del producto.

Finalmente, los elementos de malla para la geometría recién agregada, se generan y se optimizan, en comparación con los métodos de edición de malla tradicionales; y el enfoque propuesto, puede lograr una compleja edición de modelo de malla de elementos finitos más eficiente. [6]

2.2 JUSTIFICACIÓN

En primer lugar, el proyecto se sustenta en un ambiente académico, debido a que se logra evidenciar la falta de información presente en la incertidumbre generada en los resultados de simulaciones CAE (específicamente en análisis de elementos finitos) a partir del uso de herramientas CAD, con lo cual es una razón de mucho peso para trabajar en este campo poco explorado tanto a nivel internacional como a nivel local.

En segundo lugar, en un ambiente tecnológico, el proyecto se argumenta en la reducción de la incertidumbre en los resultados de las simulaciones CAE, generando una mayor confianza y un uso más constante de estas herramientas informáticas. Igualmente, el proyecto se valida en el estudio y selección de la forma correcta en la que se debe generar la geometría y el tipo de archivo en que se debe exportar para su posterior uso en CAE. Como ya se pudo observar en el semillero de investigación SIMEC, existe un cambio significativo en los resultados de las simulaciones debido a factores como el tipo de archivo de exportación CAD, la forma en que se genera la geometría en el CAD y el tipo de herramienta CAD usada para generar la geometría.

Por último, el proyecto se valida en un ámbito personal, en el reforzar los conocimientos en el funcionamiento de las herramientas informáticas como las herramientas CAD y CAE, para ir un paso más allá de ellas ¿para qué sirven? y saber ¿cuál es la forma más adecuada de usarlas?.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar la influencia de la geometría generada en herramientas CAD en los resultados obtenidos en la simulación mediante herramientas CAE, a partir de, pruebas experimentales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un estado del arte alrededor de la generación de geometrías tridimensionales en el modelador CAD.
- Crear modelos CAD mediante distintas formas de generación de geometrías variando los procesos, las herramientas CAD y los tipos de archivos de exportación CAD.
- Realizar simulaciones por el método de elementos finitos mediante el uso de la herramienta CAE en las geometrías CAD generadas.
- Identificar los factores que generan los cambios en el CAE, a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones CAE.

4. ALCANCE Y DELIMITACIONES

Condición De Prueba Experimental

La experimentación constará de diferentes modelos generados en software CAD, contra simulaciones realizadas en una herramienta CAE, por lo tanto, no habrán condiciones físicas de experimentación.

Generación De Geometrías CAD

Las geometrías se pretenden realizar en programas CAD dispuestos para este tipo de tareas, que deberán ser posteriormente elegidos, durante el desarrollo del proyecto.

Simulaciones CAE

Todas las simulaciones serán de tipo estático-estructural y no de tipo dinámico, térmico, de dinámica de fluidos computacional (CFD), vibracional, ni electromagnético, etc. A su vez, las simulaciones se realizarán por medio del uso de materiales lineales-isotrópicos.

5. MARCO TEORICO

Diseño Asistido Por Computador

En un sentido amplio, se puede entender el Diseño Asistido por Computador (CAD) como la "aplicación de la informática al proceso de diseño". Puntualizando la definición, se entenderá por sistema CAD, un sistema informático que automatiza el proceso de diseño de algún tipo de ente, para descartar, como sistemas CAD las aplicaciones que incidan tan solo en algún aspecto concreto del proceso de diseño.

Los medios informáticos se pueden usar en la mayor parte de las tareas del proceso, siendo el dibujo el punto en el que más profusamente se ha utilizado. Una herramienta CAD es un sistema software que aborda la automatización global del proceso de diseño de un determinado tipo de ente. El éxito en la utilización de sistemas CAD, radica en la reducción de tiempo invertido en los ciclos de exploración. Fundamentalmente por el uso de sistemas gráficos interactivos, que permiten realizar las modificaciones en el modelo y observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño.

El desarrollo de un sistema CAD se basa en la representación computacional del modelo. Esto permite realizar automáticamente el dibujo de detalle y la documentación del diseño, y posibilita la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones sobre el modelo, como una alternativa a la construcción de prototipos.

El ciclo de diseño utilizando un sistema CAD se ve afectado, tan solo, por la inclusión de una etapa de simulación entre la creación del modelo y la generación de bocetos. Esta simple modificación supone un ahorro importante en la duración del proceso de diseño, ya que permite adelantar el momento en que se detectan algunos errores de diseño.

Representación De Curvas Y Superficies En Modelos CAD

Las curvas y superficies poseen una representación matemática precisa, bien estudiada y suficientemente flexible. Por lo tanto debe ser estudiada su representación matemática, para justificar la representación computacional que se hace en sistemas CAD.

A nivel matemático, las curvas y superficies se pueden representar como ecuaciones de varias formas, atendiendo a como aparezcan las distintas variables involucradas:

- Ecuaciones explícitas, en las que aparece de forma explícita una de las variables en función de las otras dos. Estas expresiones se suelen utilizar para curvas y superficies univaluadas, como las que se suelen obtener como resultado de procesos de medida experimental (por ejemplo: presión en puntos de la superficie de la tierra, o elevación de un camino). La evaluación de la superficie es muy fácil. Sin embargo es difícil utilizarlas para casos generales, dado que las superficies que se encuentran en la realidad, y se quieren modelar no serán, normalmente, univaluadas.
- Ecuaciones implícitas, expresadas como una ecuación de las variables igualada a cero. En ellas no aparece ninguna variable despejada, por lo que su evaluación puede ser compleja. Las ecuaciones implícitas poseen la ventaja de ser orientables, es decir, es factible determinar hacia qué lado de la superficie, o curva, se encuentra un punto sustituyendo sus coordenadas en la ecuación.
- Ecuaciones paramétricas. La curva o superficie se describe en base a un conjunto de parámetros que la recorren, como un conjunto de ecuaciones que permiten obtener cada una de las coordenadas a medida que el parámetro evoluciona sobre el elemento. Una curva se expresa usando un parámetro, u , que toma valores en un intervalo predeterminado, y dos o tres ecuaciones (según que se defina en el plano o el espacio).

Diseños De Curvas En CAD

En el ciclo de diseño de una curva, o superficie, el usuario solo trabaja con los puntos de control, que son en sí la representación de la curva, o superficie, en el modelo. Por tanto, en el proceso de diseño el usuario seleccionará y modificará los puntos de control, hasta que se obtenga la curva o superficie deseada. El proceso puede comenzar con valores predeterminados asignados a los puntos de control.

En este proceso, el dibujo de la curva debe realizarse repetidas veces, al menos cada vez que el usuario mueve un punto, e idealmente mientras éste mueve los puntos con el dispositivo de entrada (durante el ciclo de realimentación). Por este motivo, cuando la máquina no es suficientemente potente, la visualización durante la edición se simplifica, aproximando la superficie como una malla de curvas.

Es necesario visualizar los elementos generados, y el método más simple para visualizar una curva es el basado en la aproximación del segmento por una poligonal. Para ello basta con evaluar la curva en una secuencia de valores de parámetros, dibujando la poligonal que une los puntos así obtenidos. Si el conjunto de puntos generados es suficientemente grande, no se apreciará la aproximación. Debe tenerse en cuenta que el que los puntos en coordenadas paramétricas estén equiespaciados no implican que los estén los puntos evaluados en coordenadas reales. Existen métodos adaptativos, basados en la elección de los vértices de la poligonal en función de la curvatura o de la distancia al último punto.

Visualización De Superficies En CAD

El método descrito previamente para dibujar una curva nos permitirá aproximar una superficie paramétrica por una malla de triángulos. Para ello evaluaremos la superficie en un subconjunto de puntos del espacio paramétrico distribuidos en una rejilla. Por cada cuatro puntos vecinos formaremos dos triángulos. Cada trozo de superficie que aproximamos mediante dos triángulos se denomina parche. La calidad de la imagen depende del número de parches, y también de cómo se dibujen estos. Otra alternativa es basarse en algoritmos para realizar el test de

intersección rayo-superficie, lo que permite visualizar la superficie usando trazado de rayos. [7]

Métodos De Diseño

Existen diversos métodos de diseño de curvas, con diferentes características. Entre estas, cabe destacar el carácter del método (que puede ser local o global) y el comportamiento respecto a los puntos de control (interpolante o no). Un método tiene carácter local cuando la modificación de un punto de control afecta solamente a la forma de la curva, o superficie, en las proximidades del punto de control. Por el contrario, en un método global, la modificación de un punto de control afecta a toda la curva, o superficie. Es más fácil editar una curva o superficie utilizando un método local, ya que permite ajustar la forma de la curva trozo a trozo.

Habitualmente es necesario usar polinomios continuos a trozos, para conseguir métodos de diseño local, lo que influye en el grado de continuidad de la curva. El grado de continuidad indica el número de veces que se puede derivar su ecuación obteniendo una función continua. Geométricamente esto está relacionado con la continuidad del elemento. Una curva con continuidad C_0 es continua, pero su pendiente no. Si la continuidad es C_1 la curva y su pendiente son continuas.

La continuidad depende de la forma en que está parametrizada la curva. Para que la curva sea continua en un punto, sus vectores tangentes a izquierda y derecha deben coincidir. No obstante, la magnitud del vector tangente no influye en la apreciación que podemos hacer de continuidad en el punto. Por este motivo, se suele hablar de continuidad geométrica, notada con G , en lugar de continuidad matemática. Una curva tiene continuidad geométrica en un punto si las tangentes a izquierda y derecha tienen la misma dirección, independientemente de la magnitud del vector tangente. Por este motivo, la continuidad matemática implica continuidad geométrica (salvo el caso especial en que el vector tangente es nulo). Normalmente se requiere como mínimo continuidad G_1 y con frecuencia G_2 .

También se debe tener en cuenta la influencia del grado del polinomio de las funciones de forma. Cuando mayor sea el grado del polinomio más restricciones podremos aplicar a la curva (ya que hay más coeficientes), pero también será mayor oscilación de ésta, y más costoso su cálculo.

La siguiente tabla resume los métodos de diseño y sus características:

Método	Grado del polinomio	Interpola	Carácter	Continuidad
Lineal	1	Si	Local (2)	C0
Bézier	n-1	No (Sólo extremos)	Global (n)	C ∞
Spline local	3	Si	Local (4)	C1
Spline global	3	Si	Global	G2
B-spline	Ajustable	No	Local (Ajustable)	Ajustable
B-spline (Cúbico)	3	No	Local (4)	G2

Tabla 1. Resúmenes de los métodos de diseño y sus características

Principales Modeladores CAD

Hay un gran número de aplicaciones que de uno u otro modo automatizan parte de un proceso de diseño. Actualmente, para casi cualquier proceso de fabricación o elaboración se dispone de herramientas informáticas que soportan este proceso.

Es posible encontrar en el mercado aplicaciones específicas para un campo concreto junto con aplicaciones de tipo general, que básicamente son editores de un modelo geométrico, sobre las que se pueden acoplar módulos de simulación o cálculo específicos para un campo concreto. Este último es el caso de AutoCAD, 3D-Studio y Microstation.

También, se utilizan modelos tridimensionales, con los que se realizan cálculos y simulaciones mecánicas. La naturaleza de las simulaciones depende del tipo de elemento a diseñar. En el diseño de vehículos es normal simular el comportamiento aerodinámico; en el diseño de piezas mecánicas se puede estudiar su flexión, o la colisión entre dos partes móviles. Entre las aplicaciones

comerciales de tipo general cabe destacar: CATIA (IBM), PRO/ENGINEER (PTC), SolidWorks, NX Siemens PLM, Inventor, entre otros. [8]

Ingeniería Asistida Por Computador (CAE)

CAE simula bajo condiciones aparentemente reales el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas condiciones. Es un modelado interactivo tridimensional en tiempo real con análisis mediante pruebas no destructivas. Diseñadores, ingenieros, industriales, arquitectos, etc. utilizan los programas CAE para verificar la factibilidad de distintas alternativas de diseño. Cuando el CAE se utiliza correctamente, se pueden obtener en poco tiempo soluciones eficientes con un alto grado de confianza. La repercusión más importante es que posibilita el diseño mediante ciclos de prueba ya que las primeras informaciones obtenidas por el CAE es sólo la base para la discusión de factibilidad en la que intervendrán la experiencia y la evolución futura.

Análisis Por Elementos Finitos (FEA)

El análisis por elementos finitos (FEA) ha ayudado a disminuir la cantidad de prototipos necesarios, fijar ciertos valores referenciales de coeficientes de seguridad y analizar distintas opciones de diseño cambiando la geometría o el material en un tiempo reducido; permitiendo que los productos no lleguen tarde al mercado lo que implicaría una pérdida considerable de su ciclo de vida (tiempo en que es rentable su producción). El FEA está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada. En muchas ocasiones es de uso indispensable. Los errores del análisis de los sistemas CAE ocurren comúnmente en la definición del problema y en el uso inapropiado de las condiciones de frontera.

Los resultados obtenidos en CAE son aproximados y dependen de cómo se divida la estructura en elementos finitos (el tiempo de resolución del problema se incrementa geoméricamente con la cantidad de elementos). También los

materiales presentan imperfecciones (fisuras, incrustaciones, rugosidad superficial) y sus propiedades pueden variar por zonas (variaciones de densidad, dureza, distintas orientaciones de los granos en la misma pieza, tensiones remanentes de temple, etc.) Lo que puede conllevar a errores no definidos. Dentro del trabajo CAD, los dibujos asistidos por computador, básicamente son utilizados en la creación de la geometría paramétrica, en la exhibición del sólido y en la generación de los planos ortogonales.

Discretización Y Solución De Modelos Por Elementos Finitos

El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un número finito de partes discretas (puntos interconectados entre si llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) por medio de un enmallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos, ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poisson, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito.

El procesador FEA genera una voluminosa cantidad de datos (archivos pesados) los cuales son pos-procesados por las herramientas de visualización de displays gráficos (rendering foto realista con una escala de colores, animaciones, esquemas, etc.) para mostrar esfuerzos internos y con los desplazamientos se obtiene las deformaciones (relacionadas directamente con las tensiones). En la etapa de posproceso se puede ver las magnitudes y localizaciones de las deformaciones en cualquier instante y en cualquier parte del modelo así como los distintos rasgos de tensión bandas representados por un mismo color lo que permite evaluar rápidamente las zonas críticas del diseño y analizar si la pieza soporta la tensión admisible del material sin deformarse más de lo permitido por el diseño (zona elástica).

El modelo es más realista cuanto más elementos contengan la malla, así como la técnica usada, pero el proceso de cómputo se puede incrementar considerablemente originando una acumulación de errores por redondeo. El FEA permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, que es más fácil y económico de modificar comparado con el de un prototipo. Los prototipos siguen siendo necesarios, pero en menor número. Un campo del FEA en pleno desarrollo es el cálculo con cargas dinámicas, vibraciones, impacto y fatiga. [9]

Análisis	Detalle
Propiedades físicas, térmicas y mecánicas.	Resistencia, tamaño, volumen, peso, densidad, centro de gravedad, centro de rotación, transferencia de calor, conductividad térmica, electromagnetismo, plasticidad, flujo hidráulico, acústica, etc.
Mecanismos	Movimientos, ensambles, interferencias, conexiones, cargas estáticas y dinámicas, etc.
Funcional	Cumple con las especificaciones funcionales
Factores humanos	Necesidades físicas, mentales, seguridad, formas y medidas ergonómicas, etc.
Estético	Apariencia y percepción, forma, presentación, color, textura, etc.
Mercado	Preferencias, satisfacción, calidad, precio, presentación, etc.
Financiero	Inversiones, presupuesto, costos, precio, etc.

Tabla 2. Análisis comunes aplicando FEA.

Principales Software CAE

Entre los programas CAE más comunes se encuentran los siguientes: MSC Nastran, Abaqus, Cosmos, Comsol, Ansys, entre otros.

6. MARCO METODOLÓGICO

Para la realización del proyecto se inicia con la fase de investigación, en la cual se debe realizar una recopilación de información para el desarrollo del estado del arte, por medio de bases de datos especializadas, artículos científicos, textos, cursos, videos, etc., acerca de la generación de geometrías en herramientas CAD y su interacción con las herramientas CAE. Igualmente, se debe consultar las distintas herramientas informáticas disponibles en la Universidad Distrital F.J.D.C., esto con el fin de seleccionar las más adecuadas para la investigación y así mismo, buscar tutoriales, manuales, videos, cursos, textos, etc., para reconocer operativamente el funcionamiento, las características y manipulación de cada uno, a partir de las necesidades del proyecto.

Una vez se tenga el conocimiento necesario, se debe comenzar la fase de modelado, en la cual se van a generar los distintos modelos, se inicia con definir los tipos de geometría, las operaciones, las dimensiones y los tipos de software CAD que se van a usar. Posterior a esto, se van a crear las mismas piezas, realizadas de la misma forma en las diferentes herramientas CAD, en la cual, se van a exportar en distintos tipos de archivos.

Luego de realizado esto, comienza la fase de simulación, en la que se hace uso de las herramientas CAE, a partir de las piezas generadas anteriormente, se debe definir el tipo de análisis a realizar, la forma en la que se van a simular las piezas (fuerzas y restricciones), la forma en que se va a realizar el enmallado, y la forma en que se van a observar los resultado. Una vez realizado esto, se procede a realizar la simulación a cada una de las piezas, y se guardan los resultados obtenidos.

Por otro lado y con base en lo hecho, se comienza con la fase de análisis, en la cual se inicia con el desarrollo de la solución teórica de las simulaciones, a partir de esto, se realiza la comparación de los resultados obtenidos en el CAE y la solución teórica. Por último, se analiza los resultados obtenidos en la comparación y se determina la forma de generación de geometría y el archivo de exportación en el que es menor la incertidumbre en los resultados obtenidos por medio de la herramienta CAE.

7. CRONOGRAMA

El cronograma de actividades puede verse modificado a causa de imprevistos durante el desarrollo del proyecto

Fase	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
Investigación	Dimensionamiento y enfoque del problema	■																																		
	Consulta y selección de Herramientas Informáticas	■																																		
	Recopilación de Información	■		■																																
	Selección de información relevante																																			
	Análisis de la información																																			
Modelado	Asimilación de Software	■		■																																
	Definir Geometrías y Operaciones de modelado																																			
	Generación de Modelos																																			
	Exportación de Modelos																																			
Simulación	Definir Características de Análisis																																			
	Simulación con Software																																			
	Definir Resultados																																			
	Registro de Resultados																																			
Análisis	Desarrollo de Cálculos Matemáticos																																			
	Comparación de Resultados																																			
	Análisis y Evaluación de Resultados																																			
	Conclusiones																																			
Redacción	Redacción de Artículo																																			
	Redacción de Texto																																			
	Entrega y Sustentación																																			

8. PRESUPUESTO

Se pone en consideración el siguiente presupuesto para crear un marco de referencia de los materiales más relevantes para el desarrollo del proyecto:

En primer lugar se toma en consideración la financiación por parte de los autores del proyecto, en el cual se incluyen los gastos requeridos para la ejecución del proyecto:

Recurso	Costo por Hora	Horas	Costo Total
Ejecutores (Estudiantes)	\$ 30.000	700	\$ 21.000.000
Materiales y Suministros	-----	----	\$ 300.000
Fotocopias y Libros	-----	----	\$ 100.000
Energía e internet	-----	----	\$ 400.000
Transporte	-----	----	\$ 300.000
Total	-----	----	\$ 22.100.000

Tabla 3. Financiación del proyecto por parte de los autores

En segundo lugar se toma en cuenta la financiación o contrapartida por parte de la Universidad Distrital F.J.D.C., y en cual se incluyen los elementos físicos tanto de hardware como de software para la realización del proyecto:

Recurso	Costo por Hora	Horas	Costo Total
Supervisor (Tutor)	\$ 60.000	40	\$ 2.400.000
Base de Datos Especializadas	-----	----	\$ 500.000
Desktop	-----	----	\$ 2.000.000
Laptop	-----	----	\$ 2.000.000
Software CAD	-----	----	\$ 1.000.000
Software CAE	-----	----	\$ 500.000
Licencias CAD	-----	----	\$ 3.000.000
Licencias CAE	-----	----	\$ 3.000.000
Total	-----	----	\$ 14.400.000

Tabla 4. Financiación del proyecto por parte de la Universidad

En resumen se tiene:

Financiamiento	Costo
Autores	\$ 22.100.000
Universidad Distrital F.J.D.C.	\$ 14.400.000
Total	\$ 36.500.000

Tabla 5. Financiación total del proyecto

*Estos valores son una aproximación, basado en su costo según la duración estimada del proyecto.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] COTTRELL, J. A., and HUGHES, T. J. R. (2009). "Isogeometric analysis: toward integration of CAD and FEA". Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, NJ: Wiley.
- [2] CHOI G, MUN D, HAN S. "Exchange of CAD part models based on the macro-parametric approach". *International Journal of CAD/CAM*, 2002, Vol.2(2), pp.23-31.
- [3] W. Dou, X. Song, and X. Zhang, "A language of neutral modeling command for synchronized collaborative design among heterogeneous CAD systems," in *Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference on*, 2009, pp. 12–15.
- [4] Z. Yi and L. Hua, "A method of CAD/CAE data integration based on XML," in *Computer Science & Education (ICCSE), 2011 6th International Conference on*, 2011, pp. 1311–1314.
- [5] GUJARATHI, G. P., and Y. -S. Ma. 2011. "Parametric CAD/CAE Integration Using a Common Data Model." *Journal of Manufacturing Systems* 30(3): 118–32.
- [6] ZHU, H., HU, C., & GAO, S. (2011). Finite Element Mesh Editing through CAD Operations (pp. 53–60). IEEE.
- [7] J.D.; VAN DAM A.; FEINER S.K.; HUGHES J.F.: "Computer Graphics. Theory and Practice". Addison-Wesley 1992.
- [8] MELÉNDEZ TAMAYO, C., & PAREDES CHICAIZA, J. A. (2012). El diseño asistido por computadora (cad) y su incidencia en el proceso de interaprendizaje de la asignatura de Dibujo Técnico del Instituto Superior Tecnológico Docente Guayaquil de la ciudad de Ambato. Obtenido de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7149>
- [9] ROJAS Lazo, O., & ROJAS ROJAS, L. (2006). Diseño asistido por computador. *Ind. Data*, 9(1), 7-15.